



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

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

Научные проблемы водного транспорта

№87 (2) 2026

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

Расва 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 Федорович, 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

№87 (2) 2026

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 university 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 university 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 university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Nikolay N. Kazakov, Cand. Sci. (Tech.), deputy dean of Belorussian 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 university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Yuri A. Kochnev, Dr. Sci. (Tech.), assistant professor, Volga state university 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 university 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 university 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

М.В. Дащенко, П.А. Бимберков

Исследование статистики повреждаемости судовых корпусных конструкций самоходного флота АО «Енисейского речного пароходства»..... 13

В.В. Кашина

Методика оценки проектных параметров сверхмалого электрического безэкипажного экранного катера 23

Ю.А. Карпиков, А.В. Февральских, А.А. Крайнов

Методика оценки проектных параметров сверхмалого электрического безэкипажного экранного катера..... 37

Ю.А. Кочнев, И.Б. Кочнева, О.К. Зяблов

Автоматизация оценки технического состояния корпуса судна 46

С.А. Огай, Л.Ч. Тхинь

Оценка предельной и остаточной прочности корпуса судна..... 54

Судовое энергетическое оборудование

А.А. Житников, А.А. Марченко

Разработка алгоритма самодиагностики в информационно-измерительном канале уровня..... 75

Н.А. Лаптев, Ю.И. Матвеев

Результаты экспериментальной оценки шума дизель-генераторной установки 4ч 8,5/11 на двух топливах..... 85

А.А. Халявкин, А.В. Ивановская, В.Ю. Васин, Д.А. Головань

Влияние граничных условий на значение собственной частоты поперечных колебаний судового валопровода..... 95

Экономика, логистика и менеджмент на транспорте

М.И. Классовская, А.Ю. Ботнарюк

Реализация цифровых решений при подготовке береговых специалистов транспортного комплекса на основе экосистемного подхода 106

В.Н. Костров, В. Н. Бутченко, Н.А. Барина, Д.Н. Сухарев

Анализ подходов к выбору цифровых инструментов для складской логистики производственно-транспортных комплексов Северного морского пути..... 119

П.А. Николаева

Возможность интеграции морского транспорта с дирижаблями при выгрузке груза на необорудованный берег..... 132

А.А. Умбетова, Ж. К. Кегенбеков

Современные подходы к управлению складскими процессами в контексте снижения углеродного следа 144

В.С. Чеботарев, О.Л. Морозов, А.В. Дорожкин, В.И. Минеев Перспективные направления развития Северного морского пути для обеспечения экономической безопасности России	155
--	-----

Эксплуатация водного транспорта, водные пути, сообщения и гидрография

З.Б. Акмалова, Н.М. Мингазова Экологические угрозы для озер Зеленодольского района республики Татарстан	169
А.Е. Асташин, О.Е. Ватина, В.М. Подковырина, Т.С. Нефедова Генезис, морфометрические и гидрологические особенности озера Синявское Володарского муниципального округа Нижегородской области	178
Н.А. Волкова, Г.Ю. Дмитриев Анализ уровня режима реки Таз для оптимизации эксплуатации водных путей	188
О.Л. Домнина, И.А. Горохова Трансформация морского страхования как способа повышения безопасности судоходства в условиях санкций и эскалации военных конфликтов	201
А.Ю. Платов, А.С. Прокопенко Обзор методов расчёта сопротивления воды движению судов на мелководье ..	215
В.П. Умрихин, В.И. Сичкарёв, М.Д. Тарасенко Аппроксимация спектров волнения различных судов при разных курсах по записям качки судна	229

CONTENTS

Shipbuilding, ship repair and ecological safety of the ship

Maxim V. Dashchenko, Pavel A. Bimberekov

A study of damage statistics for ship hull structures of the self-propelled fleet of JSC «Yenisei River Shipping Company»..... 13

Vera V. Kashina

Research of the material and technical base for repair and maintenance of the inland and mixed (river-sea) navigation fleet..... 23

Yuri A. Karpikov, Andrey V. Fevralskikh, Artem A. Krainov

Methodology for estimating the design parameters of an ultra-small electric powered screen boat 37

Yuri A. Kochnev, Irina B. Kochneva, Oleg K. Zyablov

Automation of the assessment of the technical condition of the vessel's hull..... 46

Sergei A. Ogay, Le Tr. Thinh

Assessment of the ultimate and residual strength of a ship's hull 54

Ship power equipment

Aleksandr A. Zhitnikov, Aleksey A. Marchenko

Development of a self-diagnostic algorithm in the information-measuring channel of the level..... 75

Nikolai A. Laptev, Yuri I. Matveev

Results of experimental noise assessment of a 4f 8,5/11 diesel generator unit on two fuels 85

Alexey A. Khalyavkin, Aleksandra V. Ivanovskaya, Vladislav Y. Vasin, Danil A. Golovan

Influence of boundary conditions on the value of the natural frequency of transverse vibrations of the ship's shaft line..... 95

Economics, logistics and transport management

Maria I. Klassovskaya, Alisa Yu. Botnaruyk

Digital solutions' implementation in the training of onshore transport specialists based on ecosystem approach..... 106

Vladimir N. Kostrov, Vikror N. Butchenko, Natalya A. Barinova, Dmitry N. Sukharev

Analysis of Arctic factors and limitations of existing approaches to the choice of digital tools for warehouse logistics of production and transport complexes of the Northern Sea Route 119

Polina A. Nikolaeva

The possibility of integrating marine transport with airships when unloading cargo on an unequipped shore 132

Anel A. Umbetova, Zhandos K. Kegenbekov

Modern approaches to warehouse process management in the context of reducing the carbon footprint 144

<i>Vladislav S. Chebotarev, Oleg L. Morozov, Artyom V. Dorozhkin, Valery I. Mineev</i> Promising areas of development of the Northern Sea Route to ensure Russia's economic security	155
---	-----

Water transport operation, waterways communications and hydrography

<i>Zaliya B. Akmalova, Nafisa M. Mingazova</i> Environmental threats to lakes in the Zelenodolsk district of the Tatarstan republic	169
<i>Andrey E. Astashin, Olga E. Vatina, Valeria M. Podkovyrina, Tatyana S. Nefedova</i> Genesis, morphometric and hydrological features of lake Sinyavskoye in the Volodarsky municipal district of the Nizhny Novgorod region.....	178
<i>Nadezhda A. Volkova, George Yu. Dmitriev</i> Analysis of the water level regime of the Taz River for optimization of waterway operation	188
<i>Olga L. Domnina, Irina A. Gorokhova</i> The transformation of marine insurance as a way to improve the safety of navigation in the face of sanctions and escalating military conflicts	201
<i>Alexander J. Platov, Andrej S. Prokopenko</i> Overview of methods for ship's resistance in shallow water	215
<i>Viktor P. Umrikhin, Viktor V.I. Sichkarev, Maxim D. Tarasenko</i> Approximation of the wave spectra of various vessels at different courses based on the vessel's rocking records.....	229

СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА

SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ECOLOGICAL SAFETY OF THE SHIP

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi87.694

Исследование статистики повреждаемости судовых корпусных конструкций самоходного флота АО «Енисейского речного пароходства»

М.В. Дашенко

ORCID: 0009-0005-5726-3068

П. А. Бимберек

ORCID: 0000-0003-4303-8570

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

Аннотация Представлена статистика повреждаемости корпусных конструкций самоходных судов Енисейского речного пароходства, имеющей критические повреждения, то есть повлекшие выполнение ремонтно-восстановительных работ. Базой для обработки послужили материалы дефектации и ремонтной документации за период 15 лет эксплуатации. Рассмотрены особенности формирования повреждений в условиях Енисейского бассейна с учётом ледовых нагрузок, мелководья, абразивного износа, температурных воздействий и назначения судов. Проведена систематизация дефектов по проектам судов, элементам корпуса и видам повреждений. Установлено доминирующее влияние коррозионных процессов и деформационных повреждений наружной обшивки, выявлены характерные зоны возникновения усталостных трещин и местных остаточных деформаций. Полученные результаты позволяют определить приоритетные направления контроля технического состояния корпусов судов направленные на минимизацию процедуры, в том числе на основе роботизации процесса.

Ключевые слова: Повреждаемость корпусных конструкций; самоходные суда внутреннего плавания; статистический анализ дефектов; коррозионные повреждения корпуса; усталостные трещины; техническое обслуживание и ремонт флота.

A study of damage statistics for ship hull structures of the self- propelled fleet of JSC «Yenisei River Shipping Company»

Maxim V. Dashchenko

ORCID: 0009-0005-5726-3068

Pavel A. Bimberekov

ORCID: 0000-0003-4303-8570

Siberian State University of Water Transport, Russian Federation

Abstract: The article presents statistics on the damage rate of hull structures of self-propelled vessels of the Yenisei River Shipping Company that suffered critical damage, i.e.,

required repair and restoration work. The data is based on defect detection and repair documentation for a period of 15 years of operation. The article examines the characteristics of damage formation in the Yenisei Basin, taking into account ice loads, shallow water, abrasive wear, temperature effects, and the purpose of the vessels. Defects are systematized by vessel designs, hull elements, and types of damage. The dominant influence of corrosion processes and deformation damage to the outer plating is established, and characteristic zones of fatigue cracks and local residual deformations are identified. The obtained results make it possible to determine priority areas for monitoring the technical condition of vessel hulls aimed at minimizing the procedure, including through robotic process automation.

Keywords: Damage rate of hull structures; self-propelled inland waterway vessels; statistical analysis of defects; corrosion damage to the hull; fatigue cracks; fleet maintenance and repair.

Введение

Эксплуатация самоходных судов в условиях Енисейского бассейна сопровождается воздействием совокупности неблагоприятных факторов, включая ледовые нагрузки, ограниченные глубины судоходных путей, абразивное воздействие грунта и значительные температурные перепады. Данные условия формируют специфические требования к прочности и надёжности судовых корпусов и обуславливают характер повреждений, возникающих в процессе длительной эксплуатации.

Корпусные конструкции судов внутреннего плавания в течение жизненного цикла подвергаются действию переменных нагрузок, коррозионных процессов и локальных механических воздействий, связанных с маневрированием, швартовками и эксплуатацией в ледовых условиях. Постепенное накопление дефектов приводит к снижению эксплуатационной надёжности, увеличению трудоёмкости ремонтов и росту эксплуатационных затрат.

Наличие большого опыта эксплуатации и материалов дефектации по судам Енисейского пароходства позволяет проведение обобщённого анализа повреждаемости корпусных конструкций, достигших критического значения, требующих ведения ремонтно-восстановительных работ. Систематизация таких данных позволяет выявить типовые зоны концентрации дефектов, установить общие статистические закономерности и сформировать практические выводы, направленные на повышение эффективности технического обслуживания и ремонта флота. При этом может быть оценена и целесообразность применения новых методов контроля технического состояния корпусов судов.

В научной литературе накоплена значительная информация по статистике повреждаемости судовых корпусных конструкций [1...17]. Анализ указанных литературных источников хотя и показывает общие тенденции получения корпусными конструкциями судов повреждений, но и говорит о возможности индивидуального проявления в зависимости от условий эксплуатации. Этот вывод определяет потребность продолжения исследования повреждаемости применительно к отдельным компаниям, имеющим конкретные условия эксплуатации.

Цель и задачи исследования

Целью данной статьи является получение статистических закономерностей повреждаемости судовых корпусных конструкций самоходного флота Енисейского пароходства, повлекшие проведение ремонтно-восстановительных работ (критические повреждения).

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: – систематизация повреждений корпусных конструкций; – распределения повреждений по проектам судов; – оценка доли повреждений отдельных элементов корпуса; –

выявление тенденций и закономерностей повреждаемости; – формирование выводов, отражающих приоритетные типы повреждений, которые требуются учитывать в эксплуатационной практике. Под повреждением понимаем следующие приобретаемые в процессе эксплуатации судов дефекты корпусных конструкций: сквозная язвенная коррозия, местные утонения обшивки сверхдопустимого норматива, гофрировка, вмятины, бухтины.

Объекты и материалы исследования

Объектами исследования приняты самоходные суда, эксплуатируемые в составе флота Енисейского пароходства, выполненные по следующим проектам: Р33Б, Р14А, Н3181, 936, 81170, 795, 758, 1366, Н3290, 21-88, Р77.

В качестве исходных материалов использованы акты дефектации корпусов судов, а также материалы судоремонтных предприятий: Красноярский судоремонтный центр АО «ЕРП», Подтёсовская ремонтно-эксплуатационная база флота АО «ЕРП», Ермолаевская ремонтно-эксплуатационная база флота АО «ЕРП», отражающие характер и объёмы выявленных повреждений. Исследование охватывает информацию по повреждениям выбранных проектов судов за период эксплуатации около 15 лет.

Методика исследования

Исследование предусматривает получение статистических распределений различных видов повреждений для различных типов судов, районам их эксплуатации, видам связей корпусных конструкций (наружная обшивка, рамный и холостой набор, узлы сопряжения балок), а также дефектам сварных швов.

На начальном этапе осуществлялся анализ материалов дефектации и ремонтных ведомостей корпусов судов. На их основе формировалась совокупность данных о повреждениях корпусных конструкций. Все выявленные дефекты классифицировались по характеру возникновения.

Далее фиксировалась частота повреждений по проектам судов.

На следующем этапе проводился структурный анализ по типам повреждений корпусных конструкций, включающий определение удельных долей дефектов наружной обшивки, элементов рамного и холостого набора, сварных соединений и узлов сопряжений.

Заключительным этапом являлась оценка статистических данных получения повреждений с учётом эксплуатационных условий Енисейского бассейна, типа рассматриваемых проектов судов.

Виды учитываемых повреждений корпусных конструкций

В ходе анализа все выявляемые повреждения корпусных конструкций были условно разделены на следующие основные группы: – коррозионные (наружной и внутренней обшивки); – усталостные (трещины в элементах рамного и холостого набора); – локальные обшивки деформационной природы (вмятины, бухтины и гофрировка); – дефекты сварных соединений; – повреждения деформационной природы элементов днищевого и бортового набора.

Анализ распределения повреждений по проектам судов

Статистическая обработка обобщённых данных показала, что наибольшее количество повреждений приходится на суда проектов Н3290, Р33Б и 21-88, что объясняется их значительным возрастом и высокой интенсивностью эксплуатации, включающей и буксировку судов под бортом, а также частым задействованием в условиях мелководья: на притоках Енисея в условиях весеннего паводка, на реках Подкаменная Тунгуска, Нижняя Тунгуска, Большая Хета. Суда проектов 936 и Р77

характеризуются меньшей общей повреждаемостью, что связано с их независимой эксплуатацией и использованием в большей части на транзитных переходах магистральных рек и в хорошо оборудованных портах.

Сводные данные по распределению повреждений по разным проектам судов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Распределение повреждений корпусных конструкций по проектам судов

Проект судна	Число судов, ед	Число повреждений, ед
P33B	3	11
P14A	4	8
H3181	1	9
936	3	7
81170	1	6
795	1	8
758	2	6
1366	1	5
H3290	3	18
21-88	2	15
P77	3	7

Наибольшая доля повреждений приходится на проекты H3290 и 21-88, суммарно составляя около 40 % от общего числа выявленных дефектов. Минимальные значения отмечены для проектов 936 и P77. На рис. 1 для наглядности представлена гистограмма распределения повреждений по проектам судов по данным табл. 1 в виде.



Рис 1. Распределение повреждений судов по проектам

Структура повреждений по элементам корпуса

Структура повреждаемости корпусов судов по элементам, приведшая к ремонтно-восстановительным работам представлена в табл. 2. Она показала, что основная часть критических дефектов связана с наружной обшивкой днища и бортов. Их доля

составляет порядка 45...55 % от общего количества повреждений. Это обусловлено воздействием коррозионного и абразивного износа, а также механических контактов с грунтом и льдом.

Критические повреждения рамного набора составляют в среднем 20...25 % и проявляются преимущественно в виде усталостных трещин в районах концентрации напряжений, а также локальных деформаций стенок и полок. При этом холостой набор характеризуется меньшей долей критических повреждений – около 10...15 %.

Таблица 2

Распределение критических повреждений по элементам корпусных конструкций

Элемент конструкции	Доля повреждений, %
Наружная обшивка (днище, борта)	52
Рамный набор	23
Холостой набор	12
Сварные швы	8
Кницы и узлы сопряжений	5

На рис. 2 приведена гистограмма распределения критических повреждений по основным элементам корпусных конструкций.



Рис. 2. Распределение критических повреждений по элементам корпусов судов

Характер повреждений и их причины

Распределение повреждений корпусов судов (критические) представлены на рис. 3. Из него видно, что коррозионные повреждения являются наиболее распространённым видом дефектов для всех рассматриваемых проектов судов. Наибольшая интенсивность коррозии наблюдается в зонах переменной ватерлинии, днища и в балластных отсеках. Для судов более ранних проектов (Н3290, Р77 и Р33Б) характерным повреждением является сквозная коррозия листов обшивки, требующая их замены.

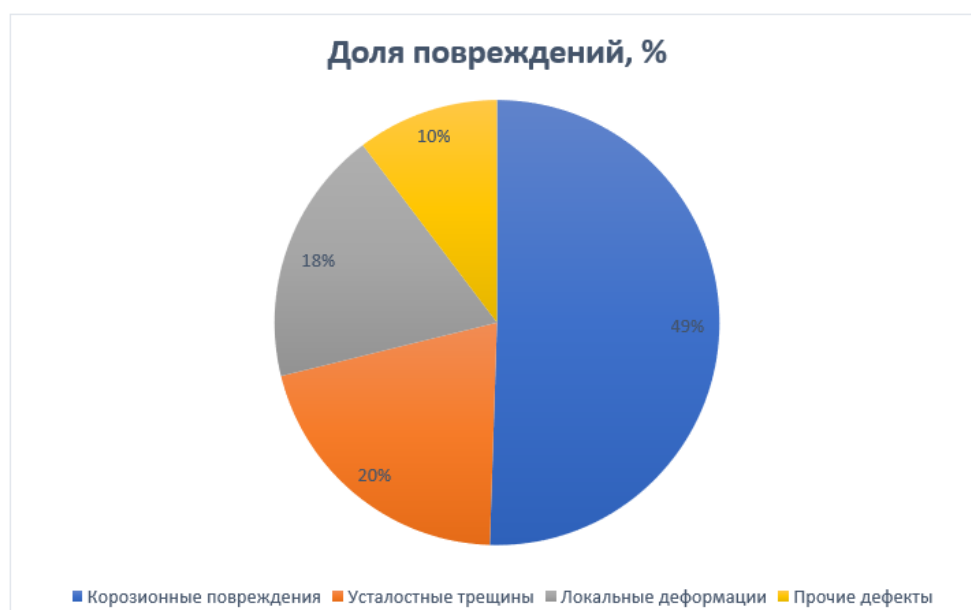


Рис. 3. Распределение повреждений по видам

Усталостные трещины преимущественно локализируются в местах установки рамного набора на обшивку, а также в районах установки переборок на обшивку, преимущественно в машинных отделениях. Их появление связано с циклическими нагрузками и вибрационными воздействиями при длительной эксплуатации.

Локальные деформации в виде бухтин и гофрировки, а также вмятины характерны для судов, эксплуатируемых на участках с ограниченными глубинами и интенсивными швартовными операциями. Такие повреждения чаще всего выявляются в носовой и кормовой частях корпуса.

Приведённая к одному судну статистика повреждаемости

На основании использованных исходных данных была выполнена приведённая условная статистическая оценка повреждаемости корпусных конструкций в среднем на одно судно. Установлено, что на осреднённое судно приходится одно значимое (критическое) повреждение корпусных конструкций за четыре навигационных периода.

С увеличением возраста судна наблюдается рост доли коррозионных повреждений и дефектов обшивки, в то время как для более новых судов критическими повреждениями чаще всего являются локальные деформации и дефекты сварных соединений. Данная тенденция подтверждает необходимость дифференцированного подхода к планированию ремонтных мероприятий.

Обсуждение мероприятий по контролю повреждаемости корпусов судов

В целях ускорения процедур контроля технического состояния корпусов судов целесообразно использовать поэтапность такой процедуры, предусмотренной в частности: [18,19], и некоторым образом реализованной в [20]. Вариантом ускорения процедуры контроля технического состояния могут служить технические решения [21...29] направленные на минимизацию числа обмеров остаточных толщин. Кроме того, технические решения [18,27...30] предполагают возможность сокращения процедуры определения местных остаточных деформаций судового набора, в том

числе по результатам обмера деформаций наружной обшивки в месте крепления судового набора. Существенным подходом к ускорению и сокращению трудозатрат на процедуру дефектации судовых корпусных конструкций, несомненно, станет роботизация процесса [29].

Выводы

Повреждаемость корпусных конструкций самоходных судов Енисейского пароходства формируется под воздействием совокупности эксплуатационных факторов и существенно зависит от возраста судов и конструктивных особенностей проектов.

Наибольший удельный вес в общей структуре дефектов занимают повреждения наружной обшивки и элементов рамного набора, что обуславливает необходимость их приоритетного контроля при дефектации и ремонте.

Коррозионные повреждения являются доминирующим видом дефектов для судов большинства рассматриваемых проектов, определяя основные объёмы корпусных ремонтных работ.

Роботизация процедур контроля повреждений корпусных конструкций является очевидным подходом для минимизации затрат на их производство.

Список литературы

1. Юпитер, А.Д. Повреждения и ремонт корпусов морских судов [Текст] / А.Д. Юпитер. — М.: Транспорт, 1973. — 216 с.
2. Ершов, Н.Ф. Повреждения и эксплуатационная прочность конструкций судов внутреннего плавания [Текст] / Н.Ф. Ершов, О.И. Свечников. — Л.: Судостроение, 1977. — 311 с.
3. Шурпицкий, А.В. Анализ коррозионного износа корпусов судов смешанного плавания типа «Балтийский» [Текст] / А.В. Шурпицкий // Технология и организация судоремонта. Вып. 161. — Л.: Транспорт, 1978. С. 82-96.
4. Гаврилов, М.Н. Повреждения и надежность корпусов судов [Текст] / М.Н. Гаврилов, А.С. Брикер, М.Н. Эпштейн. — Л.: Судостроение, 1978. — 216 с.
5. Ефименков, Ю.И. Анализ статистических закономерностей образования вмятин в днище и скуловом поясе судов внутреннего плавания [Текст] / Ю.И. Ефименков // Ремонт судов речного флота: Сб. науч. тр. ЛИВТа. — Л.: ЛИВТ, 1985. — С. 71-79.
6. Ватрушкина, Л.П. Вероятностный подход к установлению величины пробоины на речных судах с использованием данных аварийной статистики [Текст] / Л.П. Ватрушкина; Оптимизация характеристик и исследование прочности судов внутреннего плавания: Тр. ГИИВТ; вып.205. — Горький: ГИИВТ, 1984. 138 с.
7. Ефименков, Ю.И. Анализ статистических закономерностей образования вмятин в днище и скуловом поясе судов внутреннего плавания [Текст] / Ю.И. Ефименков; Ремонт судов речного флота: Сб. науч. тр. ЛИВТа. — Л.: ЛИВТ, 1985. — С. 71-79.
8. Барабанов, Н.Б. Повреждения и пути совершенствования судовых конструкций [Текст] / Н.Б. Барабанов, Н.А. Иванов, В.В. Новиков, Г.П. Шмельков. — Л.: Судостроение, 1989. — 256 с.
9. Пойлов, И.П. Взаимозависимость стрелки прогиба стенки набора и стрелки прогиба обшивки при образовании вмятин на корпусе [Текст] / И.П. Пойлов // Ремонт речных судов: Сб. науч. тр. ЛИВТа. — Л.: ЛИВТ, 1989. — С. 133-144.
10. Луценко, В.Т. Повреждения и ремонт транспортных рефрижераторов в дальневосточном бассейне [Текст] / В.Т. Луценко // Судостроение. — 1991. — №3. — С. 48-50.
11. Бимбереков, П.А. Анализ повреждаемости корпусов барж проекта Р-56 [Текст] / П.А. Бимбереков // Повышение эффективности ремонта судовой техники: Сб. науч. трудов НГавТ. — Новосибирск: НГавТ, 1993. — С. 21-41.
12. Бимбереков, П.А. Закономерности повреждаемости судовых корпусных перекрытий [Текст] / П.А. Бимбереков // Повышение надежности судовых деталей, механизмов и устройств: Сб. науч. трудов НГавТ. — Новосибирск: НГавТ, 1995. — С. 100-107.

13. Бимбереков, П.А. Определение диапазона применимости визуального (экспертного) метода для освидетельствования деформаций судовых конструкций [Текст] / П.А. Бимбереков // Современные проблемы технических наук: Сб. тезисов докладов конференции. — Новосибирск: НГАВТ, 1996. — С. 87–88.
14. Бимбереков, П.А. Исследование возможности определения деформаций рамного набора бортов барж проекта Р-56 по замерам деформации наружной обшивки [Текст] / П.А. Бимбереков // Современные проблемы технических наук: Сб. тезисов докладов конференции. — Новосибирск: НГАВТ, 1996. — С. 97–98.
15. Бойцов, Г.В. Оценка усталостной прочности конструктивных узлов и корпусов [Текст] / Г.В. Бойцов, М.А. Кудрин // Судостроение. — 2002. — №2. — С. 9–12.
16. Исследование повреждаемости, методики освидетельствования и дефектации корпусных конструкций судов внутреннего и смешанного плавания Бимбереков П.А. Новосибирск, 2007.
17. Бурмистров, Е.Г. Анализ причин и районов локализации износов наружной обшивки корпусов судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания [текст непосредственный] / Е.Г. Бурмистров, Д.А. Кромов // Научные проблемы водного транспорта, 2022. № 70. — С. 15-29.
18. Пат. № 2380273 Способ ведения измерений в ходе контроля местных остаточных деформаций корпуса судна Бимбереков П.А. Заявка № 2006136477/11 от 16.10.2006.
19. Пат. № 2323409 Способ планирования и корректировки процедуры обмеров остаточных толщин Бимбереков П.А. Заявка № 2006139598/28 от 07.11.2006.
20. ФАУ «Российское Классификационное Общество». Правила классификации и постройки судов. URL: <https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-iosvidetelstvovaniya-sudov-vvp-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-plavuchikh-obektov/pravila-klassifikatsii-i-postroyki-sudov/> (дата обращения 02.03.26). «Правила освидетельствования судов в процессе их эксплуатации», М.: Российское классификационное общество, 2019. - С.116, 117
21. Вариант корректировки способа обмера остаточных толщин связей корпусов судов и плавучих объектов Бимбереков П.А. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2025. № 3. С. 24–30.
22. Пат. № 2845162 Способ контроля остаточных толщин корпусов транспортных и/или стояночных средств Бимбереков П.А. Заявка № 2024123221 от 13.08.2024.
23. Пат. № 2380272 Способ приближенного определения остаточных толщин Бимбереков П.А. Заявка № 2006139599/11 от 07.11.2006.
24. Определение потребного числа измерений остаточных толщин на участке элемента связи корпуса судна на основе оценочных зависимостей для запаса толщин и рекомендуемых скоростей изнашивания Бимбереков П.А. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 1. С. 76–80.
25. Корректировка методики определения остаточных толщин обшивки и настилов согласно проекту правил Российского речного регистра Бимбереков П.А. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2015. № 1. С. 7–13.
26. Бимбереков, П.А. Определение диапазона применимости визуального (экспертного) метода для освидетельствования деформаций судовых конструкций [Текст] / П.А. Бимбереков // Современные проблемы технических наук: Сб. тезисов докладов конференции. — Новосибирск: НГАВТ, 1996. — С. 87–88.
27. Бимбереков, П.А. Исследование возможности определения деформаций рамного набора бортов барж проекта Р-56 по замерам деформации наружной обшивки [Текст] / П.А. Бимбереков // Современные проблемы технических наук: Сб. тезисов докладов конференции. — Новосибирск: НГАВТ, 1996. — С. 97–98.
28. Исследование повреждаемости, методики освидетельствования дефектации корпусных конструкций судов внутреннего и смешанного плавания Бимбереков П.А. Новосибирск, 2007.
29. Определение и нормирование величины деформаций стенок тавровых балок по значению прогиба судовой обшивки в месте крепления набора Бимбереков П.А. Морской вестник. 2008. № 1 (25). С. 93–95.
30. Роботизация в судостроении: трансформация производства, вызовы и стратегические перспективы Бимбереков П.А. Речной транспорт (XXI век). 2025. № 4 (116). С. 41–44.

References

1. Jupiter, A.D. Damage and Repair of Sea-Going Vessel Hulls [Text] / A.D. Jupiter. - M.: Transport, 1973. - 216 p.
2. Ershov, N.F. Damage and Serviceability of Inland Waterway Vessel Structures [Text] / N.F. Ershov, O.I. Svechnikov. - L.: Shipbuilding, 1977. - 311 p.
3. Shurpitsky, A.V. Analysis of Corrosion Wear of Hulls of Mixed-Water Vessels of the «Baltic» Type [Text] / A.V. Shurpitsky // Technology and Organization of Ship Repair. Issue 161. - L.: Transport, 1978. Pp. 82-96.
4. Gavrilov, M.N. Damage and Reliability of Ship Hulls [Text] / M.N. Gavrilov, A.S. Briker, M.N. Epshteyn. - L.: Sudostroenie, 1978. - 216 p.
5. Efimenkov, Yu.I. Analysis of Statistical Patterns of Dent Formation in the Bottom and Bile Belt of Inland Waterway Vessels [Text] / Yu.I. Efimenkov // Repair of River Fleet Vessels: Coll. scientific works of LIVT. - L.: LIVT, 1985. - Pp. 71-79.
6. Vatrushkina, L.P. Probabilistic Approach to Determining the Size of a Hole in River Vessels Using Accident Statistics Data [Text] / L.P. Vatrushkina; Optimization of Characteristics and Strength Study of Inland Waterway Vessels: Proceedings of GIVT; issue 205. - Gorky: GIVT, 1984. 138 p.
7. Efimenkov, Yu.I. Analysis of Statistical Patterns of Dent Formation in the Bottom and Bile Belt of Inland Waterway Vessels [Text] / Yu.I. Efimenkov; Repair of River Fleet Vessels: Coll. scientific works of LIVT. - L.: LIVT, 1985. - Pp. 71-79.
8. Barabanov, N.B. Damage and Ways to Improve Ship Designs [Text] / N.B. Barabanov, N.A. Ivanov, V.V. Novikov, G.P. Shmelkov. - L.: Sudostroenie, 1989. - 256 p.
9. Poilov, I.P. Interdependence of the deflection arrow of the framing wall and the deflection arrow of the skin during the formation of dents on the hull [Text] / I.P. Poilov // Repair of river vessels: Coll. scientific works of LIVT. - L.: LIVT, 1989. - Pp. 133-144.
10. Lutsenko, V.T. Damage and repair of refrigerated transport vessels in the Far Eastern basin [Text] / V.T. Lutsenko // Shipbuilding. - 1991. - No. 3. - Pp. 48-50.
11. Bimberekov, P.A. Analysis of damageability of the hulls of barges of the R-56 project [Text] / P.A. Bimberekov // Improving the efficiency of repair of marine equipment: Coll. scientific works of NSAWT. - Novosibirsk: NGAVT, 1993. - P. 21-41.
12. Bimberekov, P. A. Damage Patterns of Ship Hull Floors [Text] / P. A. Bimberekov // Improving the Reliability of Ship Components, Mechanisms, and Devices: Collection of Scientific Papers of NGAVT. - Novosibirsk: NGAVT, 1995. - P. 100-107.
13. Bimberekov, P. A. Determining the Range of Applicability of the Visual (Expert) Method for Inspecting Ship Structures for Deformations [Text] / P. A. Bimberekov // Modern Problems of Engineering Sciences: Collection of Conference Abstracts. - Novosibirsk: NGAVT, 1996. - P. 87-88.
14. Bimberekov, P. A. Study of the Possibility of Determining the Deformations of the Side Frame of Barges of Project R-56 Based on Measurements of the Deformation of the Outer Skin [Text] / P.A. Bimberekov // Modern Problems of Technical Sciences: Collection of Abstracts of Conference Papers. - Novosibirsk: NGAVT, 1996. - Pp. 97-98.
15. Boytsov, G.V. Evaluation of the Fatigue Strength of Structural Units and Hulls [Text] / G.V. Boytsov, M.A. Kudrin // Shipbuilding. - 2002. - No. 2. - Pp. 9-12.
16. Study of Damageability, Inspection Methods, and Flaw Detection of Hull Structures of Inland and Mixed Navigation Vessels, Bimbekov P.A. Novosibirsk, 2007.
17. Burmistrov, E.G. Analysis of the causes and areas of localization of wear of the outer hull plating of inland and mixed (river-sea) navigation vessels [direct text] / E.G. Burmistrov, D.A. Kromov // Scientific problems of water transport, 2022. No. 70. - Pp. 15-29.
18. Patent No. 2380273 Method of conducting measurements during monitoring of local residual deformations of a ship's hull Bimberekov P.A. Application No. 2006136477/11 dated 16.10.2006.
19. Patent No. 2323409 Method of planning and adjusting the procedure for measuring residual thicknesses Bimberekov P.A. Application No. 2006139598/28 dated 07.11.2006.
20. Federal Autonomous Institution «Russian Classification Society.» Rules for the Classification and Construction of Ships. URL: <https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-iosvidetelstvovaniya-sudov-vvp-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-plavuchikh-obektov/pravila-klassifikatsii-i-postroyki-sudov/> (accessed March 2, 2026). «Rules for the Inspection of Vessels During Their Operation», Moscow: Russian Classification Society, 2019. - Pp. 116, 117

21. A Variant of Adjusting the Method for Measuring Residual Thicknesses of Hull Struts of Ships and Floating Objects Bimberekov P.A. Scientific Problems of Transport of Siberia and the Far East. 2025. No. 3. Pp. 24–30.
22. Patent No. 2845162. Method for monitoring residual thicknesses of vehicle and/or parking vehicle bodies. P.A. Bimberekov. Application No. 2024123221, dated August 13, 2024.
23. Patent No. 2380272. Method for approximate determination of residual thicknesses. P.A. Bimberekov. Application No. 2006139599/11, dated November 7, 2006.
24. Determining the Required Number of Residual Thickness Measurements in a Section of a Ship Hull Structural Element Based on Estimated Dependencies for the Thickness Reserve and Recommended Wear Rates Bimberekov P.A. Scientific Problems of Transport of Siberia and the Far East. 2015. No. 1. pp. 76–80.
25. Adjusting the Methodology for Determining the Residual Thicknesses of Sheathing and Flooring in Accordance with the Draft Rules of the Russian River Register Bimberekov P.A. Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology. 2015. No. 1. pp. 7–13.
26. Bimberekov, P.A. Determining the Range of Applicability of the Visual (Expert) Method for Inspecting Deformations of Ship Structures [Text] / P.A. Bimberekov // Modern Problems of Technical Sciences: Coll. Abstracts of conference papers. — Novosibirsk: NGAVT, 1996. — Pp. 87–88.
27. Bimberekov, P.A. Study of the Possibility of Determining the Deformations of the Frame Framing of the Sides of Project R-56 Barges Based on Measurements of the Deformation of the Outer Shell [Text] / P.A. Bimberekov // Modern Problems of Technical Sciences: Collection of Abstracts of Conference Papers. — Novosibirsk: NGAVT, 1996. — Pp. 97–98.
28. Study of Damageability, Methods of Inspection and Flaw Detection of Hull Structures of Inland and Mixed-Water Vessels Bimberekov, P.A. Novosibirsk, 2007.
29. Determination and Standardization of the Value of Deformations of T-Beam Walls Based on the Value of Sag of the Ship's Shell Framing at the Attachment Point Bimberekov, P.A. Marine Herald. 2008. No. 1 (25). P. 93–95.
30. Robotization in shipbuilding: production transformation, challenges, and strategic prospects. Bimberekov P.A. River transport (XXI century). 2025. No. 4 (116). P. 41–44.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Дашенко Максим Владимирович,
ведущий инженер АО «Енисейское речное
пароходство», магистрант института
инженерных и цифровых технологий,
Сибирский государственный университет
водного транспорта, 630099, Новосибирск,
ул. Щетинкина, 33, e-mail:
dashenko_mv@mail.ru

Maxim V. Dschchenko, leading engineer of
Yenisei River Shipping Company JSC, master's
student at the Institute of Engineering and
Digital Technologies, Siberian State University
of Water Transport, 630099, Novosibirsk,
Shchetinkina str., 33, e-mail:
dashenko_mv@mail.ru

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

Статья поступила в редакцию 11.03.2026; принята к публикации 20.04.2026;
опубликована онлайн 20.06.2026. Received 11.03.2026; published online 20.06.2026.

УДК: 629.5.081

DOI: 10.37890/jwt.vi87.717

Исследование материально-технической базы ремонта и обслуживания флота внутреннего и смешанного (река-море) плавания

В.В. Кашина

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

Аннотация. В статье представлены результаты камерального исследования материально-технической базы ряда судоремонтных предприятий различных типов, выполняющих ремонт и техническое обслуживание судов внутреннего и смешанного плавания. Исследуемая выборка представлена в объеме 150 предприятий различных типов, имеющих признание Российского Классификационного Общества на выполнение соответствующих видов работ. На основе анализа данных, полученных путем проведения анкетирования, а также путем анализа информации, представленной в открытых источниках, выполнена количественная оценка оснащенности материально-технической базы и распространения основных видов судоремонтных работ, применяемых методов дефектации элементов судов, имеющихся типов судоподъемных сооружений и специализированных производств. Выявлен ряд дефицитов, сдерживающих развитие отрасли. Среди них выраженная нехватка судоподъемных сооружений (менее 23% рассмотренных предприятий располагают доками, кессонами или слипами), устаревание материально-технической базы и низкая обеспеченность предприятий технологиями, позволяющими выполнять ремонт новых судов, включая ремонт корпусов, изготовленных из композиционных материалов, а также обслуживание и ремонт двигателей, работающих на альтернативных видах топлива. Обоснована необходимость дальнейшего расширения поля исследования, и организации системного мониторинга производственных возможностей отечественных предприятий. На основании выявленных особенностей развития производственной базы судоремонта предложен ряд направлений развития отечественного судоремонта.

Настоящий материал подготовлен в рамках реализации научно-исследовательского проекта по формированию информационно-технологической платформы «Флот-Сервис-Судоремонт» для судов внутреннего и река-море плавания.

Ключевые слова: судоремонт, судоремонтное предприятие, материально-техническая база, производственные мощности, судоподъемные сооружения, дефицит технологий, суда внутреннего и смешанного плавания, банк данных, жизненный цикл изделия.

Research of the material and technical base for repair and maintenance of the inland and mixed (river-sea) navigation fleet

Vera V. Kashina

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article presents the results of a desk study of the material and technical base of a number of ship repair enterprises of various types performing repair and maintenance of inland and mixed (river-sea) navigation vessels. The study sample includes 150 enterprises of various types that have recognition from the Russian Maritime Register of Shipping for performing the relevant types of work. Based on the analysis of data obtained through a survey, as well as through the analysis of information provided in open sources, a quantitative assessment was carried out regarding the equipment of the material and technical base, the prevalence of the main types of ship repair work, the applied methods of defect detection of ship elements, the available types of ship lifting facilities, and specialized

production facilities. A number of deficits hindering the development of the industry have been identified. Among them are a pronounced shortage of ship lifting facilities (less than 23% of the enterprises under consideration have docks, caissons or slipways), the obsolescence of the material and technical base, and low availability of technologies for enterprises to perform repair of new vessels, including repair of hulls made of composite materials, as well as maintenance and repair of engines running on alternative fuels. The necessity for further expansion of the research field and the organization of systematic monitoring of the production capabilities of domestic enterprises is substantiated. Based on the identified features of the development of the ship repair production base, a number of directions for the development of domestic ship repair are proposed.

This material has been prepared as a part of the research project on the formation of the “Fleet-Service-Ship Repair” information technology platform for inland and river-sea navigation vessels.

Keywords: ship repair, ship repair enterprise, material and technical base, production capacities, ship lifting facilities, technology deficit, inland and mixed (river-sea) navigation vessels, data bank, product life cycle.

Введение

Обеспечение надлежащего технического состояния флота внутреннего и смешанного (река-море) плавания является стратегической задачей в вопросе стабильного функционирования всей транспортной системы Российской Федерации. Географические особенности положения страны и текущая экономическая ситуация требуют безусловного обеспечения бесперебойной работы как речного, так и морского гражданского флота. Необходимость модернизации мощностей и развития технологической базы судостроения и судоремонта закреплена на государственном уровне, в частности, в Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 28.10.2019 № 2553-р, ред. от 12.05.2025) [1].

Ремонт и техническое обслуживание судна является важнейшим этапом его технической эксплуатации. При этом средний возраст флота внутреннего и смешанного плавания остается значительным и продолжает увеличиваться, несмотря на формирующуюся тенденцию к его обновлению. На практике срок эксплуатации транспортных судов составляет 30 и более лет. Это вызывает необходимость своевременного и качественного выполнения значительных объемов ремонтных работ и технического обслуживания существующих судов. Кроме того, тенденция к обновлению флота за счет постройки новых высокотехнологичных, наукоемких судов, отвечающих современным требованиям, вызывает необходимость освоения новых технологий и в области их ремонта и обслуживания [2, 3]. При этом в отрасли судоремонта, формируемой более чем 1400 предприятиями различных типов [4, 5], характерно отсутствие прозрачной и доступной информации об их полном составе, имеющейся материально-технической базе и перечне предоставляемых услуг, позволяющей получить исчерпывающее представление о предприятиях, отвечающих требованиям к объемам и специфике ремонта или обслуживания в каждом отдельном случае. Затруднена и комплексная оценка состояния отрасли ввиду отсутствия возможности формирования статистики на основе разрозненных и неполных данных. Таким образом, проведение комплексного исследования материально-технической базы отечественного судоремонта требует системного анализа как номенклатуры предприятий, так и основных параметров, определяющих возможность выполнения ремонтных работ для конкретных судов в необходимом объеме и определение критических точек в отечественном судоремонте, преодоление которых необходимо для обеспечения качественного обслуживания и ремонта флота. В соответствии с изложенным целью настоящего исследования является выполнение анализа и

определение дефицитов материально-технической обеспеченности предприятий, выполняющих ремонт и обслуживание судов внутреннего и смешанного плавания.

Для достижения поставленной задачи необходимо решение следующего перечня задач:

- 1.Определение ключевых показателей, отражающих оснащенность материально-технической базы и перечня выполняемых судоремонтными предприятиями работ;
- 2.Анализ номенклатуры судоремонтных предприятий и формирование максимально репрезентативной выборки для проведения исследования
- 3.Исследование отечественных предприятий на предмет обеспечения ключевых показателей.

Методы

Для проведения настоящего исследования применялся комплекс научных методов, включающих теоретический, статистический, аналитический и экспертный. Порядок его выполнения сформирован этапами, отраженными на рис.1.



Рис. 1. Этапы исследования материально-технической базы отечественных судоремонтных предприятий

В результате анализа многообразия показателей, пригодных для оценки материально-технической базы и перечня работ, выполняемых судоремонтными предприятиями, был определен их базовый набор, принимаемый к рассмотрению при проведении дальнейшего исследования. На его основе были составлены формы чек-листов для рассылки и заполнения по данным открытых источников, а также сводные формы для систематизации и обработки полученных данных. Информация о рассматриваемых группах показателей представлена в табл.1.

К рассмотрению принимались и дополнительные параметры, включающие наличие отапливаемых помещений для хранения радионавигационного оборудования, наличие точек организованного питания экипажей в межнавигационный период, наличие общежитий для размещения экипажей и бригад в период ремонта и т.д. Представленные в табл.1 параметры не в полной мере отвечают определению

материально-технической базы предприятия, но позволяют оценить перечень выполняемых работ, производственные возможности и, соответственно, оснащенность, которая, в свою очередь и определяет материально-производственную оснащенность.

При реализации следующего этапа исследования был выполнен анализ номенклатуры отечественных судоремонтных предприятий, а также предприятий, осуществляющих техническое обслуживание флота и выполняющих отдельные виды работ, необходимые для обеспечения надлежащего технического состояния флота. Номенклатура интересующих предприятий представлена широким спектром их видов и включает в себя судоремонтные и судостроительно-судоремонтные заводы, судоремонтные мастерские, базы технического обслуживания флота, мастерские, сервисные и обслуживающие компании и т.д. [6, 7].

Таблица 1

Перечень показателей для оценки материально-технической базы и работ, выполняемых судоремонтными предприятиями

№ п/п	Наименование группы	Перечень показателей
1	Выполнение дефектации и диагностики	Корпусов судов; систем; Палубных механизмов; Дизель-генераторов и главных двигателей (в т.ч. дизельных, электрических, СПГ, водородных); Электрооборудования; Кабельных трасс; Судовых устройств; Движительно-рулевого комплекса; Донно-заборной арматуры; Радиооборудования; Навигационного оборудования
2	Применяющиеся методы дефектации элементов судна	Визуально-измерительный; УЗ-толщинометрия; Цветная дефектоскопия; Рентген-контроль
3	Очистка, обработка корпусных конструкций	Подготовка к ремонту, зачистка, окраска; Замывка, зачистка от остатков нефтепродуктов и т.д.; Пропарка отсеков после перевозки нефтепродуктов; Зачистка отсеков от остатков ржавчины, грязи и т.д. (включая междудонное пространство); Очистка наружной обшивки грубая (шаберами, щетками и т.д.); Пескоструйная очистка; Водоструйная очистка; Дробеструйная очистка; Очистка корпусов судов (в т.ч. ручная, механизированная, комбинированная)
4	Выполняемые виды ремонта	Текущий; Средний; Капитальный (если по отдельным элементам судна- указать); Модернизация, реновация и переоборудование
5	Выполнение ремонта элементов судна	Подводной части корпуса; Прочих корпусных работ; Ремонт корпусов судов из легких сплавов; Ремонт железобетонных конструкций; Ремонт корпусов судов, изготовленных из композитных материалов; Ремонт/ замена стальных трубопроводов; Ремонт/ замена трубопроводов из ПВХ; Ремонт/ замена трубопроводов из алюминия; Ремонт судовой арматуры; Ремонт судовой арматуры; Ремонт донно-заборной арматуры; Ремонт насосов; Ремонт двигателей (в т.ч. дизельных, бензиновых, электрических, СПГ, водородных, др.), Ремонт движительно-рулевого комплекса (в т.ч. подруливающего устройства, наплавка, проточка валов, обработка поковок); Ремонт гребных винтов; 6Изготовление/ ремонт втулок; Ремонт электрооборудования; Ремонт/ замена кабельных трасс; Ремонт радиооборудования; Ремонт навигационного

№ п/п	Наименование группы	Перечень показателей
		оборудования; Ремонт судовых устройств; Ремонт палубных механизмов; Центровка валовых линий; Наплавка, мех.обработка (цепей, деталей)
6	Судоподъемные сооружения	Слип; Док; Док-кессон
7	Виды производств	Корпусообрабатывающее; Корпусозаготовительное (сборочно-сварочное); Стапельное; Механомонтажное; Трубопроводное; Столярно-плотничное; Малярное; Изоляционное; Такелажно-парусное; Машиностроительное механообрабатывающее; Механосборочное; Участок опрессовки и ремонта ДЗА; Проверка валов на биение; Наплавка, проточка валов; Цех дельных вещей; Арматурное; Ремонтное; Инструментальное; Транспортное; Складское; Лабораторный комплекс

В связи с тем, что, целью настоящего исследования является выполнение анализа предприятий, выполняющих ремонт судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания, за базовый был принят перечень предприятий, имеющих признание Российского Классификационного Общества на выполнение различных видов работ, связанных с дефектацией, техническим обслуживанием, ремонтом, модернизацией и переоборудованием судов или их элементов, а также разработкой соответствующей технической документации [8]. Таким образом наличие действующего свидетельства о признании явилось необходимым условием включения предприятий в рассматриваемый список в качестве правомерных участников рынка судоремонта. Вместе с тем, в базе РКО состоит более 1000 предприятий, выполняющих различные виды работ. Информация о спектре выполняемых работ частью этих организаций, за исключением базы РКО, недоступна или поиск ее затруднен. В соответствии с этим была сформирована выборка предприятий, информация по которым наиболее полно представлена в открытых источниках, и представители которых предоставили заполненные чек-листы в соответствии с подготовленной формой. Кроме того, рассмотрению подлежали преимущественно предприятия, оказывающие комплекс услуг в сфере ремонта или обслуживания флота. Так, организации, выполняющие исключительно проектные работы или установку и производство отдельных позиций оборудования не подлежали анализу. С учетом этих условий в показательную итоговую выборку вошло 150 предприятий. В перечень рассматриваемых предприятий вошли следующие представители судоремонтной отрасли: АО «Борремфлот», АО «Судостроительный завод имени Октябрьской революции», АО «Азовская судостроительная верфь», АО «Архангельская ремонтно-эксплуатационная база флота», АО «Ахтубинский судостроительно-судоремонтный завод», АО «Жатайская судостроительная верфь», АО «Малмыжский завод по ремонту дизельных двигателей», АО «Первомайский судоремонтный завод», АО «Порт Коломна», АО «Северное речное пароходство», АО «СРЗ «Память Парижской Коммуны», АО «Судостроительно-судоремонтный завод имени Ленина», АО «Сургутское судоремонтное предприятие», АО «Хабаровская ремонтно-эксплуатационная база флота», АО «Хлебниковский машиностроительно - судоремонтный завод», АО «Цимлянский судомеханический завод», АО «Чкаловская судостроительная верфь», АО «Южный центр судостроения и судоремонта», АО РСЗ «Прибой», Ливадийский ремонтно-судостроительный завод, Медвежьегорская ремонтно-эксплуатационная база, Архангельская РЭБ, ООО «МагрудКапСтрой», ООО «Многопрофильная компания «СкайПрофи»», ООО «Норд», ООО «Речная транспортная компания «Сухона», ООО «Аврора», ООО «АДМИРАЛ», ООО «Апирс», ООО «Архангельское судоремонтное предприятие», ООО «АРХ-ШИППИНГ», ООО «Байкал-Судоремонт», ООО «Балтийская

судоремонтная компания», ООО «Барнаульский речной порт», ООО «Белозерский порт», ООО «Беломорская сплавная компания», ООО «Берег», ООО «Береговой производственный участок «ВОЛНА», ООО «Борская судоремонтная компания», АО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева», ООО «ВолгаРемДизельФлот», ООО «ВодТрансСевер», ООО «Пермская судовой верфь», ООО «Самарский судоремонтный завод», ООО «Самусьский судостроительно-судоремонтный завод», ООО Судоремонтная компания «Техфлот», ООО «Флот Мастер», Филиал АО «ЕРП» Ермолаевская РЭБ флота, Филиал АО «ЕРП» Подтесовская РЭБ флота и т.д.

Примечательно, что большая часть рассматриваемых предприятий в своем расположении тяготеют именно к внутренним водным путям, что обусловлено необходимостью выполнения на них ремонта судов внутреннего и смешанного плавания, имеющей значение в рамках настоящего исследования.

Поиск подробной информации, касающейся материально-технической базы и услуг рассматриваемых предприятий выполнялся путем рассылки на электронные адреса предприятий и сбора заполненных чек-листов, анализа информации, представленной на сайте РКО и на сайте ФНС России (по видам деятельности по основному и дополнительному ОКВЭД) [9], на отраслевых информационных порталах [10, 11] и непосредственно на сайтах и страницах предприятий. Все полученные данные заносились в единую сводную форму.

Результаты

Подготовленная сводная таблица включает в себя столбцы, позволяющие идентифицировать наличие определенных позиций, представленных в табл.1 на каждом предприятии в отдельности. Ввиду большого количества составляющих ее столбцов и строк, затрудняющих наглядное восприятие представленной информации, наиболее целесообразным является применение графических способов отображения данных по каждой из рассматриваемых групп параметров. В связи с этим был подготовлен комплекс соответствующих графиков. Так на рис.2 представлена линейчатая диаграмма, отображающая количество предприятий, выполняющих дефектацию отдельных элементов судов.

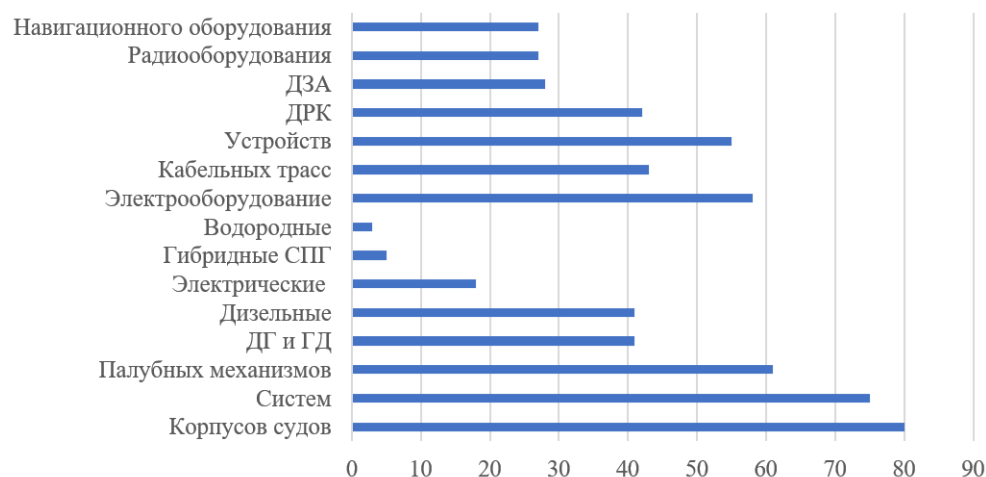


Рис. 2. Количество предприятий показательной выборки, выполняющих дефектацию отдельных элементов судна

Из представленной диаграммы видно, что наибольшее распространение на рассматриваемых предприятиях получила дефектация корпуса, систем, палубных механизмов и электрооборудования и устройств. При этом возможность дефектации

двигателей, работающих на сжиженном природном газе и водороде предусмотрена на единичных производствах и слабо распространена. Сравнительно слабое распространение услуг по выполнению дефектации навигационного и радиооборудования, а также электродвигателей объясняется тем, что их выполнение во многих случаях осуществляется узкоспециализированными предприятиями, не выполняющими дефектацию и ремонт иных элементов судна, которые вошли в показательную выборку в значительно меньшем количестве, нежели предприятия, выполняющие широкий спектр судоремонтных работ.

При проведении анализа сферы дефектации целесообразно рассмотрение применяемых в этих целях методов ее выполнения. На рис.3 представлена круговая диаграмма, отображающая распространенность применяемых в этой области методов.



Рис. 3. Распространенность различных методов дефектации элементов судна

Из рис.3 видно, что наиболее широко распространены визуально-измерительный метод дефектации, и в незначительно меньшей степени – ультразвуковая толщинометрия и ультразвуковая дефектоскопия. Рентген-контроль распространен крайне слабо, что является вполне обоснованным ввиду отсутствия требований к его проведению в рамках выполнения ремонтных работ по различным элементам судна. Визуально-измерительный контроль при этом является обязательным при дефектации корпусных конструкций, элементов ДРК, механизмов, систем и устройств. Ультразвуковая толщинометрия является неотъемлемой частью процесса дефектации корпусных конструкций и ее выполнением, помимо крупных предприятий, занимаются и прочие участники рынка ввиду значительного спроса и отсутствия необходимости приобретения и содержания производственных площадей (при выполнении дефектации на слипе или в доке завода-исполнителя силами подрядных организаций). Стоимость ультразвуковых толщиномеров также не является критической, что способствует обеспечению возможности выполнения таких работ на большом количестве предприятий. Распространение метода цветной дефектоскопии в целом адекватно спросу на такие работы, необходимость выполнения которых главным образом оправдана при дефектации деталей валовой группы. Количественная оценка распространенности методов дефектации показывает, что возможностями для выполнения визуально-измерительного контроля обладают более 50 из рассматриваемых предприятий, ультразвуковой толщинометрией и дефектоскопией - 45 и 42 предприятия соответственно.

Практический интерес представляет и обеспеченность предприятий материально-технической базой для выполнения операций по очистке и обработке корпусов и их элементов и отсеков. При выполнении ремонтных работ необходимым является не

только очистка наружной обшивки от загрязнений и продуктов коррозии, но также зачистка отсеков и пропарка танков после перевозки взрывоопасных веществ. На рис.4 отображены данные о распространенности подобных услуг на рассматриваемых предприятиях.

В составе рассматриваемой выборки возможностями для реализации работ по каждой из позиций обладает менее 30 предприятий, что, тем не менее не означает острого дефицита в этой области ввиду взаимозаменяемости некоторых видов работ.



Рис. 4. Количество предприятий показательной выборки, выполняющих обработку корпуса и других элементов судна

Анализу подлежало также и количество судоподъемных сооружений различных типов, приходящихся на рассматриваемую выборку предприятий. Эта информация представлена на рис.5. Наибольшее распространение получили доки и слипы различных типов – по 13 единиц.

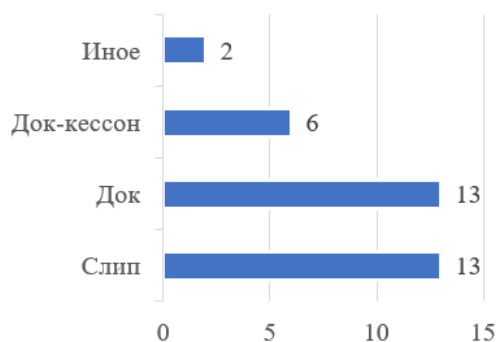


Рис. 5. Количество судоподъемных сооружений

Статистика распределения возможностей выполнения ремонта различных элементов судов представлена на рис.6. Наибольшее распространение в рассматриваемой группе предприятий получил ремонт корпусов стальных судов, при выраженном дефиците возможностей по ремонту судов с корпусами из легких сплавов, композитных материалов и железобетона. Более чем на трети предприятий выполняются работы по ремонту судовых устройств, палубных механизмов, электрооборудования, элементов движительно-рулевого комплекса, дизельных двигателей, насосов и трубопроводной арматуры. Аналогично незначительно количество предприятий, выполняющих ремонт двигателей, работающих на альтернативных типах топлива.

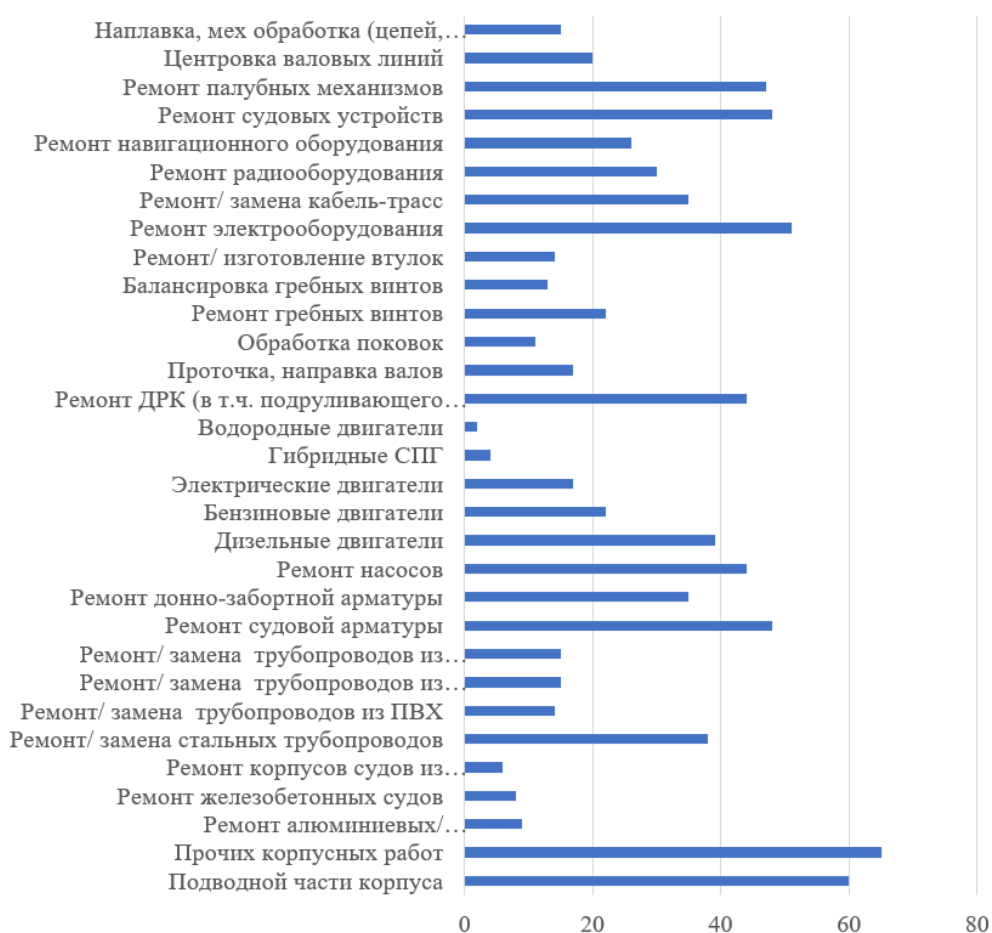


Рис. 6. Количество предприятий показательной выборки, выполняющих ремонт отдельных элементов судна

Количественный анализ материально-технической базы судоремонта в части наличия основных видов производств, представленных на рассматриваемых предприятиях производственными участками или отдельными цехами, позволяет определить общую структуру и оснащенность рассматриваемых организаций. В данном случае наиболее обеспеченными являются производственные участки, предназначенные для выполнения работ с корпусными конструкциями (51), судовыми механизмами (38), судовыми трубопроводами (16). Наличие участков складирования также является неотъемлемой частью предприятий ремонта и обслуживания флота. Редким является наличие на предприятиях такелажно-парусного производства, что, тем не менее отвечает незначительному спросу в этой области, а также изоляционного производства.

Помимо представленной в графической форме на рис. 2-6 информации, было проанализировано и количество предприятий, располагающих отопляемыми помещениями, которые могут быть использованы для хранения радионавигационного оборудования в межнавигационный период. Получена информация о 7 предприятиях, располагающих такой возможностью. Наличие пунктов организованного питания экипажей и работников предприятия, а также общежитий и гостиниц носит скорее единственный характер.

Важно принимать во внимание, что для анализа была применена исключительно полученная из различных источников и верифицированная информация. Ряд

рассматриваемых предприятий мог располагать большим количеством производственных участков и технологий для выполнения некоторых видов работ, чем указано в доступных источниках.

Обсуждение

Представленные графики позволяют дать количественную оценку показателей оснащенности материально-технической базы судоремонтных предприятий, вошедших в исследуемую выборку.

Анализ диаграммы, представленной на рис. 2, показывает, что наибольшее распространение в сфере дефектации получает дефектация основных элементов судов классической конструкции. Дефицит отмечается в области дефектации двигателей, работающих на альтернативных видах топлива. Несколько меньшее количество предприятий, выполняющих дефектацию радионавигационного оборудования обусловлено особенностями состава выборки, включающей по большей части судоремонтные предприятия с широким спектром оказываемых услуг, а дефектацию данного оборудования зачастую выполняют узкоспециализированные компании, довольно широко представленные на рынке, но не учтенные в данном исследовании. Предложений по дефектации элементов корпусных конструкций в сфере судоремонта также значительно больше ввиду существования значительного количества специализированных организаций, выполняющих такие услуги. Кроме того, существует тенденция судоходных компаний к обучению своих технических специалистов выполнению дефектации различных элементов и получению соответствующего признания Классификационного Общества. Она в значительной мере способствует повышению качества ремонта судов компании и обеспечению мониторинга текущего состояния флота и прогнозирования износов и объемов ремонта. Анализ распространенности применяемых методов дефектации и, следовательно, наличия соответствующей материально-технической базы (рис.3) показывает логику распределения ввиду требований РКО к применению определенных методов дефектации для разных элементов судов. Таким образом, в настоящее время не выявлено критических дефицитов в сфере дефектации элементов судов, но, вместе с тем, существует выраженная сезонность загрузки, требующая заблаговременного планирования этих работ, а также выполнения предварительной дефектации отдельных элементов судна.

Распространение на предприятиях методов обработки и покраски корпусов судов и некоторых других элементов позволяет говорить о многообразии применяемых в этой области технологий, при этом на различных предприятиях создана материально-техническая база, обеспечивающая возможность реализации работ различными способами (например дробеструйная, водоструйная, пескоструйная очистка корпуса, различные уровни механизации окрасочных работ). Наибольший дефицит в данной группе показателей можно отметить в сфере дегазации и пропарки танков после перевозки опасных грузов. Кроме того, на больших предприятиях имеется также интенция к дефициту в области услуг зачистки междудонного и иных закрытых пространств. Преодоление последнего вопроса достигается путем привлечения экипажей, а также сторонних бригад. Эта возможность упрощается отсутствием необходимости получения признания на выполнение работ, но тем не менее в этой области имеется дефицит, главным образом сезонный.

Традиционно актуальным остается дефицит судоподъемных сооружений [1] Общее количество судоподъемных сооружений, приходящихся на 150 изучаемых предприятий, составляет 34 ед., что составляет обеспеченность, равную 22,7%. Примечательно, что некоторые предприятия располагают несколькими единицами судоподъемных сооружений, учтенных при формировании статистики. Таким образом более 110 предприятий не имеют судоподъемных сооружений, даже при том, что в настоящем исследовании рассмотрению подлежали многие из наиболее

крупных и оснащенных предприятий. Проблема также усугубляется и значительным моральным и физическим износом существующих в Российской Федерации судоподъемных сооружений ввиду из значительного возраста [12].

Дефициты в части выполнения отдельных видов ремонтных работ по различным элементам судов в целом аналогичны ситуации с дефектацией. Наиболее востребованные направления ремонта обеспечены материально-технической базой в большей степени, а редко выполняющиеся (как ремонт двигателей на альтернативном топливе) - в единичных случаях. Кроме того, многие работы в дополнение к крупным предприятиям могут выполняться узкоспециализированными предприятиями на территории основного завода-исполнителя ремонта, выполняющего, например, слипование, ремонт корпуса, систем и ДРК. Параллельно формируется и ситуация с наличием определенных цехов и производственных участков на предприятиях. Наибольшее распространения получают корпусозаготовительное и корпусообрабатывающее, механомонтажное и механосборочное производства, участки для обработки валов и винтов, ремонта ДЗА. Лабораторные комплексы имеют менее 15 предприятий. В целом сравнительно низкая оснащенность предприятий рассматриваемыми видами производств объясняется отсутствием их отдельных видов на предприятиях, ввиду наличия универсальных производств и наличием возможности выполнения большого количества работ на местах, в том числе на объекте ремонта. Важно отметить, что слабая оснащенность предприятий материально-технической базой для выполнения отдельных видов работ, мало востребованных на текущий момент ввиду небольшого судов, для которых необходимо их выполнение, в перспективе способна сформировать критический дефицит в связи с активизацией внедрения новых технологий на строящихся судах. Таким образом, проработка вопросов перспективного развития таких технологий на предприятиях должна вестись с учетом анализа программ строительства флота на перспективные периоды.

Заключение

Проведенный анализ материально-технической базы 150 предприятий, выполняющих ремонт и обслуживание судов внутреннего и смешанного плавания, позволил получить следующие обобщенные результаты:

1. Сформировать статистическую информацию, касающуюся наличия показателей обеспеченности материально-технической базы отечественного судоремонта на примере выбранных предприятий.

2. Выявить интенцию к возникновению дефицита технологий для ремонта корпусов из композитов и легких сплавов, а также компетенций по обслуживанию двигателей на альтернативном топливе.

3. На примере предприятий показательной выборки обозначить слабую оснащенность отечественного судоремонта современными судоподъемными сооружениями, образующими критические точки в условиях выраженной сезонности загрузки при ремонте флота внутреннего и смешанного плавания [1, 12].

4. Определить дефицит в области оказания услуг по дегазации, пропарке отсеков, а также зачистки труднодоступных участков в корпусе судна в целях подготовки к проведению ремонтных работ.

На основании выполненного анализа, а также изучения текущего состояния отрасли в целом, возможно сформулировать следующие направления развития отечественного судоремонта:

1. Активизация разработки и строительство судоподъемных сооружений, том числе новых типов, а также проработка вопросов применения альтернативных (мобильных) судоподъемных сооружений;

2. Развитие производств, позволяющих осуществлять ремонт композитных судов, ремонт судов с динамическим принципом поддержания с учетом особенностей их

конструкции, ремонт и обслуживание новых видов техники (в т.ч. двигателей, работающих на альтернативных видах топлива и средств судовой автоматизации);

3.Проработка вопросов развития рынка услуг в области подготовки судов к ремонту, в том числе после перевозки нефтепродуктов и повышение в этой связи уровня механизации и автоматизации соответствующих технологических операций;

4.Формирование централизованного банка данных о технологических возможностях предприятий с целью обеспечения наличия актуальной информации о существующей материально-технической базе и перечне услуг каждого судоремонтного предприятия с учетом его расположения, а также с целью формирования векторов развития отечественного судоремонта;

5.Активное развитие производственной кооперации, позволяющей обеспечить эффективное взаимодействие участников рынка в вопросах преодоления дефицитов и исключения необходимости освоения слабо востребованных видов услуг большим количеством предприятий.

В целях реализации двух последних позиций предлагается применение функционала создаваемой информационно-технологической платформы «Флот-Сервис-Судоремонт», предусматривающей возможность динамического формирования банка данных о перечне судоремонтных предприятий, их материально-технической базе и оказываемых услугах, оснащенном аппаратом агрегатирования для эффективного поиска исполнителей ремонта и поиска подрядных организаций и поставщиков. Кроме того, насыщение данной платформы базами данных актуализируемой информацией о существующих и перспективных технологиях призвано способствовать определению направлений развития судоремонтной отрасли.

Вопрос обеспечения сопровождения жизненного цикла изделий судостроения на всей его протяженности также является очень важным [13]. Работа в этом направлении способствует обеспечению надлежащего технического состояния ремонтируемых объектов, а также позволяет осуществлять планирование объемов ремонтных работ на более высоком уровне, что неизменно сказывается на качестве и соблюдении сроков и экономической эффективности судоремонтных работ. Кроме того, цифровизация жизненного цикла изделий позволит развить применение концепции бережливого производства в сфере ремонта и обслуживания флота, повышая их экономическую эффективность и экологическую безопасность [14]

Для обеспечения качественной проработки представленных и других направлений развития отечественного судоремонта целесообразным может стать создание единого отраслевого центра.

В целом развитие отечественного судоремонта, характеризующегося преимущественно точечным внедрением современных технологий, является стратегической задачей в вопросах обеспечения эффективной и безопасной работы флота. В связи с чем необходимым становится преодоление существующих дефицитов и предотвращение их возникновения в отношении особенностей ремонта новых судов.

Список литературы

1. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 28.10.2019 № 2553-р, ред. от 12.05.2025)
2. Рогов А.З. Перспективы развития судоремонта на Дальнем Востоке / А.З. Рогов, Огай С.А., Огай А.С. // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2025. – № 1(62). – С. 89-104.
3. Третьяков А. Н. Применение инновационных технологий в судоремонте / А. Н. Третьяков, А. В. Четин, Е. А. Чабанов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: материалы Второй международной научно-технической конференции;

- Отв. за вып. О. А. Белов. — Петропавловск-Камчатский: Камчатский государств. техн. ун-т, 2020. — С. 63–65.
4. Более 1400 судоремонтных предприятий — на карте России // ПортНьюс. — 2024. — 16 августа. — URL: <https://portnews.ru/news/366692/> (дата обращения: 25.03.2026).
 5. Судоремонтная отрасль в РФ включает более 1400 предприятий и 500 тысяч работников // Sudostroenie.info. — 2024. — 4 сентября. — URL: <https://sudostroenie.info/novosti/43229.html> (дата обращения: 25.03.2026)
 6. Огнева В.В. Анализ характерных организационных и технических особенностей малых судоремонтных предприятий [Текст]: статья / В.В. Огнева // Вестник ВГАВТ. Вып. 35. — Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ». — 2013. — С. 78–83.
 7. Кашина В.В. Особенности формирования банка данных отечественных судоремонтных предприятий в целях насыщения информационно-технологической платформы «Флот-Сервис-Судоремонт» / В.В. Кашина, Е.Г. Бурмистров // Судостроение. — 2025. — №6. — С. 58–62].
 8. Поиск в базе данных свидетельств о признании организаций. — URL: https://rfclass.ru/activities/recognition-of-organizations/poisksvidprizn/?Jsvid%5Bsvid%5D=&Jsvid%5Bname_derj%5D=&Jsvid%5Baddr_derj%5D=&Jsvid%5Bvidwork%5D=ремонт&Jsvid%5Bfilial%5D= (дата обращения: 25.03.2026)
 9. Расширенный поиск по юридическим лицам. — URL: <https://pb.nalog.ru/search-ext.html#t=1774358088102&mode=search-ul-ext&page=1&pageSize=10&okvedUIExt=33.15&arrearUIExt=0%3B10000001&sschrUIExt=0%3B10001&taxpayUIExt=0%3B10000001&expenseUIExt=0%3B10000001&revenueUIExt=0%3B10000001&ausnUIExt=1&eshnUIExt=1&sprUIExt=1&usnUIExt=1/> (дата обращения: 25.03.2026)
 10. ПортНьюс — URL: <https://portnews.ru/> (дата обращения: 25.03.2026)
 11. Korabel.ru — URL: <https://www.korabel.ru/> (дата обращения: 25.03.2026)
 12. Судоремонт: могут ли вертикальные судоподъемники стать решением дефицита спуско-подъемных сооружений? — URL: <https://tehnoros.ru/info/media-about-on/sudoremont-mogut-li-vertikalnye-sudopodemniki-stat-resheniem-defitsita-spusko-podemnykh-sooruzheniy/> (дата обращения: 25.03.2026).
 13. Лебедева Е.Г. Реализация информационной поддержки жизненного цикла изделий судостроения как этап построения «бережливого производства» / Е.Г. Лебедева, Ю.Ю. Шванева., А.А. Волоцкой, А.А. Сомпольцева // Научные проблемы водного транспорта. — 2020. — № 63. — С. 68–76.
 14. Михайлова М.Р. Устранение потерь — основа бережливого производства // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы современного менеджмента». — Новосибирск: СибАК, 2010. — С. 11–15.

References

1. *Strategiya razvitiya sudostroitel'noy promyshlennosti na period do 2036 goda i na dal'neyshuyu perspektivu do 2050 goda* [Strategy for the Development of the Shipbuilding Industry for the Period up to 2036 and for the Future up to 2050]. Approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 2553-r of October 28, 2019 (as amended on May 12, 2025). (In Russ.)
2. Rogov A.Z., Ogay S.A., Ogay A.S. Perspektivy razvitiya sudoremonta na Dal'nem Vostoke [Prospects for the Development of Ship Repair in the Far East]. Vestnik Inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta [Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University]. 2025. No. 1(62). Pp. 89–104. (In Russ.)
3. Tret'yakov A.N., Chetin A.V., Chabanov E.A. Primeneniye innovatsionnykh tekhnologiy v sudoremonta [Application of Innovative Technologies in Ship Repair]. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya vodnogo transporta: problemy i puti razvitiya: materialy Vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Technical Operation of Water Transport: Problems and Development Paths: Proceedings of the Second International Scientific and Technical Conference]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka State Technical University, 2020. Pp. 63–65. (In Russ.)
4. Boleye 1400 sudoremontnykh predpriyatiy — na karte Rossii [More than 1,400 Ship Repair Enterprises on the Map of Russia]. PortNews. August 16, 2024. Available at: <https://portnews.ru/news/366692/> (accessed March 25, 2026). (In Russ.)

5. Sudoremontnaya otasl' v RF vklyuchayet boleye 1400 predpriyatiy i 500 tysyach rabotnikov [The Ship Repair Industry in the Russian Federation Includes More than 1,400 Enterprises and 500 Thousand Workers]. Sudostroenie.info. September 4, 2024. Available at: <https://sudostroenie.info/novosti/43229.html> (accessed March 25, 2026). (In Russ.)
6. Ogneva V.V. Analiz kharakternykh organizatsionnykh i tekhnicheskikh osobennostey malykh sudoremontnykh predpriyatiy [Analysis of Characteristic Organizational and Technical Features of Small Ship Repair Enterprises]. Vestnik VGAVT [Bulletin of Volga State University of Water Transport]. 2013. Issue 35. Pp. 78–83. (In Russ.)
7. Kashina V.V., Burmistrov E.G. Osobennosti formirovaniya banka dannykh otechestvennykh sudoremontnykh predpriyatiy v tselyakh nasyshcheniya informatsionno-tekhnologicheskoy platformy «Flot-Servis-Sudoremont» [Features of Forming a Database of Domestic Ship Repair Enterprises for the Purpose of Saturating the Fleet-Service-Ship Repair Information Technology Platform]. Sudostroyeniye [Shipbuilding]. 2025. No. 6. Pp. 58–62. (In Russ.)
8. Poisk v baze dannykh svidetel'stv o priznanii organizatsiy [Search in the Database of Certificates of Recognition of Organizations]. Russian Maritime Register of Shipping. Available at: https://rfclass.ru/activities/recognition-of-organizations/poisksvidprizn/?Jsvid%5Bsvd%5D=&Jsvid%5Bname_derj%5D=&Jsvid%5Baddr_derj%5D=&Jsvid%5Bwork%5D=ремонт&Jsvid%5Bfilial%5D= (accessed March 25, 2026). (In Russ.)
9. Rasshirennyy poisk po yuridicheskim litsam [Advanced Search for Legal Entities]. Federal Tax Service of Russia. Available at: <https://pb.nalog.ru/search-ext.html#t=1774358088102&mode=search-ul-ext&page=1&pageSize=10&okvedUIExt=33.15&arrearUIExt=0%3B10000001&sschrUIExt=0%3B10001&taxpayUIExt=0%3B10000001&expenseUIExt=0%3B10000001&revenueUIExt=0%3B10000001&ausnUIExt=1&eshnUIExt=1&sprUIExt=1&usnUIExt=1/> (accessed March 25, 2026). (In Russ.)
10. PortNews. Available at: <https://portnews.ru/> (accessed March 25, 2026). (In Russ.)
11. Korabel.ru. Available at: <https://www.korabel.ru/> (accessed March 25, 2026). (In Russ.)
12. Sudoremont: mogut li vertikal'nyye sudopod'yemniki stat' resheniyem defitsita spusko-pod'yemnykh sooruzheniy? [Ship Repair: Can Vertical Ship Lifts Become a Solution to the Deficit of Launching and Lifting Facilities?]. TekhnoRos. Available at: <https://tehnoros.ru/info/media-about-on/sudoremont-mogut-li-vertikalnye-sudopodemniki-stat-resheniem-defitsita-spusko-podemnykh-sooruzheniy/> (accessed March 25, 2026). (In Russ.)
13. Lebedeva E.G., Shvaneva Yu.Yu., Volotskoy A.A., Sompoltseva A.A. Realizatsiya informatsionnoy podderzhki zhiznennogo tsikla izdeliy sudostroyeniya kak etap postroyeniya «berezhlivogo proizvodstva» [Implementation of Information Support for the Life Cycle of Shipbuilding Products as a Stage of Building Lean Manufacturing]. Nauchnyye problemy vodnogo transporta [Scientific Problems of Water Transport]. 2020. No. 63. Pp. 68–76. (In Russ.)
14. Mikhaylova M.R. Ustraneniye poter' – osnova berezhlivogo proizvodstva [Elimination of Losses – the Basis of Lean Manufacturing]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye problemy sovremennogo menedzhmenta» [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Current Problems of Modern Management»]. Novosibirsk: SibAK, 2010. Pp. 11–15. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Vera V. Kashina, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Ship Design and Construction Technology, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: lrtof@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.04.2026; принята к публикации 20.04.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 07.04.2026; published online 20.06.2026.

УДК 531.391.1:532.5.011
DOI: 10.37890/jwt.vi87.695

Методика оценки проектных параметров сверхмалого электрического безэкипажного экранного катера

Ю.А. Карпиков

ORCID: 0009-0003-6669-8958

А.В. Февральских

ORCID: 0000-0002-5959-7994

А.А. Крайнов

ORCID: 0000-0003-1156-8702

НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В предлагаемой работе рассмотрен метод предварительной оценки проектных параметров сверхмалых электрических безэкипажных экранных катеров. Для выполнения исследования моделировались характеристики малых экранолетов нормальной схемы с прямым крылом малого удлинения. Определение потребных параметров электрической силовой установки выполнено на основе имитационного моделирования уравнений движения экранных катеров с учетом траекторных ограничений в варьируемом диапазоне проектных параметров. Зависимости основных аэродинамических коэффициентов от высоты движения над подстилающей поверхностью приняты на основе экспериментальных данных о прототипе. Разработанная методика основана на траекторном проектировании и позволяет предварительно оценивать массово-габаритные характеристики малых экранных катеров, а также выбирать различные варианты оснащения их электрических силовых установок. Предложенный метод может быть интегрирован в обобщенную методику проектирования и оптимизации характеристик аппаратов указанных типов.

Ключевые слова: проектирование, безэкипажный катер, сверхмалый экраноплан, аккумуляторная батарея, электрический транспорт, имитационное моделирование, оптимизация, математическая модель

Methodology for estimating the design parameters of an ultra-small electric powered screen boat

Yuri A. Karpikov

ORCID: 0009-0003-6669-8958

Andrey V. Fevral'skikh

ORCID: 0000-0002-5959-7994

Artem A. Krainov

ORCID: 0000-0003-1156-8702

NSTU named after R.E. Alekseev

Abstract. In this paper, we consider a method for preliminary evaluation of the design parameters of ultra-small electric powered screen boats. To perform the study, the characteristics of small screens of a normal circuit with a straight wing of small elongation were modeled. The required parameters of the electric propulsion system were determined based on simulation modeling of the equations of motion of screen boats, taking into account trajectory constraints in a variable range of design parameters. The dependences of the main aerodynamic coefficients on the height of movement above the underlying surface are based on experimental data on the prototype. The developed methodology is based on trajectory design and allows you to pre-evaluate the mass-dimensional characteristics of small screen boats, as well as choose various options for equipping their electric propulsion systems. The

proposed method can be integrated into a generalized methodology for designing and optimizing the characteristics of these types of devices.

Keywords: design, unmanned boat, ultra-small screen boat, battery, electric transport, simulation, optimization, mathematical model

Введение

Использование экранопланов для решения транспортных задач, по мнению многих современных исследователей, является перспективным направлением совершенствования морской техники [1,2]. В России применение экранопланов особенно актуально в силу наличия развитой речной сети и необходимости обеспечения транспортной системы Северного морского пути [3]. Другой современной тенденцией развития морской техники является насыщение роботизированными технологиями. Безэкипажные катера различных типов находят все больше сфер применения в военном [4] и гражданском секторах [5,6]. В этих условиях одним из важнейших показателей технического совершенства современных безэкипажных катеров является обеспечение высоких транспортных характеристик. Создание сверхмалых экранопланов - одно из перспективных направлений развития скоростных безэкипажных катеров [7]. Высокие показатели транспортной эффективности могут быть достигнуты данным классом техники в связи с широким распространением современных электродвигателей (ЭД), а также литий-полимерных аккумуляторных батарей (АБ) с большой удельной емкостью [8].

Для принятия технических решений на ранних стадиях проектирования необходимо выбирать варианты оснащения сверхмалых электрических безэкипажных экранных катеров (ЭБЭК) аккумуляторными батареями, маршевыми электродвигателями, а также предварительно оценивать их массово-габаритные характеристики. В данной работе предлагается подход к расчетной оценке указанных проектных параметров и выбору вариантов оснащения ЭБЭК. Предлагаемый подход основан на адаптации методики баллистического проектирования для моделирования хода аппарата над подстилающей поверхностью, учета зависимостей для моделирования аэродинамических характеристик экраноплана и особенностей работы электрической силовой установки (СУ).

Методика оценки проектных параметров электрических безэкипажных экранных катеров

Для расчетной оценки характеристик ЭБЭК используется методика баллистического проектирования [9], в соответствии с которой, рассматривается система уравнений движения. Движение ЭБЭК над подстилающей поверхностью описывается уравнениями, отличными от характерных для безэкипажного катера с погруженной частью [10]. В качестве функционального требования задаются характерные точки траектории движения с учетом изменения высоты над подстилающей поверхностью при достижении заданной дальности. Система уравнений движения поэтапно интегрируется с учетом изменения параметров движения. При моделировании движения в качестве основной характеристики принимается нагрузка на крыло p (кгс/м²). Варьируя значения нагрузки на крыло и увязывая его значение с относительными массами частей ЭБЭК, возможно определить значение нагрузки на крыло для аппарата минимальной массы, способного совершить движение по траектории с учетом принятых ограничений. Для предварительной оценки транспортных характеристик методом баллистического проектирования рекомендуется использовать упрощенную запись системы уравнений движения, приведенных к линейному виду, в ней учитывается только продольное движение без боковых маневров.

Наибольшие значения требуемых мощностей W_{Π} достигаются СУ в начальный момент движения и при разгоне, для выполнения условий отрыва и выхода на крейсерский режим соответственно. Эти режимы также соответствуют наиболее быстрому расходу емкости АБ. Располагаемая мощность СУ ограничивается значением W_p . При этом на меньшей относительной высоте положительное влияние экранного эффекта значительнее, что позволяет снизить нагрузку на СУ. В данной работе полагалось, что старт осуществляется со специального катапультного устройства с достижением стартовой скорости $v_{\text{СТАРТ}}=55\text{ км/ч}$, а высота движения над подстилающей поверхностью меньше или равна хорде крыла. С учетом указанных условий потери энергии до выхода на крейсерский режим движения меньше, чем для классического БПЛА.

Уравнения движения ЭБЭК схожи с таковыми для БПЛА, однако в соотношениях (1)-(3), содержащих аэродинамические коэффициенты C_x и C_y , необходимо учитывать влияние близости подстилающей поверхности:

$$\sin \alpha \sim \alpha = \frac{Mg}{\frac{W}{v} + C_{y\alpha}(\bar{h}) \frac{M}{p} q} \quad (1)$$

$$\dot{v} = \frac{\frac{W}{v} - C_x(\bar{h}, \alpha) \frac{M}{p} q}{M} - g \sin \theta \quad (2)$$

$$W_{\Pi} = \left(Mg \sin \theta + C_x(\bar{h}, \alpha) \frac{M}{p} q \right) \cdot v, \quad (3)$$

где θ – угол наклона траектории;

α – угол атаки;

$C_{y\alpha}(\bar{h})$ – производная коэффициента подъемной силы по углу атаки для разных относительных высот движения над подстилающей поверхностью;

$C_x(\bar{h}, \alpha)$ – коэффициент сопротивления для разных углов атаки и относительных высот движения над подстилающей поверхностью;

q – скоростной напор;

M – значение массы аппарата (кг);

W_{Π} – требуемая мощность (Вт);

v – скорость аппарата (м/с);

p – удельная нагрузка на крыло (кг/м²).

Значение текущей мощности W СУ определяется значением располагаемой мощности, если в процессе интегрирования уравнений значение требуемой мощности больше располагаемой $W_{\Pi} > W_p$. В этом случае происходит увеличение угла атаки для компенсации недостатка подъемной силы и достижения равновесия системы уравнений. Возрастание угла атаки ограничивается заданием угла сваливания, принятого равным $\alpha_{\text{кр}} = 70^\circ$.

В предлагаемой методике изменения аэродинамических коэффициентов моделируется в зависимости от высоты движения над подстилающей поверхностью [11,12]. Данные продувок, использованные для моделирования аэродинамических коэффициентов представлены на рис. 1. и рис. 2.

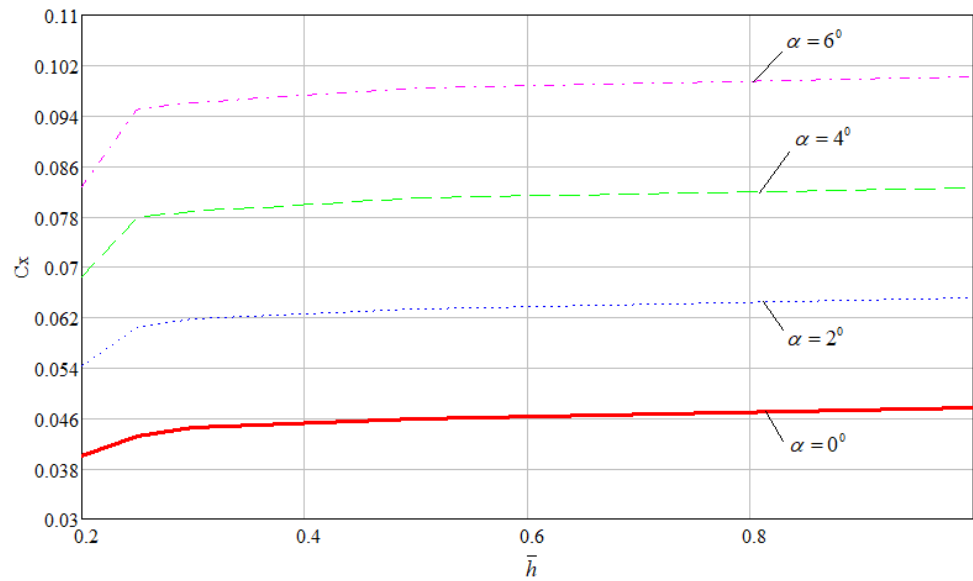


Рис. 1. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от относительной высоты движения над подстилающей поверхностью для различных углов атаки

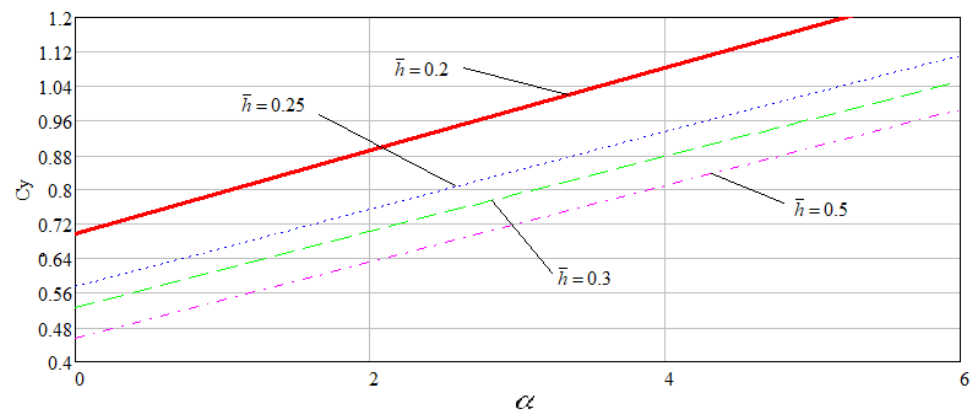


Рис. 2. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки для различных относительных высот движения над подстилающей поверхностью

Облик сверхмалого электрического экраноплана, для которого выполнялась оценка представлен на рис.3. Характерными особенностями данного аппарата является применение нормальной аэродинамической схемы с низкорасположенным крылом малого удлинения и Т-образным оперением, расположение двух винтовых двигателей в переднюю часть аппарата в зону обдува крыла [12]. Удлинение крыла данного аппарата составляет $\lambda=2,22$.

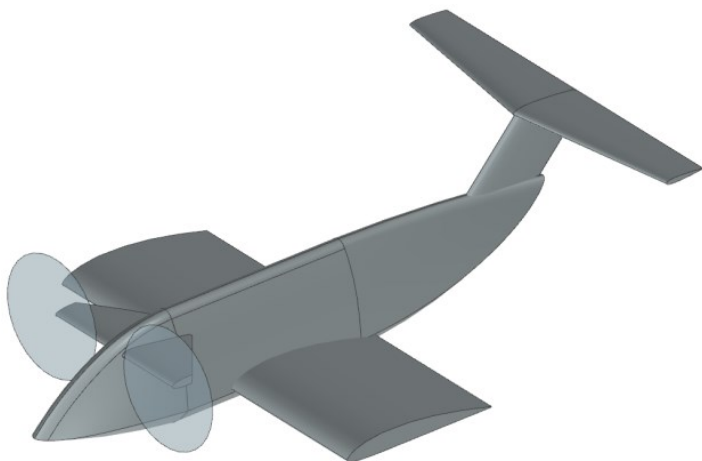


Рис. 3. Облик сверхмалого электрического экраноплана

В результате баллистического расчета решение системы уравнений движения ЭБЭК производится при заданных траекторных и скоростных ограничениях, а также с учетом изменения коэффициентов C_x и C_y в зависимости от высоты движения над подстилающей поверхностью. Численное интегрирование по времени для определения параметров на всех этапах движения итеративно выполняется методом Эйлера.

Максимальные мощности ЭД, выбираемых для оснащения вариантов ЭБЭК не должны быть менее потребных максимальных мощностей W_{max} , получаемых в результате реализаций траекторий движения. Выбор АБ основан, как возможности максимальной токоотдачи на режимах максимальной мощности, так и на соответствии емкости АБ значению суммарной затраченной на движение энергии E при достижении заданной дальности [13].

Выбранные АБ и ЭД позволяют оценить относительный вес СУ $\mu_{СУ}$.

Относительная масса конструкции μ_K и бортового оборудования $\mu_{оборуд}$ могут быть определены по известным эмпирическим зависимостям. Тогда значение стартовой массы ЭБЭК можно определить из уравнения баланса в виде:

$$m_0 = \frac{m_{пн}}{1 - \sum \mu_i} \quad (4)$$

На ранних этапах проектирования для оценки проектных характеристик, соответствующих рациональному облику ЭБЭК допустимо использовать метод оптимизации по доминирующему критерию. Согласно данному принципу рациональным обликом ЭБЭК можно считать аппарат, оптимизированный по доминирующему критерию минимальной массы, характеристики которого соответствуют всем заданным параметрам, а также траекторным и скоростным ограничениям. Варьируя удельную нагрузку на крыло p методом последовательных уступок с заданием порога невязки $\Delta m_{0n \text{ ТРЕБ}}$ возможно найти значение минимальной стартовой массы для заданного диапазона удельных нагрузок на крыло.

$$m_{0n}^{opt} = MIN(m_{0n}(p_i)) \quad (5)$$

при:

$$m_{0n}(p_i) - m_{0n-1}(p_i) < \Delta m_{0n \text{ ТРЕБ}} \quad (6)$$

После определения минимальной стартовой массы m_0 в соответствии с формулами (5) и (6) можно перейти к уточнению массовой сводки аппарата и более детальному проектированию.

Результаты

Варианты оснащения ЭБЭК и полученные расчетные дальности движения приведены в табл.1. Для сравнительной оценки полезного влияния экранного эффекта выполнена проектная оценка минимальных масс БПЛА с удлинением $\lambda=6$, выполняющих полеты на дальности, указанные в табл.1. Данные, по сравнительной оценке, возрастания расчетной дальности движения для различных масс аппаратов при использовании полезного экранного эффекта представлены на рис.4.

Таблица 1

Данные расчетов различных вариантов оснащения электрических безкипажных экранных катеров

Вар.	Стартовая масса (кг)	Электродвигатель	Полезная нагрузка (кг)	Хорда крыла (мм)	Высота движения над подстилающей поверхностью (м)	Расчетная дальность (км)
1	36,6	2xT-Motor U7 KV280	5	680	0,5	42
2	50	2xT-Motor VL8015 KV170	5	720	0,52	65
3	74,8	2xT-Motor MN1015 KV70	5	800	0,52	80

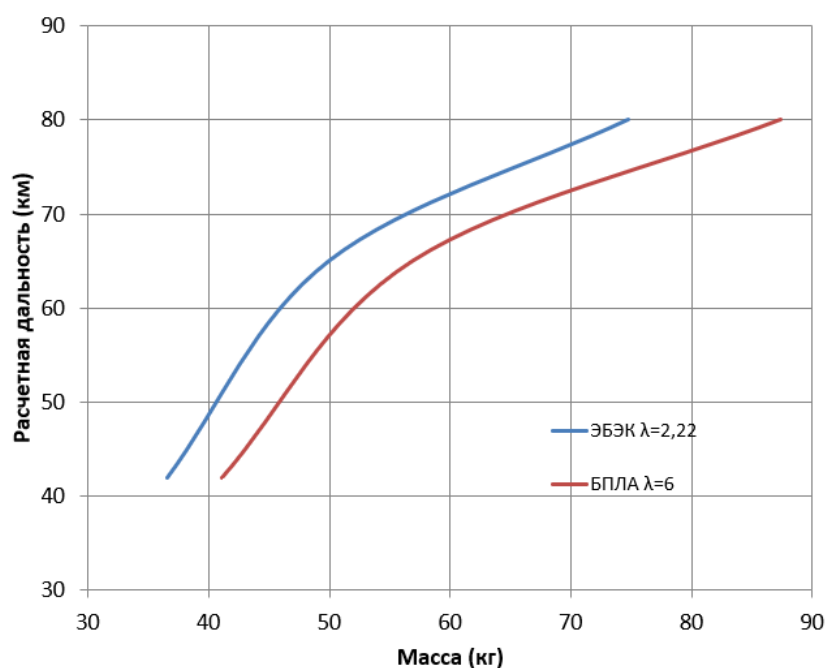


Рис. 4. Оценка возрастания расчетной дальности движения для различных масс аппаратов при использовании полезного экранного эффекта

Обсуждение

На основе анализа расчетных данных, приведенных в табл. 1 и показанных на рис. 4, можно сделать вывод о положительном влиянии применения экранного эффекта на транспортные характеристики аппарата. За счет снижения требуемого значения мощности работы электрической СУ при движении на крейсерском режиме с большим аэродинамическим качеством ЭБЭК емкость АБ расходуется медленнее. Использование данной положительной особенности позволяет получить расчетную дальность ЭБЭК аналогичную БПЛА при оснащении ЭБЭК более легкой АБ. Уменьшение стартовой массы ЭБЭК по отношению к стартовой массе БПЛА для аппаратов с массой в 37 кг составляет около 10,9 %, при стартовой массе в 75 кг – около 14,5 %.

Заключение

Полученные результаты могут использоваться для предварительных расчетов массово-габаритных характеристик сверхмалых электрических безэкипажных экранных катеров. Данные характеристики могут быть увязаны с вариантами их оснащения аккумуляторными батареями и маршевыми электродвигателями. Результаты, получаемые на основе предлагаемой методики, можно применить в математической модели проектирования сверхмалого электрического безэкипажного экранного катера для оптимизации его облика.

Список литературы

1. Красильникова О.А., Зайцев А.В. Экономические аспекты организации высокоэффективной транспортной системы на базе экранопланов нового поколения / Успехи современного естествознания – 2011. – № 7. – С. 130-132. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=27144>
2. В.И. Любимов, А.А. Гаккель, В.И. Барышев / Анализ тенденций развития экранопланов и перспективы их использования в транспортной системе России Вестник ВГАВТ, выпуск 53, 2017 г. – С. 69-74. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tendentsiy-razvitiya-ekranoplanov-i-perspektivy-ih-ispolzovaniya-v-transportnoy-sisteme-rossii>
3. Февральских А.В., Ваганов А.Б., Савинов В.Н., Орлов Ю.Ф. Оценка преимуществ эксплуатации экранопланов в транспортной системе Северного морского пути по результатам математического моделирования / Морские интеллектуальные технологии. – 2024. – № 4-3 (66). – С. 18-25. (K1). DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.66.4.046>
4. С.Н. Охрименко, И.Л. Рубанов, А.Н. Рубцов Безэкипажные катера и корабли их характеристики и решаемые ими задачи / Подводные исследования и робототехника 2025 № 2 (5). – С. 81-86. DOI: 10.37102/1992-4429_2025_52_02_08
5. НПЦ «Крылья Сахалина» осуществили первую в России доставку гуманитарной помощи населению с помощью безэкипажного катера <https://sakhwings.ru/news/moneron>
6. М.Ю. Бибилов, В.А. Никитин, В.В. Смирнов/ Дронная разведка оперативно-ледовой обстановки при движении по северному морскому пути/ Международный журнал гуманитарных и естественных наук, ч. 5-1 (80), 2023. – С. 43-49. DOI:10.24412/2500-1000-2023-5-1-43-49
7. Christopher McFadden. Turkey revives the sea-skimming Ekranoplan as a smart drone / Interesting Engineering Aug 04, 2025
8. Попов С.В./ Электросудоходство: вызовы и перспективы развития / Актуальные исследования 2023. №10 (140). – С. 15-20. DOI:10.5281/zenodo.13713238
9. Балык В.М., Гайдаров Д.Д., Соцков И.А. Многокритериальный выбор рациональных обликочных характеристик беспилотного летательного аппарата при многоимпульсном режиме движения // Вестник Московского авиационного института. 2023. Т. 30. № 3. С. 59–68. <https://mai.ru/publications/index.php?ID=176875>

10. Филиппова Е. Р., Ясинская Ю. В. Исследование системы управления движением безэкипажного катера // Труды Санкт-Петербургского Государственного морского технического университета. 2025. № 1 (13), том 4 – С. 61-68. DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_61
11. Белафин Н.И. Экранопланы. Л., изд. «Судостроение», 1977, 228 с.
12. Е.М. Грамузов, В.И. Любимов, А.В. Февральских [и др.] Автоматизированная оптимизация компоновки крыла и горизонтального оперения экраноплана по результатам численного моделирования аэродинамики / Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 3-1(45). – С. 38-47. <https://morintex.ru/ru-nauchnyj-zhurnal/biblioteka-zhurnala/2019-god/>
13. Зиненков Ю.В., Луковников А.В. Особенности расчета летно-технических характеристик электрической силовой установки беспилотного летательного аппарата самолетного типа с помощью математического моделирования // Вестник Московского авиационного института. 2024. Т. 31. № 2. С. 85–94. URL: <https://vestnikmai.ru/publications.php?ID=180651>

References

1. Krasilnikova O.A., Zaitsev A.V. Economic aspects of organizing a highly efficient transport system based on new-generation ekranoplanes / Successes of modern natural science – 2011. No. 7. pp. 130-132. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=27144>
2. V.I. Lyubimov, A.A. Gakkel, V.I. Baryshev / Analysis of trends in the development of ekranoplanes and prospects for their use in the transport system Russian Bulletin of VGAVT, issue 53, 2017. pp. 69-74. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tendentsiy-razvitiya-ekranoplanov-i-perspektivy-ih-ispolzovaniya-v-transportnoy-sisteme-rossii>
3. Fevral'skikh A.V., Vaganov A.B., Savinov V.N., Orlov Yu.F. Evaluation of the advantages of using ekranoplanes in the transport system of the Northern Sea Route based on the results of mathematical modeling / Marine intelligent Technologies. – 2024. – № 4-3 (66). – Pp. 18-25. (K1) DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.66.4.046>
4. S.N. Okhrimenko, I.L. Rubanov, A.N. Rubtsov Unmanned boats and ships, their characteristics and tasks solved by them / Underwater Exploration and Robotics 2025 No. 2 (5). pp. 81-86. DOI: [10.37102/1992-4429_2025_52_02_08](https://doi.org/10.37102/1992-4429_2025_52_02_08)
5. NPC «Wings of Sakhalin» carried out the first delivery of humanitarian aid to the population in Russia using a crewless boat <https://sakhwings.ru/news/moneron>
6. M.Y. Bibikov, V.A. Nikitin, V.V. Smirnov/ Drone reconnaissance of the operational ice situation during movement along the Northern Sea Route/ International Journal of Humanities and Natural Sciences, part 5-1 (80), 2023. pp. 43-49. DOI: [10.24412/2500-1000-2023-5-1-43-49](https://doi.org/10.24412/2500-1000-2023-5-1-43-49)
7. Christopher McFadden. Turkey revives the sea-skimming Ekranoplan as a smart drone / Interesting Engineering Aug 04, 2025
8. Popov S.V./ Electric shipping: challenges and development prospects / Current research • 2023. No. 10 (140). pp. 15-20. DOI: [10.5281/zenodo.13713238](https://doi.org/10.5281/zenodo.13713238)
9. Balyk V.M., Gaidarov D.D., Sotskov I.A. Multi-criteria selection of rational shape characteristics of an unmanned aerial vehicle in a multi-pulse mode of motion // Bulletin of the Moscow Aviation Institute. 2023. Vol. 30. No. 3. pp. 59-68. <https://mai.ru/publications/index.php?ID=176875>
10. Filippova E. R., Yasinskaya Yu. V. Investigation of the motion control system of a crewless boat // Proceedings of the St. Petersburg State Maritime Technical University. 2025. No. 1 (13), volume 4. pp. 61-68. DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_61
11. Belavin N.I. Ekranoplans. L., ed. «Shipbuilding», 1977, 228 p.
12. E.M. Gramuzov, V.I. Lyubimov, A.V. Fevral'skikh [et al.] Automated optimization of wing layout and horizontal tail of an ekranoplane based on the results of numerical modeling of aerodynamics / Marine intelligent technologies. – 2019. – № 3-1(45). – Pp. 38-47. <https://morintex.ru/ru-nauchnyj-zhurnal/biblioteka-zhurnala/2019-god/>
13. Zinenkov Yu.V., Lukovnikov A.V. Features of calculating the flight performance characteristics of an electric power plant of an aircraft-type unmanned aerial vehicle using mathematical modeling // Bulletin of the Moscow Aviation Institute. 2024. Vol. 31. No. 2. pp. 85-94. URL: <https://vestnikmai.ru/publications.php?ID=180651>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Карпиков Юрий Андреевич, аспирант,
Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева,
603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина,
24, e-mail: yourockkarp@mail.ru

Февральских Андрей Владимирович,
доктор технических наук, доцент,
Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева,
603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина,
24, e-mail: a.fevralskih@gmail.com

Крайнов Артем Александрович, кандидат
технических наук, доцент, Нижегородский
государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 603155, г. Нижний
Новгород, ул. Минина, 24,
e-mail: art.kr-91@mail.ru

Yuri A. Karpikov, , graduate student Nizhny
Novgorod State Technical University named
after R.E. Alekseev. 24 Minina Street, Nizhny
Novgorod, 603155, e-mail:
yourockkarp@mail.ru

Andrey V. Fevralskikh, Doctor of Technical
Sciences, Associate Professor Nizhny
Novgorod State Technical University named
after R.E. Alekseev. 24 Minina Street, Nizhny
Novgorod, 603155, e-mail:
a.fevralskih@gmail.com

Artem A. Krainov, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor Nizhny
Novgorod State Technical University named
after R.E. Alekseev. 24 Minina Street, Nizhny
Novgorod, 603155, e-mail: art.kr-91@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.12.2025; принята к публикации 20.04.2026;
опубликована онлайн 20.06.2026. Received 05.12.2025; published online 20.06.2026.

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi87.696

Автоматизация оценки технического состояния корпуса судна

Ю.А. Кочнев

ORCID: 0000-0002-6864-4473

И.Б. Кочнева

ORCID: 0000-0002-5612-3742

О.К. Зяблов

ORCID: 0000-0002-2981-779X

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

Аннотация: Суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания характеризуются ограниченными сроками ремонтно-восстановительных работ, приходящихся на «холодный» период года, существенный возраст и отсутствие документации в электронном виде. Эти обстоятельства существенно усложняют дефектацию судна и сопутствующую подготовку организационно-технической документации. В связи с курсом на цифровизацию и формирование единого цифрового паспорта судна, задача автоматизации оценки технического состояния корпуса является критически важной. Ключевая проблема заключается в разрыве информационных потоков: планирование ремонта ведется в условиях неопределенности объема работ, а оценка технического состояния (дефектация) и подготовка отчетной документации (растяжки, таблицы регистрации результатов измерений и рекомендации по восстановлению технического состояния) выполняются вручную или с использованием устаревших методов, при этом передача информации между этапами выполняется в большинстве случаев «перепечатыванием» цифр. В работе предлагается комплексный подход к автоматизации планово-организационной подготовки судоремонта, включающий три основных направления: автоматизированное восстановление цифровой основы, роботизация процесса дефектации и интеграция данных в документооборот с цифровой алгоритмизацией их обработки. Все перечисленные направления позволят не только поднять качество дефектации, но и повысить эффективность судна в целом.

Ключевые слова: дефектация, судоремонт, робот, подготовка технической документации

Automation of vessel hull technical condition assessment

Yuri A. Kochnev

ORCID: 0000-0002-6864-4473

Irina B. Kochneva

ORCID: 0000-0002-5612-3742

Oleg K. Zyablov

ORCID: 0000-0002-2981-779X

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

Abstract: Inland and mixed (river-sea) navigation vessels are characterized by limited periods of repair and restoration work occurring during the “cold” period of the year, significant age and lack of electronic documentation. These circumstances significantly complicate the defect detection of the vessel and the accompanying preparation of organizational and technical documentation. In connection with the course towards digitalization and the formation of a unified digital passport of the vessel, the task of automating the assessment of the hull technical condition is critically important. The key problem is the disruption of information flows: repair planning is carried out in conditions of uncertainty of the scope of work, and the assessment of the technical condition (defects) and

the preparation of reporting documentation (stretch marks, tables for recording measurement results and recommendations for restoring the technical condition) are carried out manually or using outdated methods, in this case, the transfer of information between stages is carried out in most cases by “retyping” numbers. The work proposes an integrated approach to automating the planning and organizational preparation of ship repair, including three main areas: automated restoration of the digital basis, robotization of the defect detection process and integration of data into document flow with digital algorithmization of their processing. All of the above areas will not only improve the quality of defect detection, but also increase the efficiency of the vessel as a whole.

Keywords: defect detection, ship repair, robot, preparation of technical documentation.

Введение

Суда внутреннего плавания в силу специфики своей работы в весенне – осенний период имеют короткий временной интервал на ремонтно-восстановительные работы при капитальном, среднем и других видах ремонта. Планирование по размещению судна на территории завода для осуществления регламентных операций зачастую выполняется, когда необходимый объем и состав работ по ремонту ещё не известен. Оценку технического состояния выполняют после установки судна на «кильблоках» в «холодные» периоды года, что существенно её затрудняет.

После проведения оценки технического состояния требуется предъявить Российскому Классификационному обществу (РКО) набор документов, в состав которого, например, входит растяжка наружной обшивки корпуса судна с нанесёнными проектными и остаточными толщинами, а также различными дефектами. Для речных судов, у которых в настоящее время средний возраст превысил 40 лет [1], документация в электронном векторном формате, облегчающем оформление по нормам РКО, практически отсутствует.

По мимо этого передача информации от источника данных (измерительного прибора) к конечному документу, передаваемому на согласование эксперту классификационного общества, включая все промежуточные расчётные и сводные результаты, выполняется вручную.

Целенаправленность судовладельцев, Объединённой судостроительной корпорации и участников жизненного цикла судна на формирование единого цифрового документа, сопровождающего развитие судна от этапа постройки до его утилизации, в виде электронного паспорта, единой информационной модели или электронного регламента утилизации судна и т.п. [2], [3], [4], [5], [6], требует широкого внедрения электронного взаимодействия между участниками судостроения и судоремонта. Тогда автоматизация оценки технического состояния корпуса речного судна, как одного из элементов развития цифровизации в судоремонте становится актуальной и востребованной задачей.

Материалы и методы

Цифровизацию процесса оценки технического состояния корпусов судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания, поднадзорных Российскому классификационному обществу можно представить в виде трёх основных этапов:

- подготовка проектной документации;
- выполнение работ на судне;
- оформление отчётной документации.

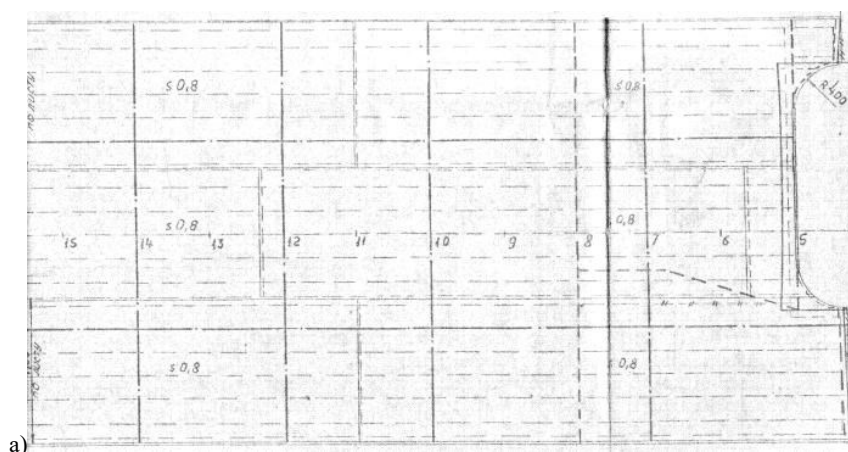
Взаимосвязь между указанными этапами приведена на рисунке 1. Поток информации может быть начат с пространственной цифровой модели судна (ПЦМ), при её наличии. В случае полной или частичной автоматизации третьего этапа (Дефектация), которая проводится непосредственно на судне, ПЦМ необходима и должна быть создана для каждого объекта морской и речной техники, для чего может

быть использован теоретический чертёж, практический корпус, конструктивный чертёж корпуса, растяжка наружной обшивки, настилов палуб и водонепроницаемых переборок.



Рис. 1. Блок-схема информационных потоков при подготовке к ремонту

Учитывая, как было отмечено выше, отсутствие для большинства речных судов, находящихся в эксплуатации, перечисленных чертежей в электронном виде, необходимо их восстановление с бумажного носителя. Получение растрового формата не представляет сложности и может быть выполнено или с применением промышленных сканеров больших форматов, или даже с помощью камеры мобильного телефона с последующим масштабированием и объединением в один рисунок. Его перевод в векторный формат возможен, например утилитами лёгкого САПР nanoCAD отечественной компании CSoft (рисунок 2). Одним из преимуществ предлагаемого подхода может служить разработка на его основе тяжелого судостроительного САПР на базе ModelStudio с формированием единой информационной модели объекта морской и речной техники.



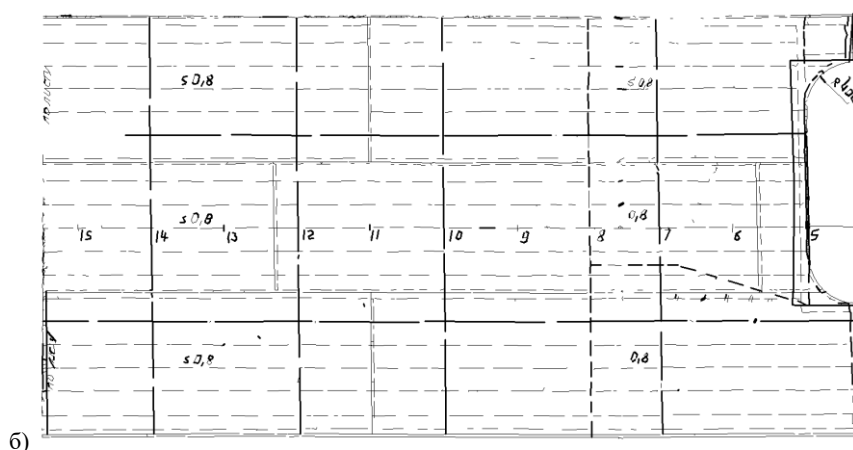


Рис. 2. Растровый (а) и векторный (б) примеры части конструктивного чертежа

Существенным недостатком предлагаемого перехода является разрыв пунктирных и штрихпунктирных линий, которых на рассматриваемом чертеже большое количество, так как они обозначают разные элементы конструкции корпуса судна. Их представление в виде отдельных сегментов требует дополнительной обработки, что сопоставимо по трудозатратам с созданием нового чертежа, за счёт обвода растровой подложки, которую поддерживают большинство современных лёгких САПР.

То есть, при отсутствии ПЦМ судна, растяжку наружной обшивки (НО) корпуса более рационально выполнять традиционными методами. Однако, учитывая, что она необходима только для включения в комплект документов РКО, её представление может быть заменено на условное схематичное представление в электронных таблицах (Open Office, MS Excel и др.).

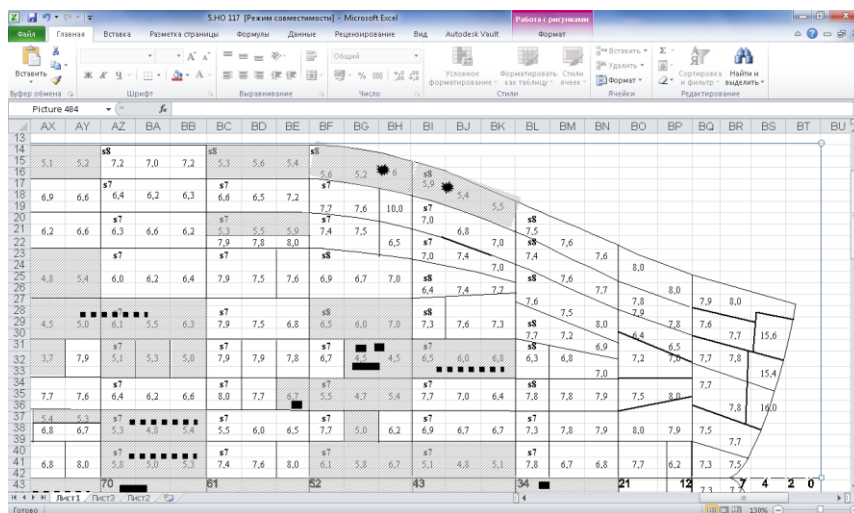


Рис. 3. Растяжка НО в формате электронной таблицы

Автоматизация части процесса дефектации на судне может быть выполнена за счёт применения роботизированных комплексов (рисунок 4), который состоит из несущей платформы на гусеничном ходу, электродвигателей, прижимных магнитов,

блока управления роботом с источником питания, блока толщинометрии, «умной» камеры; блока геодезической оценки кривизны поверхности и оценки пространственного положения [7], взаимосвязь между которыми приведена на рисунке 5.

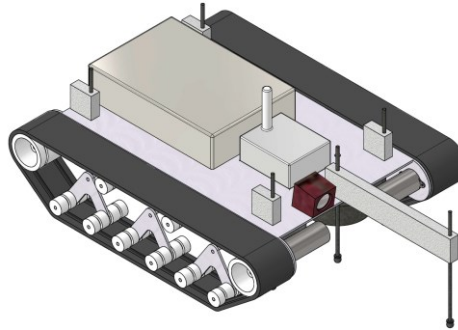


Рис. 4. Робот для дефектации корпуса металлического судна

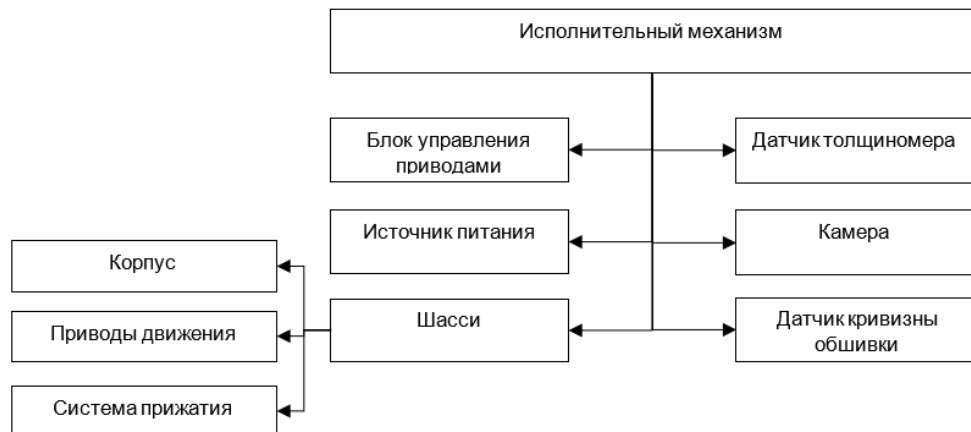


Рис. 5. Принципиальная схема телеуправляемого аппарата для дефектации

Перечисленные конструктивные элементы позволяют предлагаемой конструкции самостоятельно перемещаться по криволинейной поверхности наружной обшивки, а также плоским поверхностям палуб и переборок прикрепляясь к ним за счёт неодимовых магнитов. Наличие умной камеры в связке с системой искусственного интеллекта на базе нейросетей позволит находить и определять геометрические характеристики дефектов поверхностей (вмятин, гофрировок, пробоин и т.д.). Однако внешнее определение положения балок набора, пазов и стыков обшивки только за счёт машинного зрения может быть затруднительным, поэтому позиционирование робота осуществляется по ПЦМ корпуса, формируемой в блоке 1 (рисунок 1).

Наличие растяжки наружной обшивки, настилов палуб, платформ и переборок в векторном формате, позволяет, используя средства расширения возможностей на базе языка Visual Lisp, идентифицировать линии чертежа (рисунок 6) тем самым автоматизировать передачу данных из памяти робота на графо-математическую модель (ГММ) и в электронные таблицы.

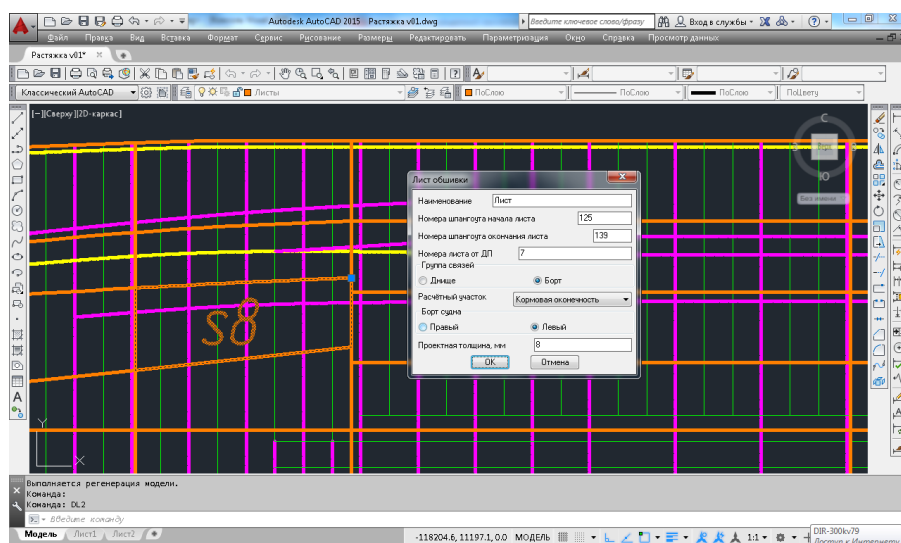


Рис. 6. Растяжка наружной обшивки

В ГММ проставляются идентифицированные дефекты и остаточные толщины листовых элементов связей корпуса. В таблицы заносится аналогичная информация, но в отличие от растяжек в численном виде и выполняются вычисления остаточных толщин, анализ деформаций, сравнения дефектов с допускаемыми значениями, формируются рекомендации по ремонту. Все перечисленное представляет собой отчёт по дефектации, направляемый в классификационное общество на согласование.

ПЦМ, выполненная на первом этапе, позволяет автоматически сформировать эквивалентный брус судна, на основе которого выполняется расчёт общей прочности по регламентированной методике, так же направляемый на согласование.

Обсуждение

Комплексный подход к автоматизации дефектации и последующего оформления документации на её основе, содержащий пространственную цифровую модель судна, строго упорядоченные потоки информации между реальным судном, средствами измерения, базами данных, алгоритмами обработки текущей информации и её конечного представления можно рассматривать как инновационный подход к доминирующей части планово-организационной подготовки судоремонта. Внедрение единичных предложений из рассмотренной схемы, как например, только роботизация или графоаналитическое представление корпуса, не приведёт к качественным изменениям и скорее всего только усложнит отработанный годами процесс.

Внедрение рассматриваемых предложений возможно только совместно с изменением подхода классификационного общества, судовладельцев, судоремонтных предприятий к самой идеологии оценки технического состояния судна и последующем его поддержании и, при необходимости, восстановлении. Однако это необходимо делать в рамках выполнения национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства» [8, 9]. Аналоги подобных решений в рамках морского судостроения у нас в стране уже есть [10] и их как наилучшие практики, необходимо внедрять для судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания.

Заключение

Предлагаемые способы автоматизации процесса дефектации судна и сопутствующих работ по выпуску технической документации после их внедрения в технологические процессы позволит снизить их трудоёмкость, повысить качество и,

что наиболее важно, существенно сократить сроки исполнения. Последнее обстоятельство, так же положительно скажется и на общей эффективности судна, за счёт возможности более позднего вывода из эксплуатации на очередной ремонт и освидетельствование.

Список литературы

1. Красюк, А.Б. Исследование вопроса возможности дальнейшей эксплуатации танкеров типа «Волгонефть» при условии своевременного качественного ремонта / А.Б. Красюк, А.А. Буцанец // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2025. – Т. 17, № 4. – С. 545-557. – DOI 10.21821/2309-5180-2025-17-4-545-557.
2. Конфигурация электронного паспорта судна / А.Э. Тимин, Е.В. Филиппов, В.В. Огнева, Е.Г. Бурмистров // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2017. – № 51. – С. 64-68.
3. Кочнева, И.Б. Концептуальная модель регламента утилизации судна / И.Б. Кочнева, Ю.А. Кочнев // Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 2-1(68). – С. 100-106. – DOI 10.37220/MIT.2025.68.2.010.
4. Электронная информационная модель изделий судостроения на различных стадиях жизненного цикла / О. Галкина, А. Рындин, Л. Рябенский [и др.] // САПР и графика. – 2005. – № 4. – С. 18.
5. Давыдов Денис. Единый формат данных для судостроения – новый предмет оживленных дискуссий // [Электронный ресурс]: <https://mashnews.ru/edinyij-format-dannyix-dlya-sudostroeniya-novyij-predmet-ozhivlennyix-diskussij.html> (дата обращения 31.01.2026)
6. Логинов, А.Н. Особенности разработки и внедрения информационной системы по созданию рабочей конструкторской документации по общекорабельным системам / А.Н. Логинов, Р.О. Арчевов, С.А. Никифоров // Судостроение. – 2022. – № 1(860). – С. 18-23.
7. Автоматизированная оценка технического состояния корпуса судна перед его утилизацией / О.К. Зяблов, И.Б. Кочнева, Ю.А. Кочнев, В.А. Лобанов // Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 3-3(69). – С. 61-67. – DOI 10.37220/MIT.2025.69.3.056.
8. Неуступова, А. С. Цифровизация судостроения на основе современных информационных технологий (опыт и перспективы) / А.С. Неуступова, А.С. Горбачев // Естественно-гуманитарные исследования. – 2025. – № 3(59). – С. 402-407.
9. Представлен проект цифровой трансформации судостроительной отрасли. [Электронный ресурс]. https://www.korabel.ru/news/comments/predstavlen_proekt_cifrovoy_transformacii_sudostr_oitelnoy_otrasli.html (дата обращения 02.03.2026)
10. Зяблов О.К., Науменко А.Н. Сравнительный анализ правил PPP и РМРС в области освидетельствований и дефектации судов. // Великие реки 2018: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2018. – URL: <http://вф-река-море.рф/2018/PDF/9.pdf> (дата обращения 02.03.2026).

References

1. Krasnyuk, A.B., Butsanets A.A. Issledovanie voprosa vozmozhnosti dal'neishei ehkspluatatsii tankerov tipa «Volgoneft'» pri uslovii svoevremennogo kachestvennogo remonta [On the possibility of continuing to operate volgoneft-type tankers, provided that they undergo timely, high-quality repairs] Vestnik Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. 2025, T. 17, no.4, pp. 545-557. (In Russ). – DOI 10.21821/2309-5180-2025-17-4-545-557.
2. A.Eh. Timin, E.V. Filippov, V.V. Ogneva, E.G. Burmistrov. Konfiguratsiya ehlektronnogo pasporta sudna [The vessel electronic passport configuration] Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. 2017, no.51, pp. 64-68, (In Russ).
3. Kochneva, I.B., Kochnev, Yu.A. Kontseptual'naya model' reglamenta utilizatsii sudna [Conceptual model of the ship recycling regulations] Morskie intellektual'nye tekhnologii. [Marine intellectual technologies]. 2025, no.2-1(68), pp. 100-106. (In Russ). – DOI 10.37220/MIT.2025.68.2.010.

4. O. Galkina, A. Ryndin, L. Ryaben'kii [& other] Ehlektronnaya informatsionnaya model' izdelii sudostroeniya na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla. [Electronic information model of shipbuilding products at various stages of the life cycle]. SAPR i grafika. 2005. no.4, p. 18. (In Russ).
5. Davydov Denis. Edinyi format dannykh dlya sudostroeniya – novyi predmet ozhivlennykh diskussii [A unified data format for shipbuilding is a new subject of lively debate] [Ehlektronnyi resurs]: Available at: <https://mashnews.ru/edinyij-format-dannyix-dlya-sudostroeniya-novyy-predmet-ozhivlennykh-diskussij.html> (accessed 31.01.2026)
6. A.N. Loginov, R.O. Arshekov, S.A. Nikiforov Osobennosti razrabotki i vnedreniya informatsionnoi sistemy po sozdaniyu rabochei konstruktorskoj dokumentatsii po obshchekorabel'nykh sistemam x Features of the development and implementation of an information system for the creation of working design documentation for general ship systems] Sudostroenie. 2022, no.1(860), pp. 18-23. (In Russ).
7. O.K. Zyablov, I.B. Kochneva, Yu.A. Kochnev, V.A. Lobanov. Avtomatizirovannaya otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya korpusa sudna pered ego utilizatsiei [Automated assessment of the technical condition of the vessel's hull before its disposal] Morskoe intellektual'nye tekhnologii. [Marine intellectual technologies] 2025, no.3-3(69), pp. 61-67. (In Russ).– DOI 10.37220/MIT.2025.69.3.056.
8. Neustupova, A.S., Gorbachev A.S. Tsifrovizatsiya sudostroeniya na osnove sovremennykh informatsionnykh tekhnologii (opyt i perspektivy) Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya. 2025, no.3(59), pp. 402-407. (In Russ).
9. Predstavlen proekt tsifrovoy transformatsii sudostroitel'noi otrasli. [Ehlektronnyi resurs]. Available at: https://www.korabel.ru/news/comments/predstavlen_proekt_cifrovoy_transformatsii_sudostr_oitelnoy_otrasli.html (accessed 02.03.2026)
10. Zyablov O.K., Naumenko A.N. Sravnitel'nyi analiz pravil RRR i RMRS v oblasti osvidetel'stvovaniy i defektatsii sudov [Comparative analysis of the rules of rmrs and rrr in the field of survey and inspection of ships]. Velikie reki-2018 [Great rivers-2018]: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii. Available at: <<http://XN-----7KCGQC6ASSOG3B.XN--P1AI>> (accessed 02.03.2026).

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

Yuri A. Kochnev, doctor of Technical Sciences, Professor, professor of Department of Design and construction of ships, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

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

Irina B. Kochneva, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of Department the Environmental Protection and Industrial Safety, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

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

Oleg K. Zyadlov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of Department the Department of Design and construction of ships, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Статья поступила в редакцию 25.03.2026; принята к публикации 20.04.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 25.03.2026; published online 20.06.2026.

УДК 629.5.015.4

DOI: 10.37890/jwt.vi87.697

Оценка предельной и остаточной прочности корпуса судна

С. А. Огай

Л. Ч. Тхинь

*Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского,
г. Владивосток, Россия*

Аннотация. Общие структурные правила, разработанные Международной ассоциацией классификационных обществ (МАКО), устанавливают пошагово-итерационный метод в качестве одного из стандартных методов оценки предельной/остаточной прочности корпуса судна в неповрежденном и поврежденном состояниях. Положение нейтральной оси (НО) поперечного сечения этим методом определяется на каждом шаге увеличения кривизны из условия равновесия сил (УРС). Однако в случае неравномерного распределения нагрузки или повреждений из-за столкновений/посадки на мель, приводящих к возникновению асимметрии поперечного сечения корпуса судна, НО совершает как поступательное движение, так и вращательное движение одновременно. В настоящей работе вращательное движение НО учтено условием векторного равновесия сил (УРВС), а алгоритм SLSQP (*Sequential Least Squares Quadratic Programming*) используется для одновременного определения двух движений НО. Полученные результаты численных расчетов для контейнеровоза (прямое плавание, неповрежденный корпус) хорошо согласуются с существующими методами, включая методы, описанные в отчетах Международного конгресса по корабельным и морским сооружениям (ISSC). Исследовано влияние угла поворота НО на предельную/остаточную прочность при различных углах крена судна. Благодаря улучшенной скорости сходимости и требуемой точности алгоритма SLSQP, предлагаемый метод может быть использован для быстрой и рациональной оценки прочности корпуса судна в неблагоприятных условиях.

Ключевые слова: пошагово-итерационный метод, нейтральная ось, кривизна, остаточная прочность, предельная прочность, алгоритм SLSQP.

Assessment of the ultimate and residual strength of a ship's hull

Sergei A. Ogay

Le Tr. Thinh

Admiral G.I. Nevelskoy Maritime State University, Vladivostok, Russian Federation

Abstract. The Common Structural Rules (CSR) developed by the International Association of Classification Societies (IACS) stipulate the incremental-iterative method as one of the standard methods for assessing the ultimate/residual strength of an intact or damaged ship's hull. Based on the force equilibrium condition (FEC), the position of the neutral axis (NA) of the cross-section is determined at each increment of curvature. However, in cases of non-uniform loading or damage due to collision/grounding, which lead to asymmetry in the ship's hull cross-section, the NA undergoes both translational and rotational motion simultaneously. To account for the rotational motion of the NA, the force equilibrium condition is extended to a vector equilibrium condition (VEC), and the Sequential Least Squares Quadratic Programming (SLSQP) algorithm is employed to simultaneously determine both motions of the NA. For a container ship under upright, intact condition, the numerical calculation results show good agreement with existing methods, including those outlined in the reports of the International Ship and Offshore Structures Congress (ISSC). The influence of the NA rotation angle on the ultimate/residual strength at various ship heel angles is discussed. Owing to the improved convergence rate and required accuracy of the SLSQP algorithm, the proposed method can be used for a rapid and rational assessment of hull strength under adverse conditions.

Keywords: incremental-iterative method, neutral axis, curvature, residual strength, ultimate strength, SLSQP algorithm.

Введение

Разрушение корпуса судна является наиболее катастрофическим видом отказа, поскольку оно почти всегда приводит к полной потере судна. Корпус судна может разрушиться, если его максимальная несущая способность (или предельная прочность корпуса) недостаточна для восприятия приложенных к нему нагрузок. Наиболее типичным последствием разрушения корпуса является перелом судна на две части под действием экстремальных вертикальных изгибающих моментов, превышающих предельную прочность корпуса. Предотвращение разрушения корпуса является важнейшей задачей при оценке безопасности судовых конструкций. Существующие методы оценки предельной прочности корпуса могут быть разделены на две группы: простые и продвинутое [1].

Простые методы включают метод начального пластического изгибающего момента, метод упругого анализа и метод, основанный на предполагаемом распределении напряжений. Метод предполагаемого распределения напряжений был первоначально предложен Caldwell [2] и впоследствии усовершенствован Paik и Mansour [3] с использованием уточненных распределений напряжений по поперечному сечению для расчета предельной прочности корпуса. Улучшенная версия метода Paik и Mansour (модифицированный метод P-M) была разработана для учета распространения зоны пластичности, в которой высота зоны текучести при осевом растяжении и высота зоны разрушения при осевом сжатии определяются с использованием итерационного метода проб и ошибок [4]. Эти методы доказали свою полезность для прогнозирования предельной прочности корпуса. Однако недостатком этих методов является то, что они не учитывают снижение несущей способности после достижения предельной прочности каждого отдельного структурного элемента.

К продвинутым методам относятся пошагово-итерационный метод (также известный как метод Smith), метод конечных элементов (МКЭ) и метод идеализированных структурных единиц (ISUM).

МКЭ, позволяющий одновременно учитывать потерю устойчивости, текучесть и смешанные виды разрушения пластин и подкрепленных панелей, образующих корпус, считается наиболее надежным методом для расчета предельной прочности корпуса как в неповрежденном, так и в поврежденном состоянии. Однако он требует значительных вычислительных затрат при увеличении масштаба анализа. Это связано с тем, что обычный МКЭ включает в себя большое количество неизвестных физических величин в узлах конечных элементов, а итерационные вычисления, необходимые для решения нелинейных уравнений жесткости, занимают значительное количество времени. Кроме того, достоверность результатов МКЭ в значительной степени зависит от квалификации и знаний инженера [5].

ISUM решает проблему вычислительных затрат времени, сохраняя при этом приемлемую точность расчетов. ISUM был разработан Ueda и Rashed [6] с использованием крупногабаритных структурных элементов, в которых нелинейное поведение каждого элемента формулируется явно с помощью прямых соотношений «нагрузка-укорочение» в виде прямой матрицы. На основе ISUM была разработана компьютерная программа – код ALPS, позволяющий существенно сократить усилия по моделированию с учетом начальных геометрических несовершенств и остаточных напряжений [7].

Smith [8] предложил пошагово-итерационный метод для проведения анализа прогрессирующего разрушения поперечного сечения корпуса, испытывающего продольный изгиб; этот метод в настоящее время обычно называют методом Smith. В методе Smith поперечное сечение корпуса судна разделяется на элементы. Перед проведением анализа прогрессирующего разрушения определяются усредненные

зависимости «напряжение-деформация» ($\sigma - \varepsilon$) для каждого отдельного элемента под осевой нагрузкой с учетом влияния пластичности и потери устойчивости. Используя предварительно установленные зависимости $\sigma - \varepsilon$ для каждого элемента, изгибающий момент определяется при последовательном увеличении кривизны, а предельная прочность получается, как максимальное абсолютное значение кривой изгибающего момента. Было проведено значительное количество исследований по методу Smith, и результаты были представлены и детально проанализированы в [1, 9, 10]. По сравнению с другими продвинутыми методами, метод Smith позволяет проводить анализ с более простым моделированием, требует меньшего времени вычислений, а его точность является удовлетворительной, благодаря чему он получил широкое распространение в предварительном проектировании и исследованиях [11].

Общие структурные правила для балкеров и нефтеналивных танкеров [11], издаваемые Международной ассоциацией классификационных обществ (МАКО), устанавливают метод Smith в качестве одного из стандартных методов оценки предельной прочности корпуса как в неповрежденном, так и в поврежденном состоянии. Предельная прочность корпуса в поврежденном состоянии определяется МАКО как остаточная прочность. Кривые $\sigma - \varepsilon$ для каждого отдельного элемента, полученные с помощью аналитических выражений. Новые положения НО поперечного сечения корпуса при последовательном увеличении кривизны определяются Smith [8] и МАКО [11] через условие равновесия сил (УРС). УРС показывает, что сумма сжимающих сил должна быть равна сумме растягивающих сил по поперечному сечению корпуса на каждом шаге увеличения кривизны. УРС доказало свою эффективность в отслеживании поступательного смещения НО и определении ее мгновенного положения для неповрежденного судна. Однако во многих случаях из-за субъективных человеческих ошибок, приводящих к неравномерному распределению веса груза во время погрузки/разгрузки, или когда конструкция корпуса судна повреждается в случае столкновения и посадки на мель, разлива нефти или поступления воды в поврежденный отсек, возникает асимметрия поперечного сечения корпуса, что в большинстве случаев вызывает крен судна. Вследствие геометрической и нагрузочной асимметрии мгновенная НО поврежденного поперечного сечения на каждом шаге увеличения кривизны не только смещается поступательно, но и поворачивается, и пренебрежение этим поворотом приводит к неточным оценкам.

На основе уравнения жесткости, использующего теорию конечных элементов в сочетании с чисто приращенной (без итераций) процедурой на каждом шаге нагружения при достаточно малом приращении кривизны, Fujikubo и др. [12] предложили явное выражение для угла поворота и поступательного смещения НО несимметричного поперечного сечения корпуса судна, испытывающего двухосный изгиб. Choung и др. [13] исследовали остаточную прочность асимметрично поврежденного танкера путем объединения условия векторного равновесия сил (УВРС) и УРС. Два фиксированных коэффициента сходимости для условий УРС и УВРС были использованы для определения поступательного смещения и угла поворота НО на каждом шаге увеличения кривизны. Однако практически не была раскрыта информация о применяемой итерационной стратегии и процессе решения для определения положения НО.

В данном исследовании используется пошагово-итерационный метод (метод Smith) МАКО [11], для оценки предельной/остаточной прочности корпуса судна. Для определения положения НО на каждом шаге увеличения кривизны несимметричного поперечного сечения на основе УРС и УВРС применяется алгоритм SLSQP (Sequential Least Squares Programming) [14], обеспечивающий высокую скорость сходимости и требуемую точность минимизации. Контейнеровоз, приведенный в отчетах Международного конгресса по корабельным и морским сооружениям (ISSC)

[1, 10], взят для анализа его предельных изгибающих моментов как в неповрежденном состоянии, так и в условиях предварительно заданных повреждений. Сначала предельная прочность корпуса неповрежденного судна в случаях прогиба (sagging condition) и перегиба (hogging condition) при прямом плавании сравнивается с результатами, приведенными в отчетах ISSC [1, 10]. Наконец, предельная прочность корпуса и движение НО при различных углах поперечного крена анализируются для состояний неповрежденного и остаточная прочность корпуса – для состояний поврежденного с целью исследования влияния поворота НО.

Метод анализа

Пошагово-итерационный метод МАКО [11]. При применении процедуры обычно принимаются следующие допущения: предельная прочность рассчитывается для поперечного сечения корпуса между двумя смежными поперечными связями; поперечное сечение корпуса остается плоским на каждом шаге приращения кривизны; материал корпуса обладает упруго-пластическими свойствами; элементы считаются работающими независимо друг от друга. Основные этапы процедуры суммированы ниже (см. блок-схему на рис. 2а).

Этап 1: Разделить поперечное сечение корпуса судна на набор элементов.

Этап 2: Определить зависимости $\sigma - \varepsilon$ для всех элементов с помощью аналитических выражений.

Этап 3: Инициализировать кривизну χ и НО для первого шага приращения.

Этап 4: Рассчитать соответствующие деформации σ и напряжения ε для каждого элемента.

Этап 5: Определить положение НО на каждом шаге приращения кривизны χ на основе УРС.

Этап 6: Рассчитать соответствующий изгибающий момент M путем суммирования вклада всех элементов.

Этап 7: Сравнить изгибающий момент на текущем шаге приращения с моментом на предыдущем шаге. Если наклон кривой $M - \chi$ меньше определенного отрицательного значения, завершить процесс и определить максимальное абсолютное значение – предельный изгибающий момент M_U . В противном случае, увеличить кривизну на величину $\Delta\chi$ и вернуться к этапу 4.

Положение НО на каждом шаге приращения кривизны χ определяется из УРС следующим образом:

$$f = \left| \frac{F_c - F_t}{F_c + F_t} \right| = \delta_1, \quad (1)$$

$$F_c = \sum \sigma_i(\chi) \cdot A_i \text{ с } \sigma_i > 0,$$

$$F_t = \sum \sigma_i(\chi) \cdot A_i \text{ с } \sigma_i < 0,$$

где F_c – суммарная сжимающая сила всех укороченных элементов; F_t – суммарная растягивающая сила всех удлиненных элементов; $\sigma_i(\chi)$ – сжимающее (растягивающее) напряжение каждого элемента на каждом шаге приращения кривизны χ ; A_i – площадь каждого элемента. В случае перегиба корпуса структурные элементы выше НО испытывают удлинение (отрицательная деформация), в то время как элементы ниже НО укорачиваются (положительная

деформация), и наоборот – в случае прогиба корпуса. Коэффициент сходимости δ_1 представляет собой заданный допуск нулевого значения для УРС.

Модифицированный пошагово-итерационный метод. Пошагово-итерационный метод МАКО предполагает, что судно находится в прямом положении и изгибающий момент действует в вертикальной плоскости судна. Это называется вертикальным изгибом.

Как упомянуто во введении, если судно из-за неравномерного распределения груза или повреждения конструкции в случае столкновения и/или посадки на мель приобретает крен, то кроме вертикального изгиба M_y на него также будет воздействовать горизонтальный изгиб, то есть изгибающий момент M_z , действующий в горизонтальной плоскости судна. Рассматривая общий случай асимметричного поперечного сечения корпуса из-за повреждения конструкции при столкновении (обозначено серой областью), поступление забортной воды приводит к крену судна, как показано на рис. 1.

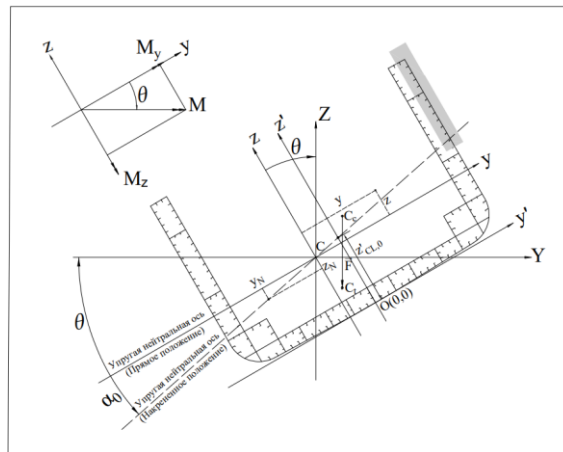


Рис. 1. Система координат для анализа прогрессирующего разрушения при одновременном горизонтальном и вертикальном изгибе

Системы координат и обозначения на рис. 1 определяются следующим образом: $Oy'z'$ – система координат, где ось z' находится в плоскости симметрии судна до момента повреждения; $C(y'_c, z'_c)$, $C_e(y'_c, z'_c)$ и $C_t(y'_c, z'_c)$ – соответственно центр тяжести (ЦТ) упругости, ЦТ зоны сжатия и ЦТ зоны растяжения поперечного сечения корпуса после повреждения конструкции; C_{yz} – система координат с осями, параллельными осям системы координат $Oy'z'$; CYZ – система координат, где ось Y параллельна ватерлинии; θ – угол крена судна относительно ватерлинии; α_0 – угол новой упругой НО относительно исходного положения; $z'_{CL,0}$ – вертикальное положение на оси Oz' новой упругой НО.

Изгибающие моменты M_y и M_z непосредственно связаны и являются составляющими общего изгибающего момента M (действующего в «истинной» вертикальной плоскости):

$$M_y = M \cdot \cos \theta, M_z = -M \cdot \sin \theta. \quad (2)$$

Рассматривая поперечное сечение корпуса в упругой области, напряжение σ_i в точке (y, z) может быть получено следующим образом:

$$\sigma_i = \frac{(I_{yz} \cdot \cos \theta + I_y \cdot \sin \theta) \cdot y - (I_{yz} \cdot \sin \theta + I_z \cdot \cos \theta) \cdot z}{I_{yz}^2 - I_y \cdot I_z}. \quad (3)$$

где I_y и I_z – вертикальный и горизонтальный моменты инерции относительно осей y и z соответственно, а I_{yz} – центробежный момент инерции в системе координат Cyz .

При $\sigma_i = 0$ координаты y и z лежат на НО (y_N, z_N) (см рис. 1), и соответственно получаем:

$$\frac{(I_{yz} \cdot \cos \theta + I_y \cdot \sin \theta) \cdot y - (I_{yz} \cdot \sin \theta + I_z \cdot \cos \theta) \cdot z}{I_{yz}^2 - I_y \cdot I_z} = 0, \quad (4)$$

или

$$z_N = \frac{I_{yz} \cdot \cos \theta + I_y \cdot \sin \theta}{I_{yz} \cdot \sin \theta + I_z \cdot \cos \theta} \cdot y_N. \quad (5)$$

Уравнение (5) дает уравнение упругой НО поперечного сечения корпуса в условиях крена. Угол α_0 новой упругой НО относительно её исходного положения задаётся выражением:

$$\tan \alpha_0 = \frac{z_N}{y_N} = \frac{I_{yz} \cdot \cos \theta + I_y \cdot \sin \theta}{I_{yz} \cdot \sin \theta + I_z \cdot \cos \theta}. \quad (6)$$

Вертикальное положение на оси Oz' новой упругой НО $z'_{CL,0}$ определяется следующим образом:

$$z'_{CL,0} = z'_C - y'_C \cdot \tan \alpha_0. \quad (7)$$

Как упомянуто во введении, НО не только смещается поступательно, но и поворачивается на каждом шаге приращения кривизны χ . Тогда уравнение мгновенной НО в системе координат $Oy'z'$ определяется следующим образом:

$$z' = \tan \alpha(\chi) \cdot y' + z'_{CL}(\chi), \quad (8)$$

где $z'_{CL}(\chi)$ и $\alpha(\chi)$ – соответственно вертикальное положение на оси Oz' и угол поворота относительно оси Oy' НО на каждом шаге приращения кривизны χ .

Расстояние от любого i -го элемента поперечного сечения с координатами ЦТ $C_i(y'_i, z'_i)$ до линии НО определяется следующим образом:

$$d_i(\chi) = |\sin \alpha(\chi) \cdot y'_i + z'_{CL}(\chi) \cdot \cos \alpha(\chi) - z'_i \cdot \cos \alpha(\chi)|. \quad (9)$$

Для определения того, находится ли рассматриваемый i -й элемент выше или ниже линии НО, используется следующее условие:

$$\begin{aligned} z'_i - \tan \alpha(\chi) \cdot y'_i - z'_{CL}(\chi) &> 0, \text{ выше линии НО,} \\ z'_i - \tan \alpha(\chi) \cdot y'_i - z'_{CL}(\chi) &< 0, \text{ ниже линии НО.} \end{aligned} \quad (10)$$

Затем продольная деформация $\varepsilon_i(\chi)$ рассматриваемого i -го элемента определяется следующим образом:

$$\varepsilon_i(\chi) = \pm \chi \cdot d_i(\chi). \quad (11)$$

Знак продольной деформации в уравнении (11) принимается по следующему соглашению: в случае перегиба корпуса структурные элементы выше НО получают отрицательную деформацию, в то время как элементы ниже НО получают положительную деформацию, и наоборот – в случае прогиба корпуса.

Угол поворота $\alpha(\chi)$ мгновенной НО определяется на основе УВРС следующим образом [13]:

$$h = \left| \cos^{-1} \frac{\vec{F} \cdot \vec{M}}{|\vec{F}| \cdot |\vec{M}|} - \frac{\pi}{2} \right| = \delta_2, \quad (12)$$

где $\vec{F} = \overrightarrow{C_c C_t}$ – вектор силы, соединяющий ЦТ зоны сжатия C_c с ЦТ зоны растяжения C_t (см. рис. 1), $\vec{M}$ – вектор общего изгибающего момента корпуса. Коэффициент δ_2 представляет собой заданный допуск нулевого значения.

Координаты ЦТ C_c и C_t в системе координат $Oy'z'$ на каждом шаге приращения кривизны χ могут быть определены следующим образом:

$$\begin{aligned} y'_{C_c}(\chi) &= \sum F_{ic}(\chi) \cdot y'_i / \sum F_{ic}(\chi) \text{ с } \sigma_{x,i}(\chi) > 0, \\ z'_{C_c}(\chi) &= \sum F_{ic}(\chi) \cdot z'_i / \sum F_{ic}(\chi) \text{ с } \sigma_{x,i}(\chi) > 0, \\ y'_{C_t}(\chi) &= \sum F_{it}(\chi) \cdot y'_i / \sum F_{it}(\chi) \text{ с } \sigma_{x,i}(\chi) < 0, \\ z'_{C_t}(\chi) &= \sum F_{it}(\chi) \cdot z'_i / \sum F_{it}(\chi) \text{ с } \sigma_{x,i}(\chi) < 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Для точного определения вертикального положения $z'_{CL}(\chi)$ на оси Oz' и угла поворота $\alpha(\chi)$ относительно оси Oy' НО на каждом шаге приращения кривизны χ , требуется одновременное выполнение как УРС в уравнении (1), так и УВРС в уравнении (12). Таким образом, поиск решения становится задачей оптимизации, связанной со скалярными целевыми функциями в заданном пространстве решений. Существует несколько алгоритмов для решения задач оптимизации [15]. Алгоритм SLSQP благодаря простой реализации, быстрой сходимости и удовлетворительной точности получил широкое распространение в различных областях техники, таких как решение задач проектирования самолетов, а также оптимального управления для самолетов и космических кораблей [16]. В данном исследовании для получения решения выбран алгоритм SLSQP.

После суммарный изгибающий момент M на каждом шаге приращения кривизны χ вычисляется следующим образом:

$$M = \sum_{i=1}^m \sigma_i(\chi) \cdot A_i \cdot \chi. \quad (14)$$

Алгоритм SLSQP. Алгоритм SLSQP для решения задач нелинейной оптимизации. Общая форма задачи формулируется следующим образом:

$$\begin{aligned} \min f(x), x \in R^n, \\ \text{при условиях: } h(x) = 0, \\ g(x) \leq 0, \\ l_i \leq x_i \leq u_i, \end{aligned} \quad (15)$$

где $x \in R^n$ – вектор оптимизируемых переменных; $f: R^n \rightarrow R$ – целевая функция; $h: R^n \rightarrow R^m$ – ограничения равенства; $g: R^n \rightarrow R^p$ – ограничения неравенства; l, u – нижние и верхние границы переменных; n – количество оптимизируемых переменных; m – количество ограничений равенства, p – количество ограничений неравенства. В связи с ограничениями на объём статьи, подробное описание алгоритма SLSQP не приводится. Подробнее см. в [14].

Для определения положения НО используется алгоритм SLSQP, где целевая функция f представляет норму, определенную в уравнении (1), а переменная x представляет вектор вертикального положения и угла поворота НО на каждом шаге приращения кривизны. Ограничение-равенство h представляет норму, определенную в уравнении (12). На рис. 26 представлена блок-схема предложенного модифицированного пошагово-итерационного метода. Предложенный модифицированный пошагово-итерационный метод реализован с помощью специальной программы, разработанной нами на языке Python, и состоит из трех частей:

1. Первая часть выполняет вычисления координат ЦТ, вертикального и горизонтального моментов инерции, центробежного момента инерции в системе координат $Oy'z'$, площади и эквивалентного предела текучести элементов.
2. Вторая часть выполняет вычисления общей площади, координат ЦТ, вертикального и горизонтального моментов инерции, центробежного момента инерции поперечного сечения корпуса судна в системе координат Syz , момента сопротивления сечения, вертикального положения и угла поворота упругой НО.
3. Третья часть выполняет анализ по пошагово-итерационному методу МАКО и модифицированному пошагово-итерационному методу, где положение НО на каждом шаге приращения кривизны для обоих методов определяется с помощью алгоритма SLSQP, реализованного через библиотеку Scipy [17].

Входные данные, включающие технические параметры и свойства материалов элементов и корпуса судна, а также результирующие выходные данные, хранятся в программной среде Excel.

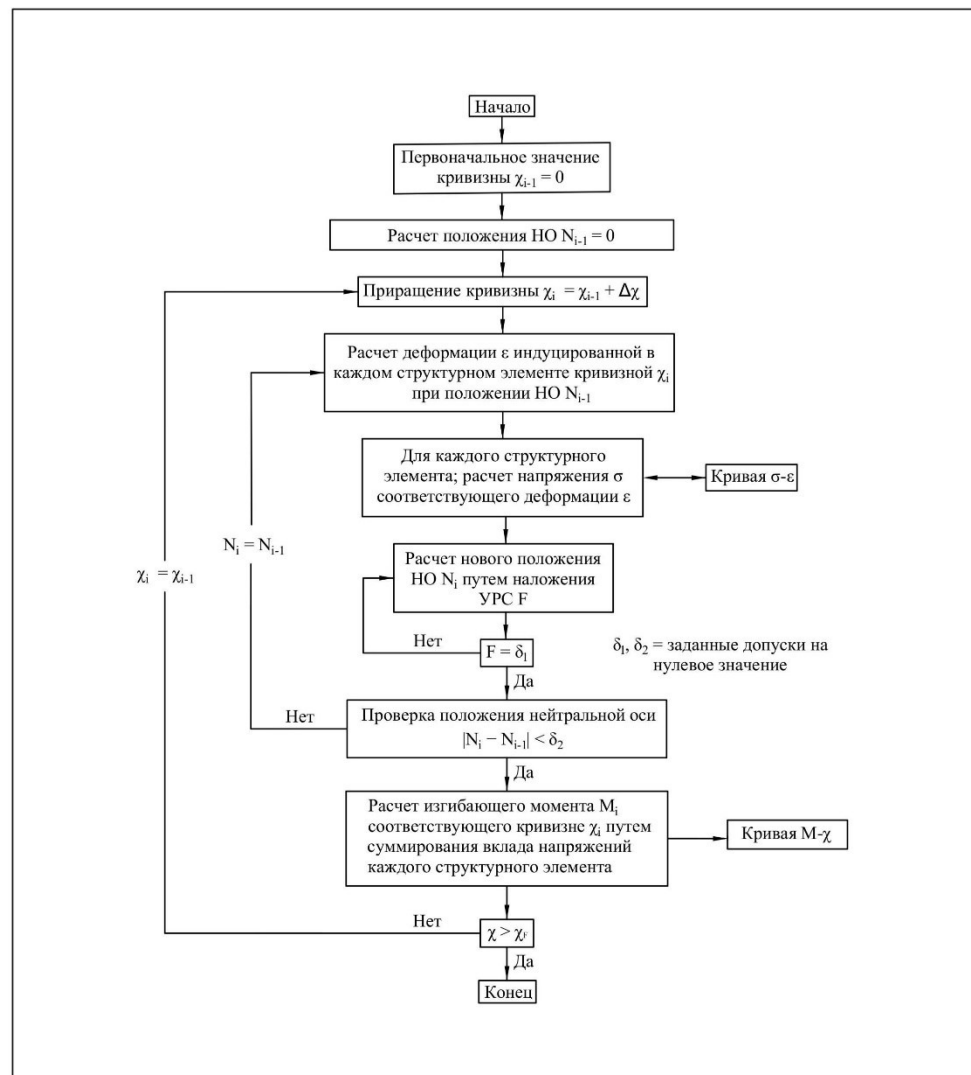


Рис. 2. а) Блок-схема процедуры построения кривой $M - \chi$ [11];

Применение метода

На основе модифицированного пошагово-итерационного метода и блок-схемы на рис. 2б, для исследования поступательного смещения и угла поворота НО несимметричного поперечного сечения, а также их влияния на предельную несущую способность, был выбран контейнеровоз, который являлся одним из судов, использованных в исследовании ISSC [1, 10]. Основные технические характеристики судна: длина между перпендикулярами – 230,0 м; теоретическая ширина – 32,2 м; теоретическая высота борта – 21,5 м; расчетная осадка – 12,5 м; коэффициент общей полноты – 0,68. Технические параметры и свойства материалов продольных ребер жёсткости представлены в табл. 1. Поперечное сечение мидель-шпангоута судна показано на рис. 3а. Моделирование поперечного сечения судна в соответствии с нормами МАКО [11] представлено на рис. 3б. Модуль Юнга составляет 206 ГПа, а коэффициент Пуассона равен 0,3.

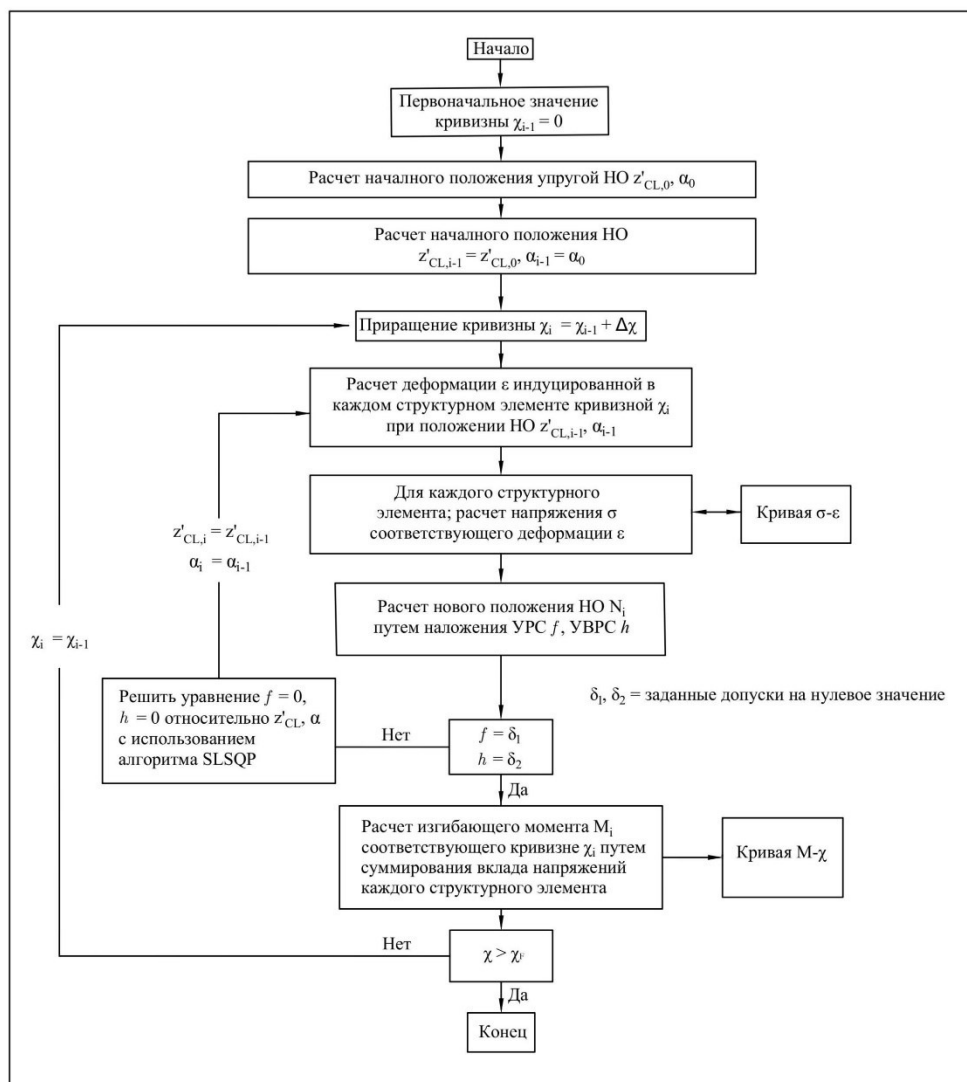


Рис. 2. б) блок-схема предложенного модифицированного пошагово-итерационного метода

Таблица 1

Технические параметры продольных рёбер жёсткости контейнеровоза

№	Размеры (мм)	Тип	R_{eH} (МПа)	№	Размеры (мм)	Тип	R_{eH} (МПа)
1	300x38	полос	352,8	9	230x10	полос	313,6
2	300x28	полос	313,6	10	300x13+90x17	уголок	313,6
3	250x10+90x15	уголок	313,6	11	150x12+90x12	уголок	313,6
4	250x12+90x16	уголок	313,6	12	250x12+90x15	уголок	313,6
5	300x11+90x16	уголок	313,6	13	150x12	полос	313,6
6	300x13+90x17	уголок	313,6	14	150x9+90x9	уголок	313,6
7	350x12+100x17	уголок	313,6	15	150x10	полос	313,6
8	400x11,5+100x16	уголок	313,6	16	300x11+90x16	уголок	313,6

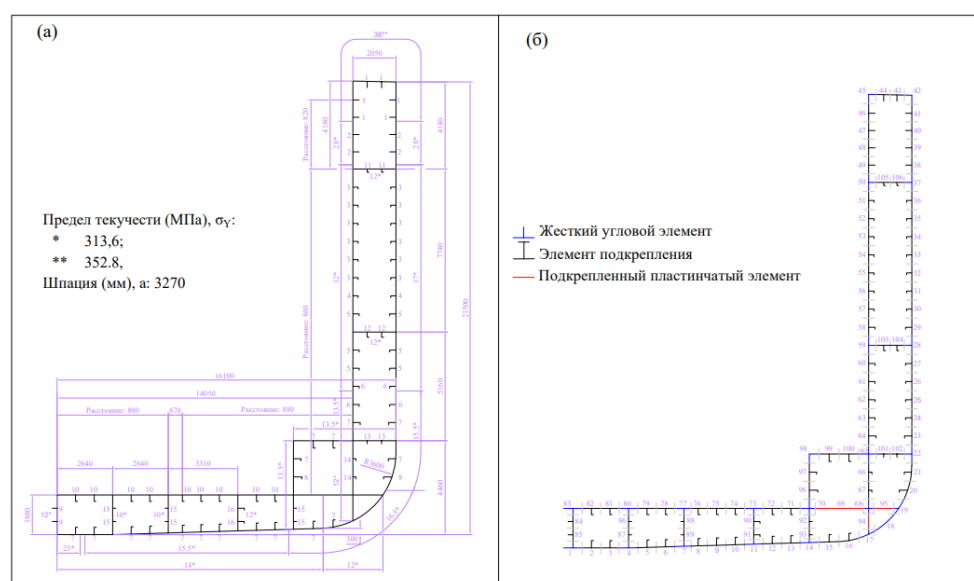


Рис. 3. а) Поперечное сечение мидель-шпангоута; б) моделирование полупоперечного сечения мидель-шпангоута

Анализ предельной прочности в неповрежденном состоянии. На рис. 4 представлена анализируемая схема поперечного сечения с соответствующими характеристиками поперечного сечения при прямом плавании, рис. 6 – при поперечном крене неповрежденного судна на 75° . На рис. 5а и 5б показаны, соответственно, детали полученной зависимости $M - \chi$ и вертикальное смещение НО $\Delta z = z'_{CL}(\chi) - z'_{CL,0}$ и угловое смещение $\Delta \alpha = \alpha(\chi) - \alpha_0$ относительно значений упругой НО для случаев перегиба и прогиба корпуса при прямом плавании, рис. 7а и 7б – при поперечном крене неповрежденного судна на 75° . В табл. 2 представлены результаты расчётов, выполненных в данном исследовании, а также справочные данные из отчётов ISSC [1, 10].

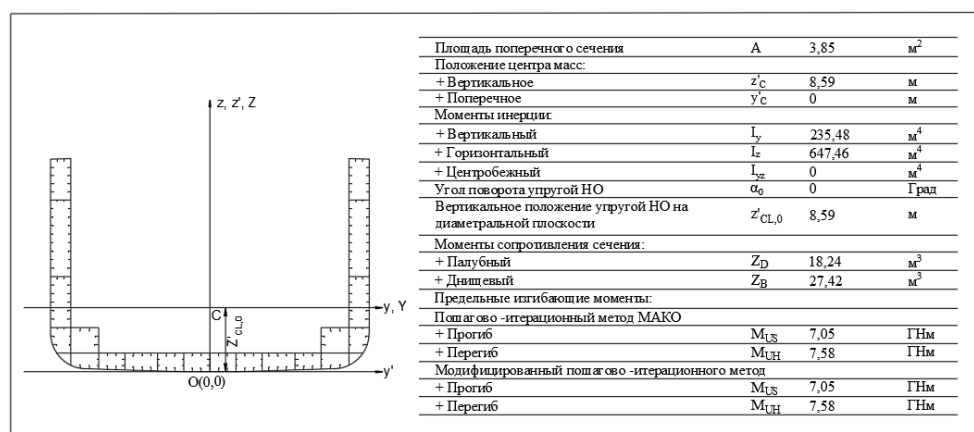


Рис. 4. Анализируемая схема сечения с соответствующими полными характеристиками поперечного сечения при прямом плавании

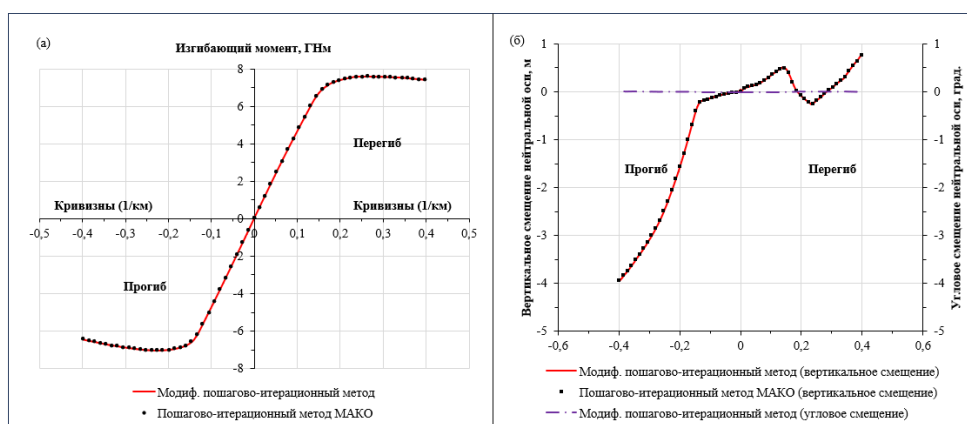


Рис. 5. Кривая зависимости $M - \chi$ (а) и смещение НО для случаев прогиба и перегиба при прямом плавании – неповрежденное состояние (б)

Таблица 2

Сводные данные по предельной продольной прочности контейнеровоза

Источник	Автор	Метод	Предельный момент, (ГНм)	
			Прогиб	Перегиб
Отчёт ISSC 2000	Chen	ISUM	5,47	6,56
	Cho	Пошагово-итерационный метод	5,13	6,69
	Masaoka	ISUM	7,75	8,07
	Rigo (1)	Пошагово-итерационный метод	6,51	7,60
	Rigo (2)	Метод Р-М (1995)	6,91	7,20
	Yao	Пошагово-итерационный метод	6,72	6,72
Отчёт ISSC 2012	Paik	МКЭ	6,95	6,97
		ISUM	6,64	6,92
		Модиф. метод П-М	7,08	6,40
		Пошагово-итерационный метод	6,85	7,76
	Wang	МКЭ	7,63	7,66
		Пошагово-итерационный метод	7,59	7,88
	Университет Генуи	Правила RINA	5,90	6,86
Настоящее исследование		Модиф. пошагово-итерационный метод	7,05	7,58
		Пошагово-итерационный метод	7,05	7,58

Можно видеть, что, когда неповрежденное судно находится в прямом положении, его геометрия и нагрузки симметричны. При увеличении кривизны НО совершает только поступательное движение без вращения. Следовательно, результаты, полученные по пошагово-итерационному методу МАКО и предложенному модифицированному пошагово-итерационному методу в данном исследовании, идентичны. Сравнение результатов исследования с данными, представленными в отчётах ISSC [1, 10], показывает, что точность результатов является удовлетворительной. Результаты, представленные Paik и Wang, также были получены с использованием пошагово-итерационного метода МАКО. Результаты данного исследования показали расхождение в 2,86% с результатами Paik и 7,14% с результатами Wang в условиях прогиба корпуса; а также расхождение в 2,25% с результатами Paik и 3,75% с результатами Wang в условиях перегиба корпуса. По нашему мнению, указанные расхождения могут быть обусловлены различиями в

методиках моделирования, включая использование жёстких угловых элементов, определение кривых «среднее напряжение – средняя деформация» для каждого элемента и коэффициента сходимости δ_1 в уравнении (1) в различных рабочих процедурах, применяемых разными исследователями. Более того, результаты, полученные различными численными методами, также различаются, поэтому важно осознавать, что в прогнозировании предельной прочности корпуса судна сохраняется значительная неопределённость. Для верификации численных методов и повышения достоверности прогнозов в будущем необходимы физические эксперименты на натурных образцах или, как минимум, крупномасштабных моделях корпусов судов.

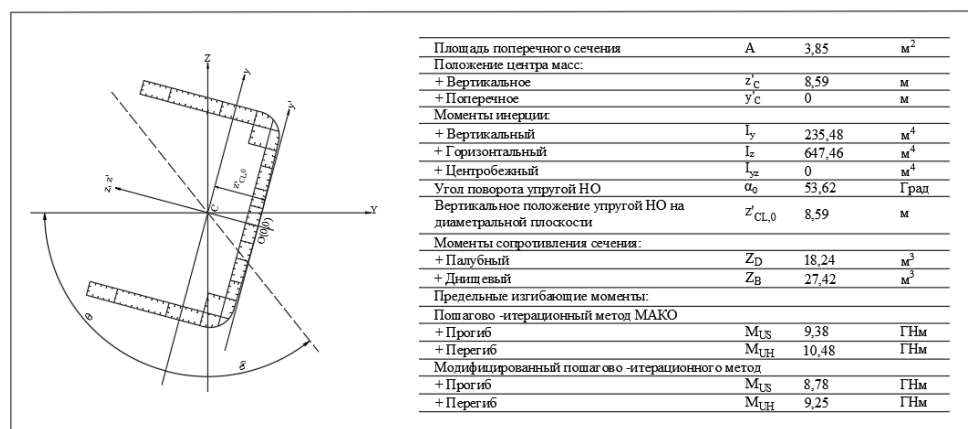


Рис. 6. Анализируемая схема сечения с соответствующими полными характеристиками поперечного сечения при поперечном крене 75° – неповрежденное состояние

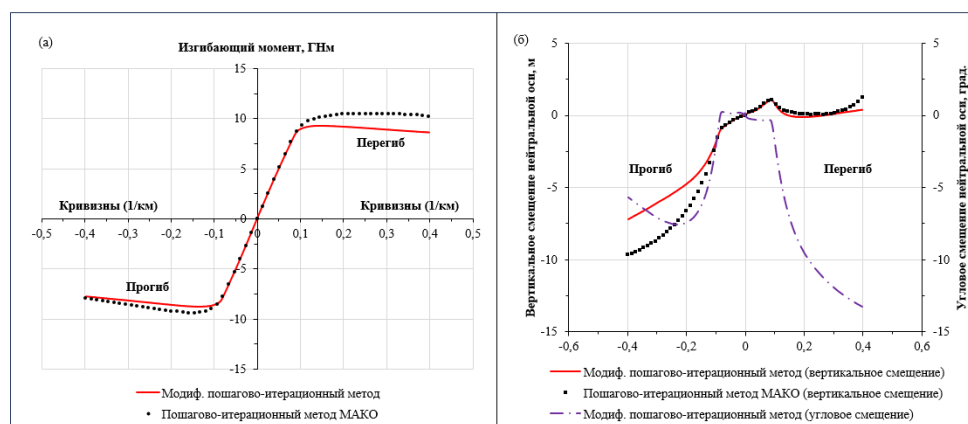


Рис. 7. Кривая зависимости $M - \chi$ (а) и смещение и поворот НО для случаев прогиба и перегиба при поперечном крене 75° – неповрежденное состояние (б)

В случае крена неповрежденного судна на 75° влияние поворота НО на зависимость $M - \chi$ становится значительным в нелинейной области, и значительная разница наблюдается в поведении конструкции после потери устойчивости. Предельные изгибающие моменты для случаев прогиба и перегиба корпуса, полученные по пошагово-итерационному методу МАКО, оказались выше значений, рассчитанных по модифицированному пошагово-итерационному методу, с расхождением на 7,05% и 13,23% соответственно. Это приводит к завышенной оценке

несущей способности корпуса. Влияние различных углов поворота НО на предельную прочность неповрежденного судна представлено в табл. 3.

Результаты в табл. 3 показывают, что для выбранного в исследовании судна поворот НО приводит к различному влиянию на предельный изгибающий момент. Следовательно, влияние угла поворота НО на предельный изгибающий момент асимметричного корпуса нельзя игнорировать, а УРС и УВРС позволяют эффективно отслеживать движение НО.

Таблица 3

Предельные изгибающие моменты, рассчитанные по модифицированному пошагово-итерационному методу и пошагово-итерационному методу МАКО

	Угол крена	Модифицированный пошагово-итерационный метод	Пошагово-итерационный метод МАКО	Разница, %
Изгибающий момент при прогибе, ГН·м	15 °	7,13	7,09	-0,54
	30 °	7,35	7,22	-1,76
	45 °	7,53	7,42	-1,44
	60 °	7,71	7,64	-0,85
	75 °	8,77	9,38	7,05
Изгибающий момент при перегибе, ГН·м	15 °	7,59	7,59	0,04
	30 °	7,59	7,59	-0,04
	45 °	7,64	7,59	-0,55
	60 °	7,95	7,98	0,37
	75 °	9,25	10,48	13,23

Анализ остаточной прочности в поврежденном состоянии. Для оценки сценариев повреждений точная информация о масштабах аварийных повреждений и влиянии структурных разрывов может быть получена с помощью нелинейного анализа МКЭ. Однако в данном исследовании, в соответствии с требованиями МАКО [11], продольная протяжённость повреждения рассматривается в пределах между двумя смежными поперечными шпангоутами: при столкновении учитываются только повреждения борта, которые затрагивают исключительно бортовую обшивку и её элементы подкрепления; при посадке на мель учитываются только повреждения днища, которые затрагивают исключительно днищевую обшивку и её элементы подкрепления. Следует отметить, что данное предположение может быть достаточно консервативным. Масштабы и расположение повреждений судна представлены на рис. 8.

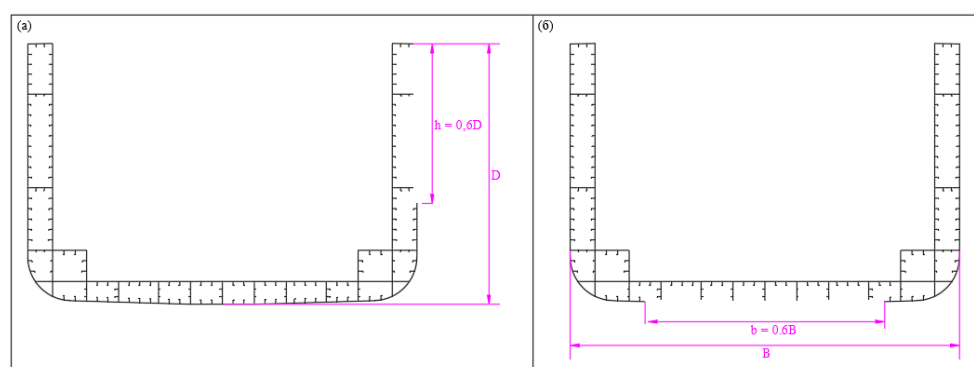


Рис. 8. Сценарии повреждений при столкновении (а) и при посадке на мель (б)

На рис. 9 и 11 представлена анализируемая схема поперечного сечения с соответствующими характеристиками поперечного сечения при прямом плавании – повреждение борта и днища, рис. 13 – при поперечном крене 75° – повреждение борта. На рис. 10а и 12а показаны полученной зависимости $M - \chi$, а на рис. 10б и 12б показаны, соответственно, изменение вертикального положения НО $\Delta z = z'_{CL}(\chi) - z'_{CL,0}$ и изменение угла поворота $\Delta \alpha = \alpha(\chi) - \alpha_0$ относительно значений упругой НО для случаев перегиба и прогиба корпуса при соответствующих сценариях повреждений в условиях прямого плавания; рис. 14а и 14б – при поперечном крене 75° – повреждение борта.

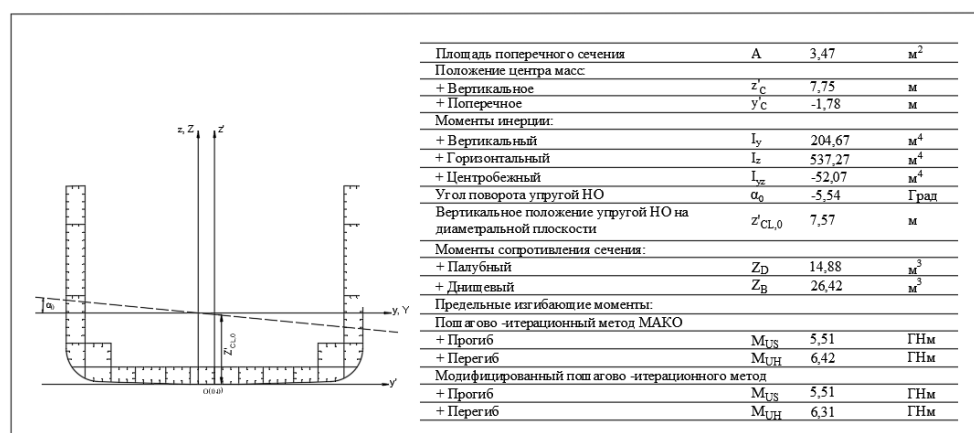


Рис. 9. Анализируемая схема сечения с соответствующими полными характеристиками поперечного сечения при прямом плавании – повреждение борта (столкновение)

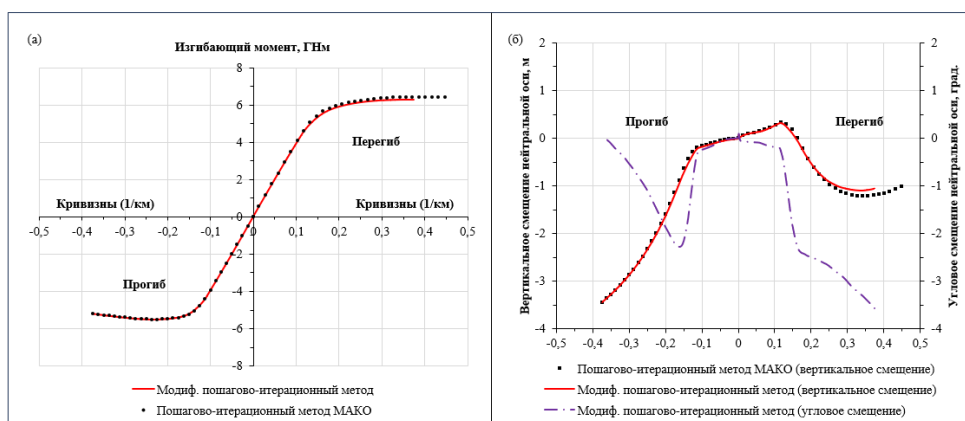


Рис. 10. Кривая зависимости $M - \chi$ (а) и смещение НО для случаев прогиба и перегиба при прямом плавании – повреждение борта (столкновение) (б)

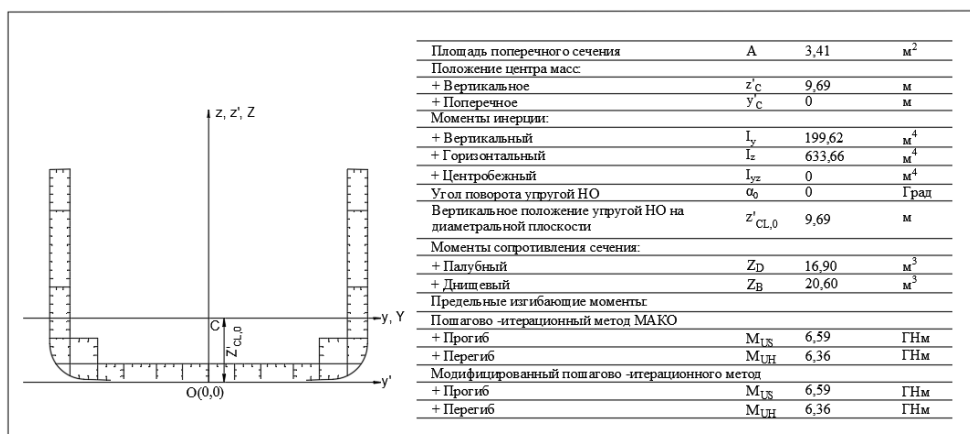


Рис. 11. Анализируемая схема сечения с соответствующими полными характеристиками поперечного сечения при прямом плавании – повреждение днища (посадка на мель)

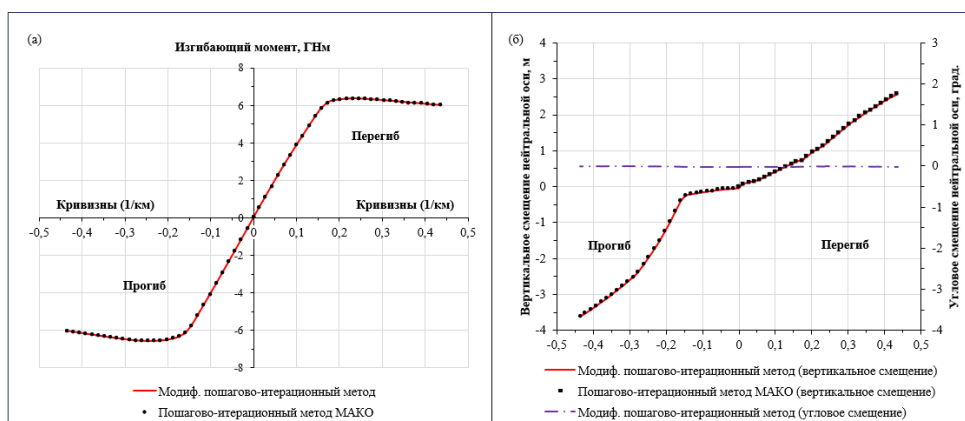


Рис. 12. Кривая зависимости $M - \chi$ (а) и смещение НО для случаев прогиба и перегиба при прямом плавании – повреждение днища (посадка на мель) (б)

Результаты показывают, что для различных сценариев повреждения (рис. 8) в условиях прямого плавания влияние поворота НО на предельного изгибающего момента является незначительным для данной конкретной конструкции корпуса. Кроме того, для случая повреждения днища (посадка на мель) в условиях прямого плавания на рис. 12а и 12б пошагово-итерационный метод МАКО и модифицированный пошагово-итерационный метод дают идентичные результаты, что подтверждает обоснованность их применения для расчета остаточной предельной прочности поврежденного симметричного корпуса судна.

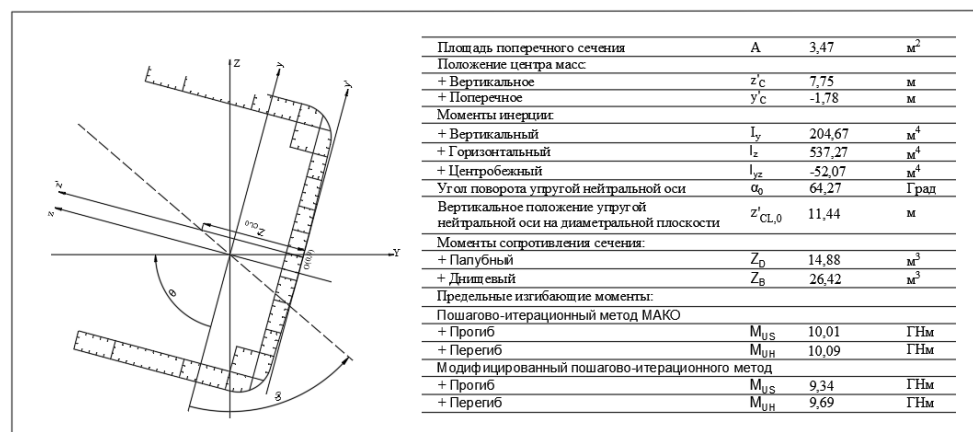


Рис. 13. Анализируемая схема сечения с соответствующими полными характеристиками поперечного сечения при поперечном крене 75° – повреждение борта (столкновение)

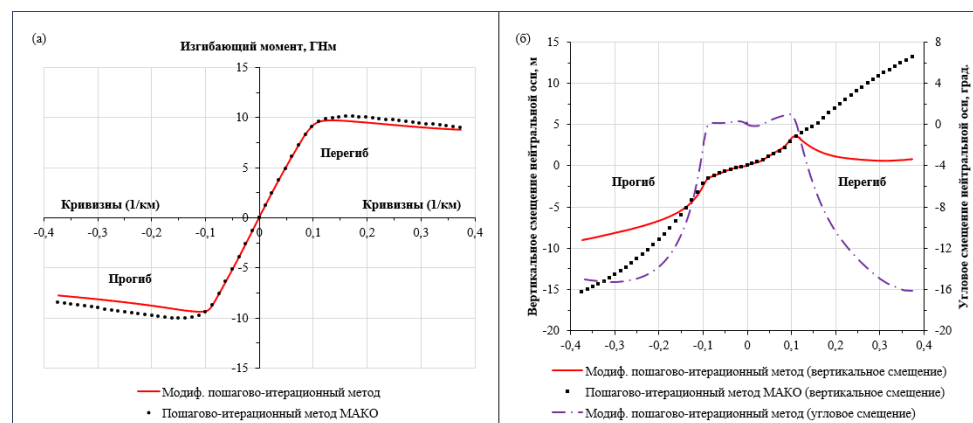


Рис. 14. Кривая зависимости $M - \chi$ (а) и смещение НО для случаев прогиба и перегиба при поперечном крене 75° – повреждение борта (столкновение) (б)

При крене судна на 75° в поврежденном в результате столкновения борту влияние поворота НО на зависимость $M - \chi$ становится значительным в нелинейной области, и значительная разница наблюдается в поведении конструкции после потери устойчивости. Предельные изгибающие моменты для случаев прогиба и перегиба корпуса, полученные по пошагово-итерационному методу МАКО, оказались выше значений, рассчитанных по модифицированному пошагово-итерационному методу, с расхождением на 7,18% и 4,12% соответственно.

Влияние различных углов поворота НО на предельную прочность поврежденного судна (повреждение борта из-за столкновения) представлено в табл. 4. Результаты, представленные в табл. 4, показывают, что влияние угла поворота НО варьируется в

зависимости от угла крена судна. В целом, с увеличением крена степень влияния поворота НО также возрастает. При определенных углах крена пренебрежение данным эффектом может приводить как к завышенному прогнозу предельного изгибающего момента (как в случаях 15° , 60° , 75°), так и к заниженному (как в случаях 30° , 45°), причем это справедливо как для случаев перегиба, так и для случаев прогиба.

Таблица 4

Предельные изгибающие моменты, рассчитанные по модифицированному пошагово-итерационному методу и пошагово-итерационному методу МАКО

	Угол крена	Модифицированный пошагово-итерационный метод	Пошагово-итерационный метод МАКО	Разница, %
Изгибающий момент при прогибе, ГН·м	15°	5,60	5,62	0,40
	30°	5,98	5,94	-0,64
	45°	6,75	6,61	-2,01
	60°	7,45	7,55	1,38
	75°	9,34	10,01	7,18
Изгибающий момент при перегибе, ГН·м	15°	6,59	6,63	0,65
	30°	6,99	6,89	-1,41
	45°	7,36	7,22	-1,92
	60°	7,78	7,82	0,42
	75°	9,69	10,09	4,12

Заключение

Был предложен модифицированный пошагово-итерационный метод, который учитывает влияние как вращательного, так и поступательного движения НО и предназначен для расчета предельной/остаточной прочности корпусной балки судна в неповрежденном и поврежденном состояниях. Применяв предложенный метод для анализа контейнеровоза, на основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Алгоритм SLSQP оказался пригодным для решения задачи одновременной оптимизации двух условий УРС и УВР с целью определения положения НО на каждом шаге приращения кривизны, обеспечивая быстрое схождение решения с требуемой точностью.
2. Для неповрежденного корпуса и корпуса, поврежденного в результате столкновения или посадки на мель в условиях прямого плавания, угол поворота НО оказывает незначительное влияние на прогноз предельной/остаточной прочности исследуемой судовой конструкции, когда повреждение борта ограничивается бортовой обшивкой и подкрепляющими шпангоутами, а повреждение днища — днищевой обшивкой и подкрепляющими шпангоутами.
3. Влияние угла поворота НО на предельную прочность неповрежденного корпуса при поперечном крене более существенно в условиях перегиба, чем в условиях прогиба. Расхождение в оценках предельного изгибающего момента может достигать 13,23% в условиях перегиба при угле поперечного крена 75° .

4. Угол поворота НО по-разному влияет при различных углах крена для поврежденного в результате столкновения корпуса, подверженного поперечному крену. В целом, степень его влияния возрастает с увеличением угла крена судна. Пренебрежение влиянием угла поворота НО может привести к завышению прогноза предельного изгибающего момента до 7,18% в условиях прогиба и до 4,12% в условиях перегиба.

Список литературы

1. Yao T., Astrup C., Carudis P., Chen N., Cho S.-R., Dow R., et al. Ultimate hull girder strength // Proc 14th international ship and offshore structures congress (ISSC). Nagasaki, Japan, 2000. – Vol. 2. – P. 321–391. URL: http://www.mar.ist.utl.pt/jgordo/Artigos%20Oficiais/3.3.11%20-%20ISSC2000_III.1_Ultimate%20Strenght.pdf. (На англ. яз.).
2. Caldwell J.B. Ultimate longitudinal strength // Transactions of the Royal Institution of Naval Architects. – 1965. – Vol. 107. – P. 411–430. (На англ. яз.).
3. Paik J.K., Mansour A. A Simple Formulation for Predicting the Ultimate Strength of Ships // Journal of Marine Science and Technology. – 1995. – Vol. 1. – Is. 1. – P. 52–62. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01240013>. (На англ. яз.).
4. Paik J.K., Kim D.K., Park D.H., Kim H.B., Mansour A.E., Caldwell J.B. Modified Paik–Mansour formula for ultimate strength calculations of ship hulls // Ships and Offshore Structures. – 2013. – Vol. 8. – Is. 3-4. – P. 245–260. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445302.2012.676247>. (На англ. яз.).
5. Li C., et al. Application of the incorporated meshing technique to non-linear FE analysis of hull girder ultimate strength // International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers, 2016. – Is. OMAE2016-55094, V003T02A098. DOI: <https://doi.org/10.1115/OMAE2016-55094>. (На англ. яз.).
6. Ueda Y., Rashed S.M.H. The Idealized Structural Unit Method and Its Application to Deep Girder Structures // Computers & Structures. – 1984. – Vol. 18. – Is. 2. – P. 227–293. DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(84\)90126-3](https://doi.org/10.1016/0045-7949(84)90126-3). (На англ. яз.).
7. Paik J.K., Seo J.K., Kim D.M. Idealized structural unit method and its application to progressive hull girder collapse analysis of ships // Ships and Offshore Structures. – 2006. – Vol. 1. – Is. 3. – P. 235–247. <https://doi.org/10.1533/saos.2006.0129>. (На англ. яз.).
8. Smith C.S. Influence of Local Compression Failure on Ultimate Longitudinal Strength of Ship Hull // International Symposium on Practical Design in Shipbuilding (PRADS). Tokyo, Japan, Oct. 18–20, 1977. – P. 73–79. (На англ. яз.).
9. Коршунов В.А., Манухин В.А., Родионов А.А. Применение и сравнение различных методов вычисления предельных изгибающих моментов корпуса судна // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – Ч. 2. – № 4. – С. 27–35. URL: https://morintex.ru/wp-content/files_mf/1671219577МИТ4ЧАСТЬ20221612исп.pdf.
10. Paik, J. M., Amlashi, H., Boon, B., Branner, K., Caridis, P., Das, P., Fujikubo, M., Huang, C. H., Josefson, L., Kaeding, P., Kin, C. W., Parmentier, G., Pasqualino, I. P., Rizzo, C. M., Vhanmane, S., Wang, X. Z., and Yang, P. Committee III.1: Ultimate Strength // 18th International Ship and Offshore Structures Congress. Rostock, Germany, Sept. 9–13, 2012. – 50 p. URL: <https://issc2025.com/uploads/issc2012-voll-com-III.1.pdf>. (На англ. яз.).
11. International Association of Classification Societies (IACS). Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers [ed. of 01 Jan. 2024 with corrigenda of 01 July 2025]. – London, UK: IACS, 2024. (На англ. яз.).
12. Fujikubo M., Alie M.Z.M., Takemura K., Iijima K., Oka S. Residual hull girder strength of asymmetrically damaged ships-influence of rotation of neutral axis due to damages // Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers. – 2012. – Vol. 16. – P. 131–140. DOI: <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.16.131>. (На англ. яз.).
13. Choung J., Nam J.-M., Ha T.-B. Assessment of residual ultimate strength of an asymmetrically damaged tanker considering rotational and translational shifts of neutral axis plane // Marine Structures. – 2012. – Vol. 25. – Is. 1. – P. 71–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2011.12.004>. (На англ. яз.).
14. Kraft D. A Software Package for Sequential Quadratic Programming // Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), research report

- DFVLR-FB 88-28, Jul 1988. – 33 p. URL:
https://degenerateconic.com/uploads/2018/03/DFVLR_FB_88_28.pdf. (На англ. яз.).
15. Joshy A. J. A modular development environment and library for optimization algorithms // arXiv preprint arXiv:2410.12942. – 2024. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.12942>. (На англ. яз.).
 16. Srinath R., et al. Aerofoil optimization using SLSQP and validation using numerical and analytical methods // Vietnam Journal of Science and Technology. – 2024. – Vol. 62. – Is. 6. – P. 1210–1226. DOI: <https://doi.org/10.15625/2525-2518/19371>. (На англ. яз.).
 17. Pauli Virtanen, Ralf Gommers, Travis E Oliphant, Matt Haberland, Tyler Reddy, David Cournapeau, Evgeni Burovski, Pearu Peterson, Warren Weckesser, Jonathan Bright, et al. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python // Nature methods. – 2020. – Vol. 17. – Is. 3. – P. 261–272. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>. (На англ. яз.).

References

1. Yao T., Astrup C., Carudis P., Chen N., Cho S.-R., Dow R., et al. Ultimate hull girder strength // Proc 14th international ship and offshore structures congress (ISSC). Nagasaki, Japan, 2000. Vol. 2. P. 321–391. URL: http://www.mar.ist.utl.pt/jgordo/Artigos%20Oficiais/3.3.11%20-%20ISSC2000_III.1_Ultimate%20Strenght.pdf.
2. Caldwell J.B. Ultimate longitudinal strength // Transactions of the Royal Institution of Naval Architects. 1965. Vol. 107. P. 411–430.
3. Paik J.K., Mansour A. A Simple Formulation for Predicting the Ultimate Strength of Ships // Journal of Marine Science and Technology. 1995. Vol. 1. Is. 1. P. 52–62. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01240013>.
4. Paik J.K., Kim D.K., Park D.H., Kim H.B., Mansour A.E., Caldwell J.B. Modified Paik–Mansour formula for ultimate strength calculations of ship hulls // Ships and Offshore Structures. 2013. Vol. 8. Is. 3-4. P. 245–260. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445302.2012.676247>.
5. Li C., et al. Application of the incorporated meshing technique to non-linear FE analysis of hull girder ultimate strength // International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers, 2016. Is. OMAE2016-55094, V003T02A098. DOI: <https://doi.org/10.1115/OMAE2016-55094>.
6. Ueda Y., Rashed S.M.H. The Idealized Structural Unit Method and Its Application to Deep Girder Structures // Computers & Structures. 1984. Vol. 18. Is. 2. P. 227–293. DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(84\)90126-3](https://doi.org/10.1016/0045-7949(84)90126-3).
7. Paik J.K., Seo J.K., Kim D.M. Idealized structural unit method and its application to progressive hull girder collapse analysis of ships // Ships and Offshore Structures. 2006. Vol. 1. Is. 3. P. 235–247. <https://doi.org/10.1533/saos.2006.0129>.
8. Smith C.S. Influence of Local Compression Failure on Ultimate Longitudinal Strength of Ship Hull // International Symposium on Practical Design in Shipbuilding (PRADS). Tokyo, Japan, Oct. 18–20, 1977. P. 73–79.
9. Korshunov V.A., Manukhin V.A., Rodionov A.A. Primenenie i sravnenie razlichnykh metodov vychisleniya predel'nykh izgibayushchikh momentov korpusa sudna [Application and comparison of various methods of calculation of ultimate bending moments of ship hull]. Morskie intellektual'nye tekhnologii. № 4, part 2, SPb, izd. «NIC MORINTEKH», 2022, c. 27–35. (In Russ.). URL: https://morintex.ru/wp-content/files_mf/1671219577МИТ4ЧАСТЬ220221612испр.pdf.
10. Paik, J. M., Amlashi, H., Boon, B., Branner, K., Caridis, P., Das, P., Fujikubo, M., Huang, C. H., Josefson, L., Kaeding, P., Kin, C. W., Parmentier, G., Pasqualino, I. P., Rizzo, C. M., Vhanmane, S., Wang, X. Z., and Yang, P. Committee III.1: Ultimate Strength // 18th International Ship and Offshore Structures Congress. Rostock, Germany, Sept. 9–13, 2012. 50 p. URL: <https://issc2025.com/uploads/issc2012-vol1-com-III.1.pdf>.
11. International Association of Classification Societies (IACS). Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers [ed. of 01 Jan. 2024 with corrigenda of 01 July 2025]. London, UK: IACS, 2024.
12. Fujikubo M., Alie M.Z.M., Takemura K., Iijima K., Oka S. Residual hull girder strength of asymmetrically damaged ships-influence of rotation of neutral axis due to damages //

- Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers. 2012. Vol. 16. P. 131–140. DOI: <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.16.131>.
13. Choung J., Nam J.-M., Ha T.-B. Assessment of residual ultimate strength of an asymmetrically damaged tanker considering rotational and translational shifts of neutral axis plane // Marine Structures. 2012. Vol. 25. Is. 1. P. 71–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2011.12.004>.
14. Kraft D. A Software Package for Sequential Quadratic Programming // Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), research report DFVLR-FB 88-28, Jul 1988. 33 p. URL: https://degenerateconic.com/uploads/2018/03/DFVLR_FB_88_28.pdf.
15. Joshy A. J. A modular development environment and library for optimization algorithms // arXiv preprint arXiv:2410.12942. – 2024. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.12942>. (На англ. яз.).
16. Srinath R., et al. Aerofoil optimization using SLSQP and validation using numerical and analytical methods // Vietnam Journal of Science and Technology. 2024. Vol. 62. Is. 6. P. 1210–1226. DOI: <https://doi.org/10.15625/2525-2518/19371>.
17. Pauli Virtanen, Ralf Gommers, Travis E Oliphant, Matt Haberland, Tyler Reddy, David Cournapeau, Evgeni Burovski, Pearu Peterson, Warren Weckesser, Jonathan Bright, et al. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python // Nature methods. 2020. Vol. 17. Is. 3. P. 261–272. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Огай Сергей Алексеевич – доктор технических наук, доцент, профессора кафедры теории и устройства судна, Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 50а, Российская Федерация, e-mail: Ogay@msun.ru

Ле Чонг Тхинь – аспирант кафедры теории и устройства судна, Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 50а, Российская Федерация, e-mail: letrongthinhdvt@gmail.com

Sergei A. Ogay, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Ship Theory and Design, Admiral G.I. Nevelskoy Maritime State University, 50a Verkhneportovaya Street, Vladivostok City, Russian Federation, 690059, email: Ogay@msun.ru

Le Trong Thinh, Postgraduate Student of the Department of Ship Theory and Design, Admiral G.I. Nevelskoy Maritime State University, 50a Verkhneportovaya Street, Vladivostok City, Russian Federation, 690059, email: letrongthinhdvt@gmail.com

Статья поступила в редакцию 19.02.2026; принята к публикации 20.04.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 19.02.2026; published online 20.06.2026.

СУДОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

SHIP POWER EQUIPMENT

УДК 629.5.069

DOI: 10.37890/jwt.vi87.714

Разработка алгоритма самодиагностики в информационно-измерительном канале уровня

А.А. Житников

А.А. Марченко

Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, Россия

Аннотация. В статье представлена разработка алгоритма самодиагностики информационно-измерительного канала уровня, применяемого в составе судовой котельной установки. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения надёжности и безопасности функционирования судовых энергетических систем за счёт своевременного выявления аномалий в измерительных каналах, подверженных воздействию вибрации, температурных перепадов, влаги и электромагнитных помех. Предложенный алгоритм основан на анализе темпа изменения сигнала уровня и сравнении его с физически обоснованным пороговым значением, определяемым динамическими характеристиками котельного агрегата в штатных режимах эксплуатации. Реализация выполнена в среде MasterSCADA 4D на языке программирования Function Block Diagram в соответствии со стандартом МЭК 61131-3. Экспериментальная проверка подтвердила способность алгоритма надёжно идентифицировать резкие, физически невозможные отклонения сигнала, характерные для таких отказов, как обрыв линии связи, электромагнитные наводки, нарушение контактов или окисление соединений. При этом ложные срабатывания в нормальных условиях не наблюдались. Также отмечены ограничения алгоритма, его неспособность к диагностике медленных деградационных процессов, таких как дрейф показаний или плавающие колебания сигнала. Показан потенциал интеграции разработанного решения в логику аварийной защиты и систем управления с целью повышения отказоустойчивости и сокращения времени на восстановление работоспособности оборудования. Предложенный подход может быть использован как базовый элемент интеллектуальной диагностики в современных судовых системах автоматизации.

Ключевые слова: система управления, датчик уровня, алгоритм, контроллер, линия связи, ложное срабатывание, автоматизация.

Development of a self-diagnostic algorithm in the information-measuring channel of the level

Aleksandr A. Zhitnikov

Aleksey A. Marchenko

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Abstract. This paper presents a comprehensive study of modern internal combustion engine control systems aimed at ensuring stable and safe operation of marine power plants. Particular attention is paid to the analysis of the protective functions implemented by these systems, as well as their ability to prevent equipment operation under abnormal or emergency conditions. The design and software features of the control systems are considered, including the architecture of controllers, the organization of interaction of communication modules and the functionality of hardware and software systems. The study

also considers aspects of reliability and fault tolerance of control systems, assesses possible risks associated with hardware and software vulnerabilities, and determines their impact on the overall efficiency and safety of marine power plants. The results obtained allow us to form an idea of the current level of development of these technologies and outline directions for further improvement of automatic control systems for internal combustion engines in the context of increasing their diagnostic information content, protective properties and operational reliability.

Keywords: internal combustion engine, control system, sensor, algorithm, controller, communication line, false alarm, automation.

Введение

В составе судовых энергетических установок особое место занимают информационно-измерительные системы, обеспечивающие сбор, преобразование и передачу данных о текущих параметрах технологических процессов. Среди них измерительные каналы уровня играют ключевую роль, поскольку информация о количестве рабочей среды в резервуарах, цистернах или котлах напрямую влияет на безопасность и эффективность эксплуатации энергетического оборудования. Надёжность функционирования таких каналов является одним из определяющих факторов корректной работы всей системы автоматического управления. [1-3].

Однако в условиях эксплуатации судовых систем информационно-измерительные каналы подвержены воздействию определенных негативных факторов: вибрация, перепады температур, агрессивная среда и электромагнитные помехи. Такие условия повышают вероятность возникновения отказов как в первичных преобразователях, так и в цепях передачи сигнала. В случае несвоевременного обнаружения неисправности возможны не только ложные срабатывания защитных устройств, но и пропуск аварийных ситуаций. Это может быть гораздо опаснее. Кроме того, недостоверные показания уровня могут привести к ошибочным действиям экипажа, увеличению времени на диагностику или некорректной настройке управляющих воздействий, что в совокупности снижает общую надёжность и безопасность судовой энергетической установки [4,5].

В настоящее время судостроительные предприятия применяют различные стратегии для повышения надёжности и достоверности данных, поступающих от информационно-измерительных каналов [6]. Наиболее традиционным решением является резервирование измерительных средств в критически важных узлах. Такой подход обеспечивает высокую отказоустойчивость, однако требует значительных затрат как на этапе постройки судна, так и в процессе эксплуатации.

Широкое распространение получили интеллектуальные датчики, оснащённые встроенными функциями самодиагностики и передающие данные в цифровом виде [7,8]. Несмотря на их эффективность, диагностика в таких устройствах охватывает преимущественно внутренние компоненты самого датчика и не позволяет оценить состояние всего измерительного канала.

Перспективным, но пока недостаточно зрелым направлением считается применение методов машинного обучения [9,10]. Их потенциал ограничивается необходимостью обширных обучающих выборок, требованием к значительным вычислительным ресурсам и отсутствием прозрачности в механизме принятия решений, что затрудняет их внедрение в системы, где критичны предсказуемость и верифицируемость работы [11,12].

В этой связи актуальной задачей становится разработка алгоритмов диагностики и идентификации неисправностей в информационно-измерительных каналах уровня, способных в реальном времени выявлять аномалии.

Представленная работа направлена на создание такого алгоритма, основанного на анализе динамических характеристик сигнала и его отклонений от ожидаемого поведения в штатных режимах работы судовых энергетических установках.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран информационно-измерительный канал датчика уровня в судовом паровом котле. Выбор данного участка обоснован тем, что к нему предъявляются серьезные требования. Показания информационно-измерительного канала уровня используются в алгоритмах системы управления для подачи команд на исполнительные механизмы. Недостоверность получаемых данных может в значительной степени снизить эффективность работы агрегата или даже стать причиной аварии.

Для разработки и реализации алгоритма идентификации неисправностей использовалась среда разработки MasterSCADA 4D. Выбор указанной системы обусловлен несколькими ключевыми факторами. Во-первых, MasterSCADA 4D является отечественной SCADA-системой, что соответствует современным требованиям к импортонезависимости и информационной безопасности. Во-вторых, платформа предоставляет встроенную среду разработки, совместимую с промышленными языками программирования, стандартизированными в МЭК 61131-3. Это обеспечивает высокую степень гибкости при реализации логики диагностики и её последующей интеграции с контроллерами автоматики.

В рамках работы модель информационно-измерительного канала уровня состояла из: первичного датчика с аналоговым выходным сигналом 4–20 мА, линии связи, аналогового входа программируемого логического контроллера. Алгоритм диагностики был реализован в виде программы, интегрированной в проект MasterSCADA 4D на языке программирования Function Block Diagram. Разработанная программа осуществляет непрерывный мониторинг значения получаемого сигнала, с целью выявления аномальных режимов работы.

Результаты

В основе алгоритма идентификации неисправностей лежит анализ динамика темпа изменения параметра уровня воды в барабане котла. В штатном режиме работы уровень изменяется плавно и предсказуемо, что обусловлено инерционностью процессов в котле. Следовательно, существует физически обоснованное ограничение на величину наибольшего допустимого изменения уровня в единицу времени.

Данная величина может быть определена на основе анализа эксплуатационных данных при различных нагрузках котельного агрегата и с учётом его конструктивных особенностей. Полученное значение ложится в основу алгоритма, как пороговый критерий для выявления аномального поведения сигнала. Превышение этого порога в условиях, когда резкие изменения уровня физически невозможны, должны интерпретироваться системой управления как признак неисправности в информационно-измерительном канале уровня. Также стоит отметить, что в данную величину необходимо закладывать ряд метрологических характеристик элементов информационно-измерительного канала от датчика уровня до программируемого логического контроллера с учётом условий эксплуатации. Общий вид структурной схемы алгоритма представлена на рис. 1.

Предлагаемый алгоритм может быть реализован как дополнительный функциональный блок внутри программируемого логического контроллера, так и в общей системе диспетчеризации и управления технологическими процессами. Выбор того или иного варианта не отразится на процессе работы алгоритма. Реализация алгоритма на языке Function Block Diagram представлена на рис. 2.

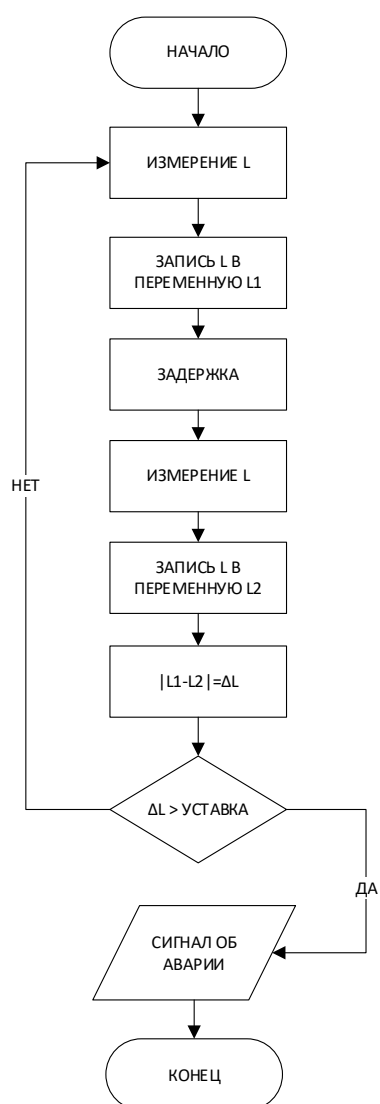


Рис. 1. Структурная схема алгоритма

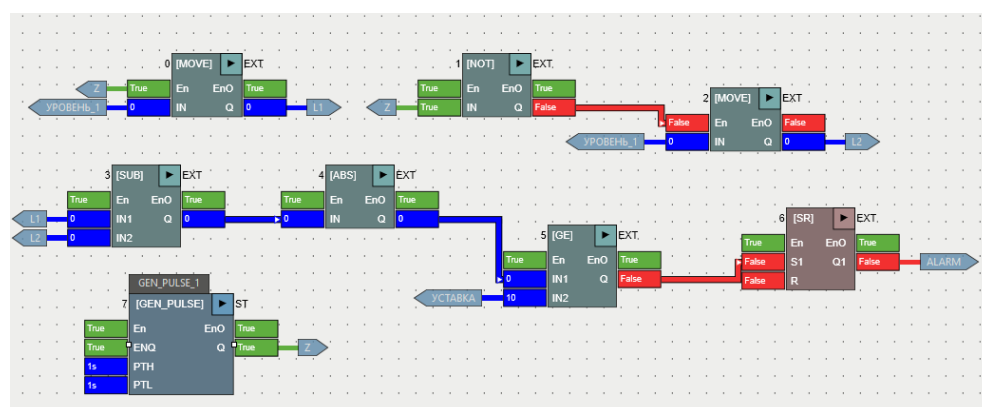


Рис. 2. Алгоритм идентификации неисправности информационно-измерительного канала уровня

Представленная реализация алгоритма состоит из нескольких взаимосвязанных блоков. Во-первых, для снятия показаний переменной «УРОВЕНЬ_1» с определенным временным интервалом и записью полученных значений в переменные «L1» и «L2» используются блоки «MOVE». Порядок активации данных блоков определяется переменной «Z». Для второго блока «MOVE» сигнал с переменной «Z» поступает через логический блок «NOT», который инвертирует значение переменной «Z». В свою очередь, переменная «Z» является выходом блока генерации прямоугольного сигнала «GEN_PULSE». Данный блок поочередно выдает положительный и отрицательный сигналы продолжительностью одну секунду.

Блок «SUB» производит операцию вычитания между полученными переменными «L1» и «L2» и подает полученное значение на выход блока «ABS». Данный блок производит операцию взятия модуля числа и подает полученное значение на вход блока «GE». Блок «GE» производит операцию сравнения полученного значения с переменной «УСТАВКА». В тех случаях, когда полученное значение превысит или будет равно значению переменной «УСТАВКА», блок сравнения «GE» сгенерирует выходной сигнал на блок установки выходного значения «SR». В случае активации входа блока «SR» на выход будет подан положительный сигнал на переменную «ALARM».

Значение переменной «ALARM» можно использовать для вывода сообщения в систему диспетчеризации о неисправности в информационно-измерительном канале уровня. На рис. 3, в качестве примера, представлена мнемосхема судовой котельной установки с журналом регистрации событий. В результате формирования неисправности в журнале дополнительно отображается информация о неисправности информационно-измерительного канала. Кроме того, данный алгоритм может быть использован для формирования команд в основную программу управления котельным агрегатом с целью предотвращения подачи неверных предупреждающих сигналов на исполнительные механизмы.

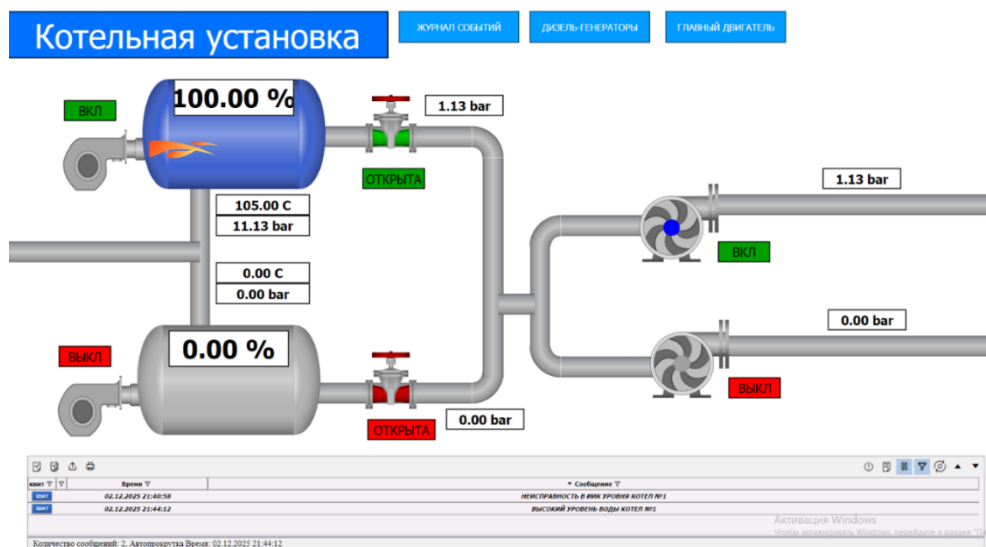


Рис. 3. Мнемосхема с журналом событий системы диспетчеризации

Процедура проверки работоспособности алгоритма проводилась программным методом. Для этого переменная «УРОВЕНЬ_1» изменялась скачкообразно с разными значениями шагов при разных значениях переменной «УСТАВКА». Результаты проведения проверки представлены в таблице.

Таблица

Результаты проведения проверки

Скачкообразное изменение, %	Значение переменной «УСТАВКА»	Начальное значение уровня, %	Активация алгоритма
2	5	30	нет
4	5	35	нет
6	5	40	да
8	10	45	нет
10	10	50	да
13	15	60	нет
17	15	65	да

Критерием активации алгоритма считался переход переменной «ALARM» из состояния логического нуля в логическую единицу (рис. 4). Анализ представленных данных свидетельствует о высокой точности и устойчивости реакции алгоритма на ступенчатые возмущения входного параметра. Во всех случаях, когда амплитуда скачка переменной «УРОВЕНЬ_1» превышала установленное пороговое значение, фиксировалась своевременная активация алгоритма, что подтверждает корректность реализации условий срабатывания. При этом ложные срабатывания в условиях отсутствия превышения уставки не наблюдались, что указывает на корректность разработанного алгоритма. Таким образом, можно заключить, что предложенный метод идентификации аварийных отклонений обеспечивает строгое и однозначное распознавание заданных типов нештатных ситуаций в рамках принятой модели.

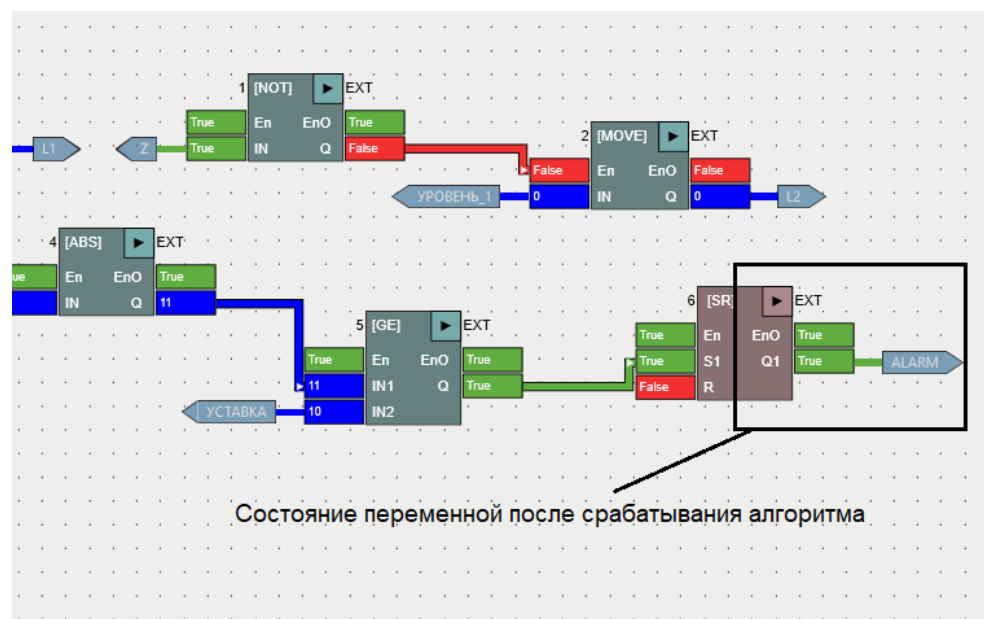


Рис. 4. Состояние переменной после срабатывания алгоритма

Также стоит отметить, что для реализации данного решения можно выбирать различные временные интервалы, в рамках которых будет производиться запись значения переменной «УРОВЕНЬ_1» в значения переменных «L1» и «L2». В первую очередь выбор должен быть обусловлен динамикой изменения показаний. Чем быстрее меняется значение, тем меньше должен быть временной интервал. При этом

необходимо учесть, что данный интервал не должен быть слишком коротким, так как при уменьшении времени необходимо также уменьшать значение переменной «УСТАВКА». Если данная переменная будет достаточно мала, тогда определенного рода шумы и систематические погрешности измерительного устройства могут привести к ложному срабатыванию алгоритма.

Обсуждение

Разработанный алгоритм самодиагностики информационно-измерительного канала уровня представляет собой эффективный инструмент повышения надёжности и безопасности функционирования судовых энергетических установок. Его практическая значимость заключается не только в способности своевременно фиксировать аномальные отклонения, но и в том, что он непосредственно влияет на оперативность реакции экипажа при возникновении нештатных ситуаций. Благодаря раннему выявлению недостоверности измерительной информации персонал получает возможность исключить ложные срабатывания защитных систем и сосредоточить внимание на реальных неисправностях. Так как диагностика начинается не с момента проявления последствий, а сразу после регистрации подозрительного поведения сигнала, такой подход позволяет сократить время для локализации и устранения отказов. Таким образом, снижаются как временные, так и ресурсные затраты на восстановление работоспособности оборудования. Это особенно критично в условиях ограниченного состава судовой команды и удалённости от береговой инфраструктуры.

Следует отметить, что предложенный алгоритм обладает определёнными функциональными ограничениями и не предназначен для выявления всех возможных типов неисправностей в информационно-измерительном канале уровня. В частности, он не способен диагностировать отказы, проявляющиеся в виде постепенного дрейфа показаний или плавающих отклонений сигнала. Такие аномалии, как правило, обусловлены старением чувствительного элемента датчика, изменением его метрологических характеристик после длительной эксплуатации или старения электронных компонентов, и не сопровождаются резким изменением скорости сигнала, превышающим пороговое значение.

Алгоритм, представленный в работе, ориентирован исключительно на идентификацию резких, импульсных искажений сигнала. К таким отказам относятся: электромагнитные помехи, наводимые на линии связи, обрыв или короткое замыкание, а также нарушения контакта в разъёмах и клеммных соединениях, вызванные вибрацией, окислением токопроводящих поверхностей или попаданием влаги. Все эти виды неисправностей проявляются в виде скачкообразных выбросов или провалов измеряемого параметра. Это позволяет алгоритму надёжно их идентифицировать по превышению порогового значения темпа изменения уровня. Предложенный алгоритм следует рассматривать как специализированный инструмент раннего обнаружения внезапных нарушений целостности измерительного канала. Данный инструмент может дополнять, но не заменять другие методы технической диагностики.

Перспективы дальнейшего развития предложенного подхода связаны с его интеграцией в более сложные иерархические структуры управления. В частности, сигнал о недостоверности измерений, формируемый разработанным алгоритмом, может быть использован не только для информирования оператора, но и в качестве управляющего воздействия для модификации логики работы смежных подсистем. Например, в случае подтверждённой неисправности измерительного канала уровня целесообразно автоматически деактивировать аварийные защиты, завязанные на этот параметр, либо перевести систему в резервный режим с использованием резервного датчика или расчётной модели уровня. Подобная адаптация алгоритмов защиты позволяет избежать необоснованных остановок оборудования и сохранить

работоспособность энергетической установки на приемлемом уровне до завершения ремонтных работ.

Важно отметить, что реализация подобных расширенных функций требует комплексного подхода, включающего как модернизацию программного обеспечения контроллеров и систем диспетчеризации, так и обновление регламентирующих документов по эксплуатации. Тем не менее, даже в базовом варианте предложенный алгоритм демонстрирует высокий потенциал для практического применения и может служить основой для создания интеллектуальных систем самодиагностики, ориентированных на обеспечение безаварийной и энергоэффективной работы судовых энергетических установок.

Заключение

В ходе выполнения исследования разработан алгоритм самодиагностики информационно-измерительного канала уровня, применяемого в составе судовой котельной установки. Основу алгоритма составляет анализ темпа изменения измеряемого параметра и его сравнение с физически обоснованным пороговым значением, полученным на основе динамических характеристик котельного агрегата в штатных режимах работы. Реализация выполнена в среде MasterSCADA 4D с использованием языка программирования Function Block Diagram, что обеспечивает совместимость с промышленными контроллерами и соответствие требованиям стандарта МЭК 61131-3.

Экспериментальная проверка показала, что алгоритм надёжно идентифицирует резкие, физически невозможные изменения уровня, характерные для таких отказов, как обрыв линии связи, электромагнитные помехи, нарушение контактов или воздействие внешних агрессивных факторов. При этом ложные срабатывания в условиях нормальной эксплуатации не наблюдались, что подтверждает корректность выбранных критериев диагностики.

Практическая ценность предложенного решения заключается в снижении времени на выявление и устранение неисправностей, предотвращении ложных активаций защит и повышении общей надёжности управления энергетической установкой. Перспективы развития связаны с интеграцией сигнала диагностики в логику аварийной защиты и перехода на резервные режимы работы, что позволит создать более адаптивные и отказоустойчивые системы автоматики. Таким образом, разработанный алгоритм представляет собой вклад в обеспечение безопасной и эффективной эксплуатации судовых энергетических комплексов в условиях повышенных требований к автономности и надёжности.

Список литературы

1. Коновалов П. О., Иванченко А. А., Ларионов Г. Л. Опыт развития и применения в эксплуатации систем мониторинга технического состояния судовых ДВС // Наука в современном информационном обществе. 2023. С. 92–101.
2. Бурков Д. Е. Применение судовой информационной системы для контроля и мониторинга технического состояния судового оборудования // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала Макарова. 2023. Т. 15, №. 5. С. 893–902.
3. Валов Д. С., Валгин С. А. Системы управления судовыми энергетическими установками автономных судов // Актуальные исследования. 2023. №. 5(135). С. 19–28.
4. Sánchez-Beaskoetxea J. et al. Human error in marine accidents: Is the crew normally to blame? // Maritime Transport Research. – 2021. – Т. 2. – С. 100016.
5. Zhang R. G., Liu J., Gu Z. Research on crew-level maintenance strategy for ship equipment based on risk-based decision // 2021 14th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID). – IEEE, 2021. – С. 87-90.

6. Dionysiou K., Bolbot V., Theotokatos G. A functional model-based approach for ship systems safety and reliability analysis: Application to a cruise ship lubricating oil system / *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. – 2022. – Т. 236. – №. 1. – С. 228–244.
7. Du T. et al. A self-powered and highly accurate vibration sensor based on bouncing-ball triboelectric nanogenerator for intelligent ship machinery monitoring // *Micromachines*. – 2021. – Т. 12. – №. 2. – С. 218.
8. Zhang P. et al. Marine systems and equipment prognostics and health management: a systematic review from health condition monitoring to maintenance strategy // *Machines*. – 2022. – Т. 10. – №. 2. – С. 72.
9. Диагностика работы датчиков контрольно-измерительных приборов на основе моделей автоассоциативных нейронных сетей / А. В. Николаева, А. В. Литышев, В. В. Астахов, С. И. Пантюшин // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов*. – 2024. – № 4. – С. 38–48. – EDN MGLBZZ.
10. Клячкин, В. Н. Диагностика состояния технического объекта с помощью классификации методами машинного обучения / В. Н. Клячкин, Ю. Е. Кувайскова, Н. А. Ломовцева // *Программные продукты и системы*. – 2021. – № 4. – С. 572–578. – DOI 10.15827/0236-235X.136.572-578. – EDN BGPQEJ.
11. Клячкин, В. Н. Прогнозирование состояния технического объекта с применением методов машинного обучения / В. Н. Клячкин, Д. А. Жуков // *Программные продукты и системы*. – 2019. – № 2. – С. 244–250. – EDN VBAGKR.
12. Система диагностики прогнозирования состояния судовых энергетических установок на основе нейронных сетей / А. С. Самчук, А. В. Ивановская, В. И. Ухин, Д. В. Афищеров // *Вестник Керченского государственного морского технологического университета. Серия: Морские технологии*. – 2025. – № 2. – С. 66–73. – EDN GNMBBX.

References

1. Kononov P. O., Ivanchenko A. A., Larionov G. L. Experience in the Development and Application of Systems for Monitoring the Technical Condition of Marine Internal Combustion Engines // *Science in the Modern Information Society*. 2023. pp. 92–101.
2. Burkov D. E. Application of a Shipboard Information System for Monitoring and Controlling the Technical Condition of Ship Equipment // *Bulletin of the Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*. 2023. Vol. 15, no. 5. pp. 893–902.
3. Valov D. S., Valgin S. A. Control Systems for Marine Power Plants of Autonomous Vessels // *Current Research*. 2023. no. 5(135). pp. 19–28.
4. Sánchez-Beaskoetxea J. et al. Human Error in Marine Accidents: Is the Crew Normally to Blame? // *Maritime Transport Research*. – 2021. – Т. 2. – P. 100016.
5. Zhang R. G., Liu J., Gu Z. Research on crew-level maintenance strategy for ship equipment based on risk-based decision / 2021 14th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID). – IEEE, 2021. – pp. 87-90.
6. Dionysiou K., Bolbot V., Theotokatos G. A functional model-based approach for ship systems safety and reliability analysis: Application to a cruise ship lubricating oil system / *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. – 2022. – Т. 236. – No. 1. – pp. 228-244.
7. Du T. et al. A self-powered and highly accurate vibration sensor based on a bouncing-ball triboelectric nanogenerator for intelligent ship machinery monitoring // *Micromachines*. – 2021. – Vol. 12. – No. 2. – P. 218.
8. Zhang P. et al. Marine systems and equipment prognostics and health management: a systematic review from health condition monitoring to maintenance strategy // *Machines*. – 2022. – Vol. 10. – No. 2. – P. 72.
9. Diagnostics of instrumentation sensors operation based on autoassociative neural network models / А. В. Николаева, А. В. Литышев, В. В. Астахов, С. И. Пантюшин // *Issues of Atomic Science and Technology. Series: Physics of Nuclear Reactors*. – 2024. – No. 4. – P. 38–48. – EDN MGLBZZ.
10. Klyachkin, V. N. Diagnostics of the state of a technical object using classification methods of machine learning / V. N. Klyachkin, Yu. E. Kuvaiskova, N. A. Lomovtseva // *Software*

products and systems. – 2021. – No. 4. – Pp. 572–578. – DOI 10.15827/0236-235X.136.572-578. – EDN BGPQ EJ.

11. Klyachkin, V. N. Forecasting the state of a technical object using machine learning methods / V. N. Klyachkin, D. A. Zhukov // Software products and systems. – 2019. – No. 2. – Pp. 244–250. – EDN VBAGKR.
12. Diagnostic system for forecasting the state of ship power plants based on neural networks / A. S. Samchuk, A. V. Ivanovskaya, V. I. Ukhin, D. V. Afisero // Bulletin of the Kerch State Marine Technological University. Series: Marine Technologies. - 2025. - No. 2. - P. 66-73. - EDN GNMBBX.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Житников Александр Андреевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет», 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский, ул. Виллюйская, 56/1, e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru

Aleksandr A. Zhitnikov, postgraduate student, “Kamchatka State Technical University”, 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Vilyuyskaya St., 56/1, e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru

Марченко Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет», 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский, ул. Виллюйская, 56/1, e-mail: Marchenko_Alx@inbox.ru

Aleksey A. Marchenko, candidate of technical sciences, associate professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kamchatka State Technical University”, 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Vilyuyskaya St., 56/1, e-mail: Marchenko_Alx@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 27.04.2026; принята к публикации 25.05.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 27.04.2026; published online 20.06.2026.

УДК 504.06:534.83:621.436

DOI: 10.37890/jwt.vi87.715

Результаты экспериментальной оценки шума дизель-генераторной установки 4ч 8,5/11 на двух топливах

Н.А. Лаптев

ORCID: 0009-0004-8069-9516

Ю.И. Матвеев

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

Аннотация. Повышенный уровень шума в машинных помещениях судов является одним из основных вредных производственных факторов, влияющих на здоровье и работоспособность судовых механиков. В статье представлены результаты экспериментальной оценки уровня шума судового дизель-генератора 4Ч 8,5/11 при работе на дизельном и комбинированном (дизельное + газ) топливе. Новизна работы заключается в получении количественных характеристик снижения шума при газодизельном процессе для вспомогательного судового дизеля мощностью 17 кВт. Измерения выполнены измерителем уровня звука GM1352 (**класс точности 2**) в диапазоне от 30 до 130 дБ с погрешностью $\pm 1,5$ дБ. Прибор размещался на фиксированном расстоянии 3,4 м от дизельного двигателя на высоте 1,7 м от уровня палубы, на четырёх режимах нагрузки генератора: холостой ход, 50, 75 и 100 % номинальной мощности, при работе на дизельном и комбинированном топливе. Установлено, что перевод двигателя на комбинированное топливо позволяет снизить уровень шума на 2–3,6 дБ по сравнению с работой на чистом дизельном топливе. Наиболее существенное снижение (3,6 дБ) зафиксировано на режиме 75 % нагрузки, который является основным в эксплуатации судовых вспомогательных дизелей. Показано, что на данном режиме уровень шума (90,8 дБ) не превышает предельно допустимого значения 95 дБ, установленного санитарными нормами для рабочих зон энергетических отделений. Практическая значимость работы заключается в обосновании возможности улучшения условий труда судовых механиков при переводе дизель-генераторов на комбинированное топливо без дополнительных затрат на шумоизоляцию.

Ключевые слова: судовой дизель-генератор, комбинированное топливо, газодизельный процесс, уровень шума, условия труда, акустические характеристики, нагрузочные режимы, пропан-бутановая смесь.

Results of experimental noise assessment of a 4f 8,5/11 diesel generator unit on two fuels

Nikolai A. Laptev

ORCID: 0009-0004-8069-9516

Yuri I. Matveev

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Elevated noise levels in engine rooms of vessels are one of the main occupational hazards affecting the health and performance of marine engineers. This article presents the results of an experimental assessment of the noise level of a 4Ch 8,5/11 marine diesel generator when operating on diesel and combined (diesel + gas) fuel. The novelty of the work lies in obtaining quantitative characteristics of noise reduction during the gas-diesel process for an auxiliary marine diesel engine with a power of 17 kW. Measurements were carried out using the GM1352 sound level meter (accuracy class 2) in the range from 30 to 130 dB with an error of ± 1.5 dB. The device was placed at a fixed distance of 3.4 m from the

diesel engine at a height of 1.7 m above the deck level, at four load modes of the generator: idling, 50, 75 and 100 % of rated power, when operating on diesel and combined fuel. It has been found that switching the engine to combined fuel reduces the noise level by 2–3.6 dB compared to operation on pure diesel fuel. The most significant reduction (3.6 dB) was recorded at 75 % load mode, which is the main one in the operation of marine auxiliary diesels. It is shown that at this mode the noise level (90.8 dB) does not exceed the maximum permissible value of 95 dB established by sanitary standards for working areas of engine departments. The practical significance of the work lies in substantiating the possibility of improving the working conditions of marine engineers by converting diesel generators to combined fuel without additional costs for noise insulation.

Keywords: marine diesel generator, combined fuel, gas-diesel process, noise level, working conditions, acoustic characteristics, load modes, propane-butane mixture.

Введение

Актуальность работы. Повышенный уровень шума относится к числу вредных производственных факторов, систематическое воздействие которого на организм человека может способствовать развитию профессиональных заболеваний, снижению концентрации внимания и повышению травматизма [1, 2]. В энергетических помещениях теплоходов, где установлены дизель-генераторные установки, обслуживающий персонал подвергается интенсивному акустическому воздействию. Согласно санитарным нормам [3], уровень звука в рабочих зонах с постоянной вахтой не должен превышать 95 дБ. Однако, как показывают натурные измерения, на многих судах этот норматив превышает, что делает актуальной задачу поиска организационных и технических способов снижения шума.

Степень разработанности проблемы. Вопросы акустической нагрузки судовых энергетических установок рассматривались в работах отечественных и зарубежных авторов. Гаркуша А.Н. и Марков В.А. [4] разработали методы виброакустической диагностики судовых дизелей, позволяющие идентифицировать источники шума. В работе Иванова А.В. и Щурова П.А. [5] показано, что при работе на газовом топливе происходит изменение характера сгорания: снижается максимальная температура цикла и уменьшается скорость нарастания давления ($dp/d\phi$), что ведёт к снижению механических нагрузок и, как следствие, уменьшению шума. Однако количественные оценки этого эффекта для судовых дизель-генераторов малой мощности в отечественной литературе представлены фрагментарно.

Перевод судовых вспомогательных дизелей на комбинированное (газодизельное) топливо в настоящее время рассматривается как перспективное направление снижения эксплуатационных расходов и уменьшения выбросов вредных веществ [6, 7]. Вместе с тем вопрос об изменении акустических характеристик двигателя при таком переходе остаётся недостаточно изученным, что определяет цель настоящей работы: экспериментальная оценка уровня шума дизель-генератора 4Ч 8,5/11 при работе на дизельном и комбинированном топливах на различных нагрузочных режимах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить измерения уровня шума дизель-генератора на четырёх режимах нагрузки генератора: холостой ход, 50, 75 и 100 % номинальной мощности при работе на дизельном и комбинированном топливе.
2. Сравнить полученные значения с нормативными требованиями и сформулировать рекомендации по улучшению условий труда.

Объект и методика исследований

Объектом исследований является судовая дизель-генераторная установка на базе четырёхтактного дизеля 4Ч 8,5/11 (номинальная мощность 17 кВт, частота вращения

1500 мин⁻¹) и синхронного генератора переменного тока мощностью 12 кВт (рис. 1). Выбор объекта обусловлен широким распространением данного типа дизелей в качестве вспомогательных источников электроснабжения на судах внутреннего и смешанного река-море плавания.



Рис. 1. Модернизированная дизель-генераторная установка для работы на традиционных и смесевых видах топлив

Исследования проводились для двух вариантов работы:

1. На чистом дизельном топливе (ДТ) по стандартной характеристике.
2. На комбинированном топливе (ДТ + газ) с подачей пропан-бутановой смеси в надклапанное пространство с помощью устройства, защищённого патентом [8].

Режимы нагрузки. Для каждого типа топлива выполнялись измерения на пяти (четырёх для комбинированного) режимах нагрузки двигателя генератором:

- Режим №1 – 100 % нагрузки генератора;
- Режим №2 – 75 % нагрузки генератора;
- Режим №3 – 50 % нагрузки генератора;
- Холостой ход

Фактической мощностью генератора являются данные, полученные через расчёт мощности по фазам (метод сложения), результаты измерений и расчётов занесены в таблицу 1:

Нагрузка – активная (ТЭНы); $\cos \varphi = 1$; схема подключения – звезда.

Таблица 1

Результаты измерений электрических величин нагрузки генератора

Параметр	Значение, P_r	Значение, $0,75P_r$	Значение, $0,5 P_r$
U_L , В	390	402	390
I_A , А	18,4	13,4	9,7
I_B , А	16,8	12,2	7,4
I_C , А	18,4	13,7	8,9
U_ϕ , В	225,2	232,1	225,2
P_A , Вт	4143,7	3110,1	1666,5
P_B , Вт	3783,4	2831,6	2004,3
P_C , Вт	4143,7	3179,8	2184,4
$P_{\text{общ}}$, Вт	12070,8	9121,5	5855,2

Сравнение экспериментальных данных с расчётными режимами, несколько отличаются от теоретических (заданных) режимов генератора (12 и 9 и 6 кВт).

Фактические измеренные значения составили 12,07 кВт; 9,12 кВт и 5,86 кВт соответственно.

Относительное расхождение не превышает 2,41 % (для режима 0,5P_г) и находится в пределах (2-5%) совокупной инструментальной и методической погрешности измерений.

Полученные фактические значения мощности приняты в качестве реальной базовой нагрузки для последующего анализа работы дизель-генераторной установки, так как они адекватно отражают условия её эксплуатации с учетом естественного разброса параметров.

Определение фактической механической нагрузки на дизель

При проведении экспериментальных исследований нагрузка дизель-генераторной установки задавалась по электрической мощности генератора (0,75P_г, P_г). Однако для корректного анализа рабочих процессов в цилиндре дизеля необходимо знать механическую мощность на валу дизеля, которая больше электрической на величину потерь в генераторе.

Таким образом, номинальный электрический режим (P_г = 12 кВт) соответствует работе генератора с паспортным КПД 86 %.

Определение значений КПД на частичных нагрузках

Для определения КПД на режимах частичной нагрузки (0,75P_г) использованы типовые зависимости для синхронных генераторов малой мощности (10–50 кВт) 1980–1990-х годов выпуска. Согласно справочным данным, для машин данного класса характерно незначительное снижение КПД (на 0,5–1,0 %) при нагрузке 75 % от номинальной.

С учётом этого и паспортного значения 86 % на номинальной мощности генератора, приняты следующие расчётные значения КПД (см. таблицу 2):

Таблица 2

Расчётные значения КПД генератора

Режим нагрузки генератора	Электрическая мощность P _г , кВт	КПД η, %
P _г	12,07	86,0
0,75P _г	9,12	85,5
0,5P _г	5,86	83,0
XX	Отсутствует	Отсутствует

Зная номинальную мощность дизеля 4Ч 8,5/11 (17 кВт), можно оценить степень его нагрузки в долях от номинальной мощности (см. таблицу 3):

Таблица 3

Механическая нагрузка дизеля

Режим нагрузки генератора	Мощность на валу, кВт	Нагрузка дизеля, %
P_r	14,03	82,5
$0,75P_r$	10,67	62,8
$0,5P_r$	7,06	41,5
XX	Не измерялась	Не рассчитывалась

В таблице 3 приведено соответствие между электрическими режимами генератора и фактической механической нагрузкой дизеля.

Выполненный пересчёт позволяет корректно интерпретировать экспериментальные данные: режимы, обозначенные в работе как: P_r , $0,75P_r$ и $0,5P_r$ соответствуют механической нагрузке на дизель 82 %, 62 % и 41,5 от номинальной мощности дизельного двигателя, соответственно. Принятые значения КПД генератора обоснованы паспортными данными и типовыми характеристиками, что обеспечивает достоверность полученных оценок.

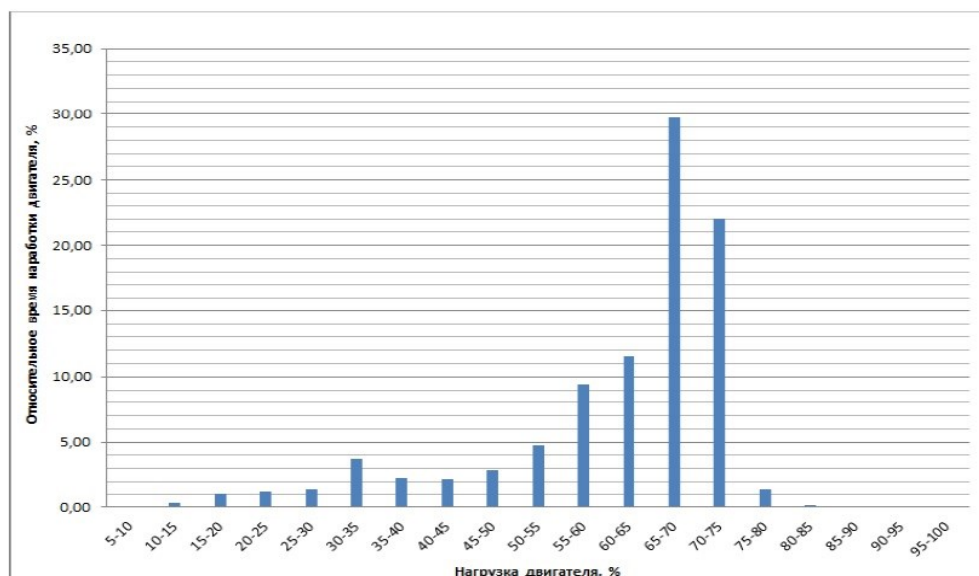


Рис. 2. Гистограмма распределения эксплуатационной наработки двигателя по режимам нагрузки

Выбор нагрузочных режимов обусловлен типовым графиком работы судовых вспомогательных дизель-генераторов, значительную часть времени функционирующих в диапазоне 50–75 % от номинальной мощности [9].

Средства измерений. Регистрация уровня шума осуществлялась измерителем уровня звука GM1352 (класс точности 2) в диапазоне от 30 до 130 дБ с погрешностью $\pm 1,5$ дБ. Прибор размещался на фиксированном расстоянии 3,4 м от дизельного двигателя на высоте 1,7 м от уровня палубы, что соответствует

расположению органа слуха работающего человека. Измерения состояли из пяти повторений, среднее значение заносилось в таблицу. Среднее значение определялось прибором. Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рисунке 3.

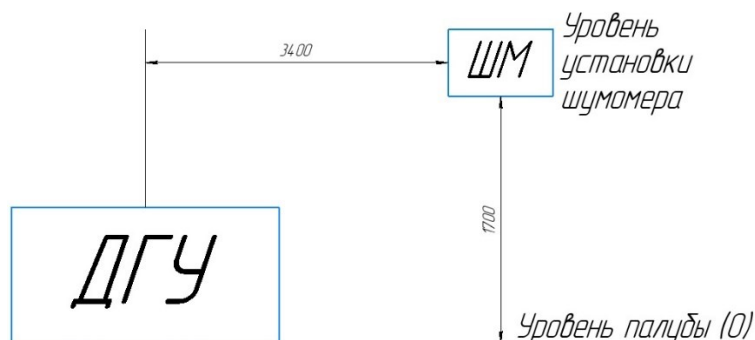


Рис. 3 Принципиальная схема экспериментальной установки для регистрации уровня шума судовой дизель-генераторной установки

где: ДГУ – дизель-генераторная установка; ШМ – измеритель уровня звука GM1352

Анализ полученных экспериментальных исследований показал, что на всех нагрузочных режимах работа дизеля на комбинированном топливе сопровождается устойчивым снижением уровня шума относительно работы на чистом дизельном топливе. Результаты измерений представлены в таблице 4.

Таблица 4

Уровни шума при различных режимах работы, дБ

Режим работы	Дизельное топливо, дБ	Комбинированное топливо, дБ	Снижение, дБ
100 % нагрузки (12 кВт)	97,8	94,8	3,0
75 % нагрузки (9 кВт)	94,4	90,8	3,6
50 % нагрузки (6 кВт)	93,9	90,4	3,5
Холостой ход	88,7	*	*

*- уровень шума на режиме холостого хода замерялся только при работе дизеля на дизельном топливе.

Выявлено, что работа на комбинированном топливе обеспечивает снижение уровня шума на всех исследованных нагрузочных режимах. Наибольшее снижение (3,6 дБ) зафиксировано на режиме 75% нагрузки. При этом уровень шума на комбинированном топливе (90,8 дБ) не превышает предельно допустимого значения

95 дБ¹, установленного санитарными нормами для рабочих зон энергетических отделений. Кроме того, при эксплуатации на комбинированном топливе уровень шума попадает в диапазон допустимых значений (94,8 дБ). Работа на дизельном топливе на этом же режиме даёт уровень шума 97,8 дБ, что превышает допустимый уровень.

Сравнительная гистограмма. На рисунке 4 представлена сравнительная гистограмма уровней шума, замеренных в результате серии экспериментов.

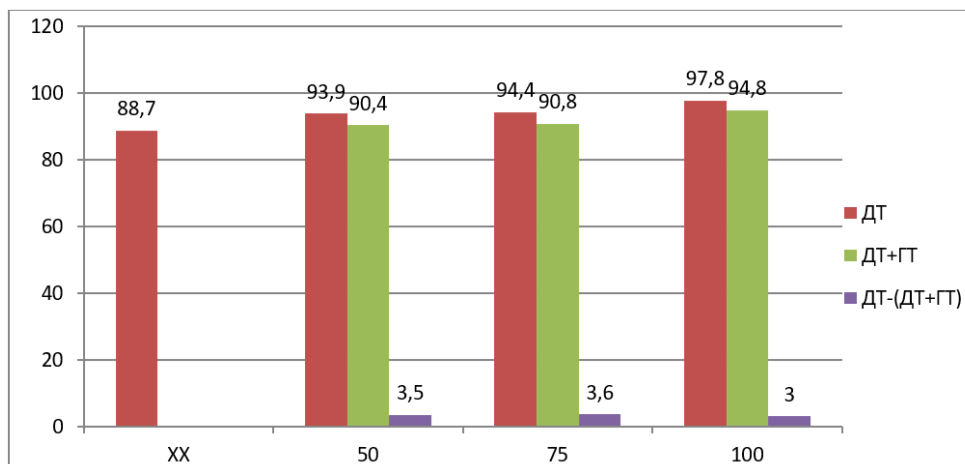


Рис. 4. Сравнительная гистограмма уровней шума, замеренных в результате серии экспериментов

Полученные результаты согласуются с данными других исследователей. В работе [11] показано, что при переводе судового дизеля на газодизельный процесс снижение шума составляет 3–5 дБ, что близко к полученным значениям. Однако в настоящем исследовании зафиксирован более выраженный эффект (3,6 дБ) на режиме 75 % нагрузки, что может быть обусловлено конструктивными особенностями исследуемого двигателя и применённой системой подачи газа.

Важно отметить, что снижение уровня шума на 3–6 дБ воспринимается субъективно как уменьшение громкости в 1,5–2 раза [12]. Это создаёт предпосылки для существенного улучшения условий труда судовых механиков, особенно при длительных вахтах.

Заключение

По результатам проведённых экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

Экспериментально подтверждено, что перевод судового дизель-генератора 4Ч 8,5/11 на комбинированное (газодизельное) топливо обеспечивает снижение уровня шума на 2–3,6 дБ по сравнению с работой на чистом дизельном топливе.

1. Наиболее значимый эффект (снижение на 3,6 дБ) достигнут на режиме 75 % нагрузки, который является одним из основных в эксплуатации судовых вспомогательных дизелей.

2. Установлено, что на режиме 75 % нагрузки уровень шума при работе на комбинированном топливе (90,8 дБ) не превышает предельно допустимого значения 95 дБ, установленного санитарными нормами [3].

¹ среднее значение СанПин и РМРС.

3. Установлено, что при эксплуатации на комбинированном топливе уровень шума на номинальном режиме снижается и попадает в диапазон предельно допустимых значений 95 дБ (снижение с 97,8 дБ до 94,8 дБ).

4. Практическая значимость полученных результатов заключается в обосновании дополнительного преимущества перевода судовых дизелей на комбинированное топливо: улучшение условий труда обслуживающего персонала за счёт снижения акустической нагрузки без применения дополнительных средств пассивной шумоизоляции. Экономический эффект может быть достигнут за счёт снижения затрат на средства индивидуальной защиты и уменьшения профессиональных рисков.

5. Перспективы дальнейших исследований связаны с проведением длительных эксплуатационных испытаний для оценки интегрального показателя шумовой нагрузки (эквивалентного уровня звука) в реальных условиях работы судна, а также с разработкой методики прогнозирования шумовых характеристик при различных соотношениях дизельного и газового топлив.

Список литературы

1. Измеров, Н. Ф. Профессиональные заболевания у работников водного транспорта: диагностика, лечение, профилактика / Н. Ф. Измеров, В. Л. Филиппов. – Москва : Медицина, 2018. – 256 с. – Текст : непосредственный.
2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : санитарные правила и нормы : утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2 : введены в действие с 1 марта 2021 г. – Москва : Роспотребнадзор, 2021. – 469 с. – Текст : непосредственный.
3. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 : свод правил : утвержден Приказом Минрегиона России от 28 декабря 2010 г. № 825 : введен в действие с 20 мая 2011 г. – Москва : Минрегион России, 2011. – 46 с. – Текст : непосредственный.
4. Гаркуша, А.Н. Виброакустическая диагностика судовых дизелей / А.Н. Гаркуша, В.А. Марков. – Николаев: НУК, 2018. – 210 с.
5. Иванов, А. В. Исследование влияния газодизельного процесса на показатели работы транспортного дизеля / А. В. Иванов, П. А. Щуров. – Текст : непосредственный // Транспорт на альтернативном топливе. – 2022. – № 4 (70). – С. 28–34.
6. Лаптев, Н. А. Развитие инфраструктуры на внутренних водных путях российской федерации в целях обеспечения bunkеровки газовым топливом судов с двигателями внутреннего сгорания на акватории Астрахань-Москва / Н. А. Лаптев // Прогрессивная экономика. – 2024. – № 1. – С. 85-101. – DOI 10.54861/27131211_2024_1_86. – EDN PMBUVA.
7. Природный газ как альтернатива жидким углеводородам на судах с дизельной установкой / Ю. И. Матвеев, Н. А. Лаптев, В. В. Колыванов, М. Ю. Храмов // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 75. – С. 127-135. – DOI 10.37890/jwt.vi75.359. – EDN LERNPN.
8. Патент № 2843053 С1 Российская Федерация, МПК F02M 21/02, F02M 35/10, F02M 35/16. устройство для раздельной подачи газов в дизельный двигатель : заявл. 06.12.2024 : опубл. 07.07.2025 / Ю. И. Матвеев, А. К. Лаптев, Н. А. Лаптев. – EDN NYGOZL.
9. Возницкий И.В. Эксплуатация судовых дизельных установок / И.В. Возницкий. – СПб.: Профессионал, 2019. – 412 с.
10. Кавтарадзе, Р. З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород / Р. З. Кавтарадзе. – Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2011. – 240 с. – ISBN 978-5-7038-3482-4. – EDN ZCKZYN.
11. Патрахальцев Н.Н. Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив / Н.Н. Патрахальцев. – М.: РУДН, 2008. – 267 с.

12. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник / Н. И. Иванов. – Москва : Логос, 2013. – 432 с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/9080.html> (дата обращения: 03.04.2026). – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – Текст : электронный.
13. Володин В.В. Теоретическое обоснование применения эффекта эжекции в системах подачи газообразного топлива в двигатель и моделирование параметров его работы // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. – 2012. – № 11. – С. 90–94.
14. Карнаухова И.В., Карнаухов В.Н., Захаров Д.А., Карнаухов О.В., Рындина О.В. Влияние коэффициента избытка воздуха на расход топлива дизельными двигателями внутреннего сгорания // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 5. – С. 38–42. – DOI: 10.12737/article_58f9c4d93ed083.05626092.
15. Guo, J. Study on the Simplification Calculation Model of Marine Diesel Engine Exhaust Flow Based on Air-Fuel Ratio / J. Guo, L. Guo. – Текст : электронный // Mathematical Problems in Engineering. – 2022. – Vol. 2022. – Art. 2890035. – 12 p. – DOI: 10.1155/2022/2890035.

References

1. Izmerov, N.F., Filippov, V.L. (2018). Occupational Diseases among Water Transport Workers: Diagnosis, Treatment, Prevention. Moscow: Meditsina. 256 p.
2. SanPiN 1.2.3685-21. (2021). Hygienic Standards and Requirements for Ensuring Safety and (or) Harmlessness of Environmental Factors for Humans. Moscow: Rospotrebnadzor. 469 p.
3. SP 51.13330.2011. (2011). *Noise Protection. Updated Version of SNiP 23-03-2003*. Moscow: Minregion Rossii. 46 p.
4. Garkusha, A.N., Markov, V.A. (2018). Vibroacoustic Diagnostics of Marine Diesel Engines. Nikolaev: NUK. 210 p.
5. Ivanov, A.V., Shchurov, P.A. (2022). Study of the Influence of the Gas-Diesel Process on the Performance Indicators of a Transport Diesel. Transport on Alternative Fuel. No. 4 (70). pp. 28–34.
6. Laptev, N.A. (2024). Development of Infrastructure on Inland Waterways of the Russian Federation for Bunkering of Internal Combustion Engine Vessels with Gas Fuel in the Astrakhan-Moscow Water Area. Progressive Economy. No. 1. pp. 85–101. DOI: 10.54861/27131211_2024_1_86. EDN: PMBUVA.
7. Matveev, Yu.I., Laptev, N.A., Kolyvanov, V.V., Khramov, M.Yu. (2023). Natural Gas as an Alternative to Liquid Hydrocarbons on Ships with Diesel Power Plants. Scientific Problems of Water Transport. No. 75. pp. 127–135. DOI: 10.37890/jwt.vi75.359. EDN: LERNPN.
8. Matveev, Yu.I., Laptev, A.K., Laptev, N.A. (2025). Device for Separate Gas Supply to a Diesel Engine. Patent No. 2843053 C1 Russian Federation. Filed 06.12.2024. Published 07.07.2025. EDN: NYGOZL.
9. Voznitsky, I.V. (2019). Operation of Marine Diesel Power Plants. St. Petersburg: Professional. 412 p.
10. Kavtaradze, R.Z. (2011). Thermophysical Processes in Diesel Engines Converted to Natural Gas and Hydrogen. Moscow: Bauman Moscow State Technical University. 240 p. ISBN: 978-5-7038-3482-4. EDN: ZCKZYN.
11. Patrakhaltsev, N.N. (2008). Improvement of Economic and Environmental Qualities of Internal Combustion Engines through the Use of Alternative Fuels. Moscow: RUDN. 267 p.
12. Ivanov, N.I. (2013). Engineering Acoustics. Theory and Practice of Noise Control. Moscow: Logos. 432 p. URL: <https://www.iprbookshop.ru/9080.html> (accessed: 03.04.2026).
13. Volodin, V.V. (2012). Theoretical Justification of the Application of the Ejection Effect in Gaseous Fuel Supply Systems to an Engine and Modeling of Its Operating Parameters. Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. No. 11. pp. 90–94.
14. Karnaukhova, I.V., Karnaukhov, V.N., Zakharov, D.A., Karnaukhov, O.V., Ryndina, O.V. (2016). Influence of the Excess Air Ratio on Fuel Consumption of Diesel Internal Combustion Engines. Bulletin of the Bryansk State Technical University. No. 5. pp. 38–42. DOI: 10.12737/article_58f9c4d93ed083.05626092.

15. Guo, J., Guo, L. (2022). Study on the Simplification Calculation Model of Marine Diesel Engine Exhaust Flow Based on Air-Fuel Ratio. *Mathematical Problems in Engineering*. Vol. 2022. Art. 2890035. 12 p. DOI: 10.1155/2022/2890035.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лаптев Николай Александрович, ассистент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта»; 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: laptevlna@gmail.com

Nikolai A. Laptev, Assistant, Department of Operation of Ship's Power Plants, Volga State University of Water Transport; 5 Nesterova st., Nizhny Novgorod, 603951, Russia
e-mail: laptevlna@gmail.com

Матвеев Юрий Иванович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой эксплуатации судовых энергетических установок, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта»; 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: matveeveseu@mail.ru

Yuri I. Matveev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Operation of Ship's Power Plants, Volga State University of Water Transport; 5 Nesterova st., Nizhny Novgorod, 603951, Russia
e-mail: matveeveseu@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14.04.2026; принята к публикации 18.05.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 14.04.2026; published online 20.06.2026.

УДК 629.1

DOI: 10.37890/jwt.vi87.707

Влияние граничных условий на значение собственной частоты поперечных колебаний судового валопровода

А.А. Халявкин¹,

А.В. Ивановская²

ORCID: 0000-0002-3548-9083

В.Ю. Васин²

Д.А. Головань²

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

²*Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Россия*

Аннотация. В работе исследуется влияние податливости дейдвудных подшипников на работоспособность всего судового валопровода. Анализируются существующие значения коэффициента жесткости, используемые для упругих упор в расчетных схемах при расчете поперечных колебаний и центровке судового валопровода. Упругие опоры моделирует кормовой дейдвудный подшипник и всю валовую линию валопровода. Отмечается, что антифрикционные материалы, используемые для дейдвудных подшипников, могут быть металлическими и неметаллическими. Указывается, что судовым валопровод представляет собой сложную динамическую систему и явление резонанса при поперечных колебаниях возникает, когда частота внешнего возбуждения приближается к собственной частоте колебаний самого валопровода. Отмечается, что такое явление характеризуется значительными увеличением амплитуд колебаний и неустойчивому состоянию всей валовой системы. Это приводит к серьезным повреждениям и авариям всех элементов и узлов всего пропульсивного комплекса судна. Полученные результаты в данной работе в виде графиков изменения собственной частоты исследуемой однопролетной балки относительно принятых упругих граничных условий, характеризующих всю валовую линию валопровода, носит нелинейный характер.

Ключевые слова: судовым валопровод, дейдвудный подшипник, коэффициент жесткости, поперечные колебания, резонанс

Influence of boundary conditions on the value of the natural frequency of transverse vibrations of the ship's shaft line

Alexey A. Khalyavkin¹

Aleksandra V. Ivanovskaya²

ORCID: 0000-0002-3548-9083

Vladislav Y. Vasin²

Danil A. Golovan²

¹*Caspian Institute of Sea and River Transport named after General Admiral F.M. Apraksin – the affiliation of Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia*

²*Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia*

Abstract. The paper studies the effect of the flexibility of the shaft bearings on the performance of the entire ship's shaft line. It analyzes the existing values of the stiffness coefficient used for elastic stops in the calculation schemes for calculating lateral vibrations and centering the ship's shaft line. The elastic supports model the stern shaft bearing and the entire shaft line. It is noted that the antifricition materials used for shaft bearings can be metallic or non-metallic. It is pointed out that the ship's shaft line is a complex dynamic

system, and the phenomenon of resonance during lateral vibrations occurs when the frequency of external excitation approaches the natural frequency of vibration of the shaft line itself. It is noted that this phenomenon is characterized by significant increases in the amplitudes of vibrations and an unstable state of the entire shaft system. This leads to serious damage and accidents of all elements and nodes of the entire propulsion complex of the vessel. The results obtained in this work in the form of graphs of the change in the natural frequency of the studied single-span beam relative to the adopted elastic boundary conditions, which characterize the entire shaft line of the shaft line, are nonlinear.

Keywords: ship shaft line, shaft bearing, stiffness coefficient, lateral vibrations, resonance

Введение

Судовой валопровод является единой валовой линией между главным двигателем и гребным винтом, который опирается на дейдвудные и промежуточные подшипники. Количество опорных подшипников зависит от длины самого валопровода и их расположения относительно друг друга. Валовая линия – это система валов (гребной, промежуточный, опорный), которые соединены между собой (фланцевое соединение, муфтовое соединение и пр.) и располагаются на одной оси. До четырех валовых линий может иметь судно (рис. 1).



Рис. 1. Ремонт судна с четырьмя валовыми линиями

Геометрические размеры всех валов зависят от условий эксплуатации, передаваемой мощности и частоты вращения от главного двигателя к гребному винту, а также от выбора антифрикционного материала дейдвудных подшипников. Так диаметр гребного вала с учетом облицовочной втулки, которая располагается в зоне контакта с подшипником может достигать до 800 мм. Для изготовления облицовочных втулок используется бронза или нержавеющая сталь [5]. В качестве антифрикционных материалов для дейдвудных подшипников в настоящее время используют баббит, бакаут, капролон, резина, zedex ZX-100K.

При действии знакопеременных нагрузок со стороны гребного винта появляются поперечные колебания всего валопровода [5,12]. Явление резонанса при поперечных колебаниях судового валопровода возникает, когда частота внешнего возбуждения приближается к собственной частоте колебаний самого валопровода. Это явление характеризуется значительным увеличением амплитуд колебаний и неустойчивым

состоянием всей системы, что может приводить к серьезным повреждениям и авариям элементов и узлов пропульсивного комплекса судна.

Как правило, конструкция валопровода (как динамическая система) имеет свою собственную частоту поперечных колебаний, зависящую от конструктивных особенностей, геометрических размеров, материала и способа закрепления как самого валопровода, так и его вспомогательных элементов. Поэтому в процессе проектирования производят динамический расчет с целью определения численного значения собственной частоты и выполнения главного условия – полученная собственная частота должна на 20 % превышать частоты внешнего возбуждения [6,7].

Расчетная схема, используемая при расчете поперечных колебания валопровода, представляет собой балку, которая состоит из консольной части и одного пролета. То есть заданная расчетная схема рассматривает только кормовую часть. Существующие методы расчета используют для моделирования опорных подшипников: две шарнирные опоры; одна шарнирно-подвижная опора и заземленная опора, которая располагается на конце самой балки. К таким методам относится метод Бернулли [4]. Безусловно, каждый опорный подшипник имеет свои упругие (податливые) свойства, поэтому моделировать его в расчетной схеме шарнирной опорой является грубым приближением.

В шарнирно-подвижной опоре, перемещение точки в вертикальном направлении равно нулю и возникает одна вертикальная реакция опоры. Такая опора лишает опорное сечение одной степени свободы, то есть препятствует смещению в направлении опорной плоскости.

В шарнирно-неподвижной опоре перемещение в плоскости должны быть равными нулю, поэтому возникают две реакции (вертикальная и горизонтальная). Здесь также допускается поворот опорного сечения, но не допускает поступательного перемещения в самой опоре.

В связи с общим свойством, связанного в свободном повороте балки в точке опоры, указанные выше шарнирные опоры в расчетных схемах судового валопровода могут моделировать дейдвудные, промежуточные и упорные подшипники.

В заделке (заземленная опора) возникают три реакции: вертикальная и горизонтальная реакция, опорный (реактивный) момент M_B . В данном виде опорного устройства невозможны перемещения балки. Поэтому прогиб и угол поворота равен нулю.

Каждая принятая опора при расчете поперечных колебаний характеризуется своими граничными условиями. От правильного выбора граничных условий зависит точность результатов моделирования и надежность рассчитанного судового валопровода.

Исследование поперечных колебаний балки

В качестве оценки влияния граничных условий на значение собственной частоты поперечных колебаний с распределенными параметрами рассмотрим расчетную схему однопролетной балки (общей длиной L) с упругой опорой с коэффициентами жесткости k_1 , расположенной на левом конце, и опоры на другом конце в виде: заземленная опора (рис. 2 а); шарнирно-неподвижная опора (рис. 2 б); упругая опора в отношении поперечных смещений и поворотов опор с коэффициентами жесткости k_2 и k_3 соответственно (рис. 2 в).

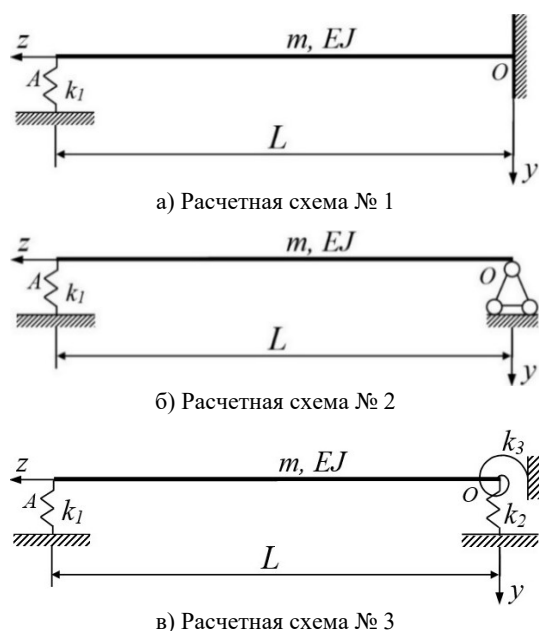


Рис. 2. Расчетные схемы балки

m – погонная масса балки; EJ – изгибная жесткость.

Как правило, однопролетная балка представляет собой одну из самых распространенных типов несущих конструкций. По сути, это стержень, который опирается на две точки (опоры). Такая балка испытывает изгибающие моменты и поперечные силы, и её конструкция рассчитывается таким образом, чтобы выдерживать заданные нагрузки. В рамках расчетов поперечных колебаний балки судового валопровода имеется ряд методов [4,6,7,11], где расчетная схема сводится именно к однопролетной балке на шарнирных опорах. Коэффициент жесткости упругой опоры представляет собой число, которое показывает, насколько «сильно» опора сопротивляется деформации от действия внешних нагрузок. Коэффициент жесткости измеряется в единицах силы на единицу деформации (Н/м). Чем выше значение коэффициента жесткости, тем меньше деформируется опора под действием заданной силы, то есть она более жёсткая. И наоборот, низкий коэффициент означает, что опора более податливая и легко поддаётся сжатию. Коэффициент жесткости также может характеризовать рабочее состояние опоры [3,7,10]: износ подшипника, не полный контакт с валом,

Для расчета поперечных колебаний балки с распределенными параметрами используется дифференциальное уравнение 4-го порядка. С помощью функций А.Н. Крылова общее решение дифференциального уравнения форм собственных поперечных колебаний (20) будет иметь вид [1,9]:

$$y(z) = y_0 K_1(\alpha z) + \frac{\varphi_0}{\alpha} K_2(\alpha z) + \frac{M_0}{\alpha^2 EJ} K_2(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EJ} K_2(\alpha z), \quad (1)$$

где: $K_1(\alpha z)$, $K_2(\alpha z)$, $K_3(\alpha z)$, $K_4(\alpha z)$ – функции Крылова А.Н.,

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{m\omega^2}{EJ}} \quad (2)$$

Уравнение (1) определяет форму изгибных колебаний балки по всей её длине. Используя метод начальных параметров [10] для расчета поперечных колебаний

балки произвольным постоянным уравнения придается конкретный геометрический и механический смысл: y_0 и φ_0 – это геометрические параметры; M_0 и Q_0 – механические параметры.

При расчете поперечных колебаний балки необходимо составить четыре условия, по два на каждом конце балки. Эти условия зависят от граничных условий балки. Все четыре условия дадут четыре однородных алгебраических уравнения (так как они не будут содержать свободных членов).

Поэтому для существования нетривиального (нулевого) решения этих уравнений, определитель системы должен быть равен нулю ($\Delta=0$). Частотное уравнение (опредетель системы Δ) поперечных колебаний балки описывает связь частоты собственных колебаний системы с её геометрическими и физическими параметрами. Оно является ключевым элементом для анализа динамического поведения исследуемой системы и помогает предсказывать их устойчивость и возникновение резонансного состояния.

Раскрытие определителя системы дает трансцендентное уравнение относительно параметра α , называемое частотным уравнением, корнями которого является бесчисленное множество значений α_n ($n=1,2,3,\dots$). Каждому корню α_n будет соответствовать своя собственная частота (2):

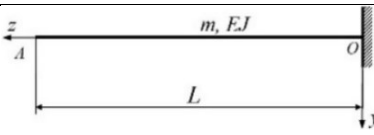
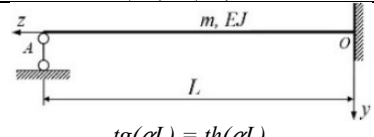
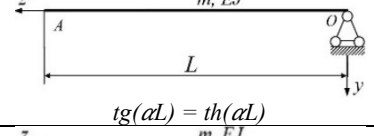
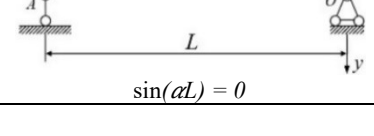
$$\omega = \alpha_n^2 \sqrt{\frac{EJ}{m}} \quad (3)$$

Важно отметить, что для многопролётной балки получить частотное уравнение в аналитической форме практически невозможно из-за сложности зависимостей элементов уравнения от особенностей пролётов и опор. Поэтому для решения такого рода задач используют численный метод.

При определенном значении коэффициента жесткости упругой опоры ($k_{min} = 0$ и $k_{max} = \infty$), получаем стандартные эквивалентные расчетные схемы выражения частотных уравнений и значение α даны в справочниках [1,2,8,11].

Таблица 1

Эквивалентные расчетные схемы

Исследуемая расчетная схема	Значение k , Н/м	Эквивалентная расчетная схема Частотное уравнение	Значение α при $L=1$ м
Рис. 2 а	0	 $\cos(\alpha L) \operatorname{ch}(\alpha L) = -1$	$\alpha^1 = 1,875;$ $\alpha^2 = 4,694; \dots;$ $\alpha^i = \frac{\pi}{4}(4i + 1)$
	∞	 $\operatorname{tg}(\alpha L) = \operatorname{th}(\alpha L)$	$\alpha^1 = 3,927;$ $\alpha^2 = 7,069; \dots;$ $\alpha^i = \frac{\pi}{2}(2i - 1)$
Рис. 2 б	0	 $\operatorname{tg}(\alpha L) = \operatorname{th}(\alpha L)$	$\alpha^1 = 0;$ $\alpha^2 = 3,927; \dots;$ $\alpha^i = \frac{\pi}{4}(4i - 3)$
	∞	 $\sin(\alpha L) = 0$	$\alpha^1 = 3,142;$ $\alpha^2 = 6,283; \dots;$ $\alpha^i = i\pi$

Составим частотное уравнение каждой расчетной схемы исследуемой однопролетной балки (рис. 2). Следует отметить, что при расчете поперечных колебаний судового валопровода достаточно найти первую наименьшую собственную частоту ω_1 .

Рассмотрим расчетную схему № 1 (рис. 2 а). Граничные условия на концах балки принимают вид [2]:

$$\begin{cases} y_{z=0} = 0; y'_{z=0} = 0 \\ y''_{z=L} = 0; EJy'''_{z=L} = -k_1 y \end{cases} \quad (4)$$

Уравнение (1) для данной расчетной схемы исходя (4) примет вид:

$$y(z) = \frac{M_0}{\alpha^2 EJ} \cdot K_3(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EJ} \cdot K_4(\alpha z) \quad (5)$$

Производные (5) относительно z примут следующие выражения:

$$\begin{cases} y'(z) = \frac{M_0}{\alpha EJ} \cdot K_2(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^2 EJ} \cdot K_3(\alpha z) \\ y''(z) = \frac{M_0}{EJ} \cdot K_1(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha EJ} \cdot K_2(\alpha z) \\ y'''(z) = \frac{\alpha M_0}{EJ} \cdot K_4(\alpha z) + \frac{Q_0}{EJ} \cdot K_1(\alpha z) \end{cases} \quad (6)$$

На основании (4) и (6) система уравнений исследуемой однопролетной балки представим как:

$$\begin{cases} \frac{M_0}{EJ} \cdot K_1(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha EJ} \cdot K_2(\alpha z) = 0 \\ \alpha M_0 \cdot K_4(\alpha z) + Q_0 \cdot K_1(\alpha z) = -k_1 \left(\frac{M_0}{\alpha^2 EJ} \cdot K_3(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EJ} \cdot K_4(\alpha z) \right) \end{cases} \quad (7)$$

Полученную систему уравнений (7) преобразуем в однородную:

$$\begin{cases} \frac{M_0}{EJ} \cdot K_1(\alpha L) + \frac{Q_0}{\alpha EJ} \cdot K_2(\alpha L) = 0 \\ M_0 \left(\alpha K_4(\alpha L) + k_1 \frac{K_3(\alpha L)}{\alpha^2 EJ} \right) + Q_0 \left(K_1(\alpha L) + k_1 \frac{K_4(\alpha L)}{\alpha^3 EJ} \right) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Частотное уравнение расчетной схемы № 1 будет иметь следующее выражение:

$$\Delta_1 = \frac{K_1(\alpha L)}{EJ} \left(K_1(\alpha L) + k_1 \frac{K_4(\alpha L)}{\alpha^3 EJ} \right) - \frac{K_2(\alpha L)}{EJ} \left(K_4(\alpha L) + k_1 \frac{K_3(\alpha L)}{\alpha^3 EJ} \right) = 0 \quad (9)$$

Преобразуем полученное выражение (9):

$$\Delta_1 = K_1(\alpha L) \left(K_1(\alpha L) + k_1 \frac{K_4(\alpha L)}{\alpha^3 EJ} \right) - K_2(\alpha L) \left(K_4(\alpha L) + k_1 \frac{K_3(\alpha L)}{\alpha^3 EJ} \right) = 0 \quad (10)$$

Рассмотрим расчетную схему № 2 (рис. 2 б). Граничные условия принимают вид:

$$\begin{cases} y_{z=0} = 0; y''_{z=0} = 0 \\ y''_{z=L} = 0; EJy'''_{z=L} = -k_1y \end{cases} \quad (11)$$

Уравнение (1) для данной расчетной схемы исходя (11) примет вид:

$$y(z) = \frac{\phi_0}{\alpha} \cdot K_2(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} \cdot K_4(\alpha z) \quad (12)$$

Производные (12) относительно z примут следующие выражения:

$$\begin{cases} y(z) = \frac{\phi_0}{\alpha} \cdot K_2(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} \cdot K_4(\alpha z) \\ y'(z) = \phi_0 \cdot K_1(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^2 EI} \cdot K_3(\alpha z) \\ y''(z) = \alpha \phi_0 \cdot K_4(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha EI} \cdot K_2(\alpha z) \\ y'''(z) = \alpha^2 \phi_0 \cdot K_3(\alpha z) + \frac{Q_0}{EI} \cdot K_1(\alpha z) \end{cases} \quad (13)$$

На основании (11) и (13) система однородных уравнений исследуемой однопролетной балки представим как:

$$\begin{cases} \alpha \phi_0 \cdot K_4(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha EI} \cdot K_2(\alpha z) = 0 \\ \phi_0 \left(\alpha^2 \cdot EI \cdot K_3(\alpha z) - k_1 \frac{K_2(\alpha z)}{\alpha} \right) + Q_0 \left(K_1(\alpha z) - k_1 \frac{K_4(\alpha z)}{\alpha^3 EI} \right) = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Коэффициент жесткости упругой опоры в расчетной схеме существенно влияет на значение собственной частоты (3). На основании проводимых расчетов в работе [2] изменение собственной частоты при уменьшении собственной частоты носит нелинейный характер.

Частотное уравнение балки уже расчетной схемы № 2 примет следующий вид:

$$\Delta_2 = K_4(\alpha L) \cdot \left(\alpha K_1(\alpha L) - k_1 \frac{K_4(\alpha L)}{\alpha^2 EI} \right) - K_2(\alpha L) \cdot \left(\alpha K_3(\alpha L) - k_1 \frac{K_2(\alpha L)}{\alpha^2 EI} \right) = 0 \quad (15)$$

Рассмотрим заключительную расчетную схему № 3 (рис. 2 в). Граничные условия расчетной схемы балки с учетом упругих свойств принимают вид:

$$\begin{cases} k_2 y_{z=0} = EJy'''_{z=0}; k_3 y'_{z=0} = -EJy''_{z=0} \\ y''_{z=L} = 0; EJy'''_{z=L} = -k_1 y \end{cases} \quad (16)$$

Принимая во внимание вышеприведенный алгоритм расчета однопролетной балки, частотное уравнение для данной расчетной схемы имеет вид:

$$\Delta_3 = \left(\alpha^2 K_3(\alpha L) + \frac{k_2 K_2(\alpha L)}{\alpha EJ} \right) \left(EJ \alpha^2 K_3(\alpha L) + \alpha k_3 K_4(\alpha L) - \frac{k_1 K_2(\alpha L)}{\alpha} - \frac{k_1 k_2 K_3(\alpha L)}{\alpha^2 EJ} \right) - \left(\alpha K_4(\alpha L) + \frac{k_3 K_1(\alpha L)}{EJ} \right) \left(EJ \alpha^3 K_2(\alpha L) + k_2 K_1(\alpha L) - k_1 K_1(\alpha L) - \frac{k_1 k_2 K_4(\alpha L)}{\alpha^3 EJ} \right) \quad (17)$$

Полученное частотное уравнение зависит не только от параметров и материала балки (рис. 2 в), но и от упругих свойств принятых в расчетной схеме опор.

Динамический расчет гребного вала

В качестве примера рассмотрим балку (рис. 2, в) общей длиной $L = 1,0$ м и диаметром $d = 0,15$ м. Значение коэффициента жесткости k_l упругой опоры, расположенной на левом конце (т. А), на первоначальном исследовании принимаем равной $1 \cdot 10^{11}$ Н/м. Рассмотрим отношение коэффициентов жесткости упругой опоры правом конце (в т. О) при поперечном смещении и поворота: $k_2 = k_3$; $k_2 = 10 \cdot k_3$; $k_2 = 100 \cdot k_3$. Коэффициенты жесткости опоры в точке О зависят от антифрикционного материала носового дейдвудного подшипника или общей жесткости промежуточного подшипника, а также участка валопровода после кормовой части (длина пролет, диаметр вала и пр.). То есть характеристики упругого крепления в горизонтальной и вертикальной плоскостях различны, что соответствует условиям работы судового валопровода.

Так в работе [4] при исследовании укладки гребных валов на дейдвудных опорах в статических расчетах принимались значения коэффициента податливости антифрикционных материалов: для баббита $A = 0,2 \cdot 10^{-8}$ м/Н, для капролона – $A = 0,4 \cdot 10^{-8}$ м/Н, для резины – $A = 0,6 \cdot 10^{-8}$ м/Н. Коэффициент жесткости связан с коэффициентом податливости уравнением:

$$k = \frac{1}{A}, \quad (18)$$

он будет иметь значения, соответственно: баббит – $k = 5 \cdot 10^8$ Н/м, капролон – $k = 2,5 \cdot 10^8$ Н/м, резина – $k = 1,7 \cdot 10^8$ Н/м.

В работе [3] при моделировании резино-эбонитовых планок дейдвудного подшипника в виде упругих опор в расчетной схеме принималось значение коэффициента жесткости $k = 230$ МН/м ($2,30 \cdot 10^8$ Н/м). С уменьшением значения коэффициента жесткости до $k = 130$ МН/м ($1,30 \cdot 10^8$ Н/м) упругое основание моделируют материалом втулок дейдвудных подшипников, изготовленных из чистой резины.

При определении коэффициента жесткости дейдвудного подшипника промышленного судна проекта № 1375 в работе [10] были получены следующие значения: бакаут – $k = 3,14 \cdot 10^9$ Н/м, капролон – $k = 3,77 \cdot 10^9$ Н/м, резина – $k = 1,13 \cdot 10^8$ Н/м.

На рисунке 3 представлен график изменение собственной частоты ω балки относительного коэффициента жесткости упругой опоры в точке О.

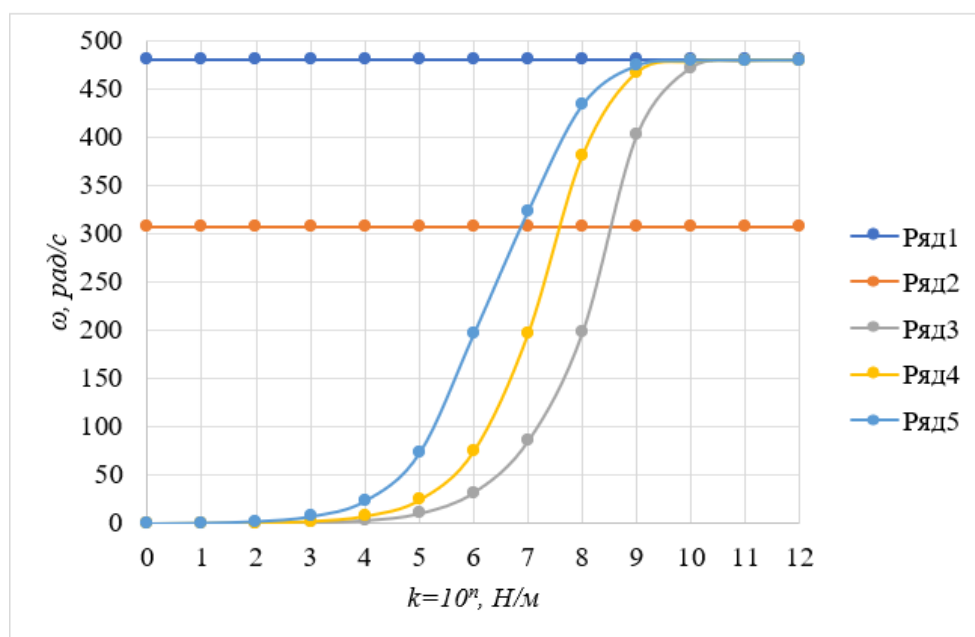


Рис. 3. График изменения собственной частоты ω относительно коэффициента жесткости k_2
 Ряд 1 – рисунок 2 а; Ряд 2 – рисунок 2 б; Ряд 3– рисунок 2 в, $k_3 = k_2$;
 Ряд 4 – рисунок 2 в, $k_3 = 10 \cdot k_2$; Ряд 5 – рисунок 2 в, $k_3 = 100 \cdot k_2$.

Как видно из графика при повышенных значениях коэффициента жесткости k_2 и $k_3 (> 1 \cdot 10^{10} \text{ Н/м})$ значение собственной частоты стремится к собственной частоте балки при защемленной опоре. При уменьшении коэффициента жесткости значение собственной частоты балки стремится к частоте, когда в расчетной схеме балки на правом конце расположена шарнирная опора. Поэтом при значении коэффициента жесткости более $k = 1 \cdot 10^8 \text{ Н/м}$, на основании данных в работах [3,4,10], при расчете балки достаточно использовать шарнирно-неподвижную опору, что позволит упростить алгоритм расчета, не понижая точность полученных результатов расчетов.

Заключение

В данной работе дана сравнительная оценка влияния податливости кормового дейдвудного подшипника на динамическую устойчивость всего судового валопровода при расчете поперечных колебаний. Упругие свойства существенно влияют на собственную частоту балки. График изменения собственной частоты относительно принятых граничных условий балки, характеризующих всю валовую линию валопровода, носит нелинейный характер.

Полученные результаты исследования влияния граничных условий на значение собственной частоты в работе будут использованы при проектировании и модернизации содового валопровода и его вспомогательных механизмов и узлов. Особенно при проведении динамических расчетов, в которые входят расчеты на поперечные, крутильные и продольные колебания.

Список литературы

1. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
2. Вибрации в технике: Справочник: В 6-ти т. Т. 1: Колебания линейных систем / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред., гл. ред.) [и др.]. -Москва: Машиностроение, - 1978. - 352 с.

3. Кельзон А.С. Оптимизация укладки судовых валопроводов / А.С. Кельзон, Н.В. Январев, В.Г. Мурамович // Судостроение, № 5 1993 г. – С. 15-16.
4. Комаров В.В. Состояние укладки гребных валов на дейдвудных опорах // Вестник АГТУ, серия «Морская техника и технология». – 2006. – №2 (31) – С. 259-267.
5. Матвеев Ю.А. Особенности напрессовки облицовок гребных валов / Ю.И. Матвеев, В.А. Орехов, М.Ю. Храмов, А.В. Орехов // Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп. – 2019. – № (60). – С. 232-237.
6. Минасян М.А. Колебания валопроводов судовых дизельных установок: Учеб. пособие / М.А. Минасян. – СПб.: Изд.центр СПбГМТУ, 2006. – 109 с.
7. Миронов А.И. Влияние дейдвудных подшипников на колебания валопроводов судов / А.И. Миронов, Л.М. Денисова // Вестник ГТУ. – 2004. – № 1 (20) – С. 125-130.
8. Биргер, И.А. Прочность. Устойчивость. Колебания. Справочник. В 3-х тт. Том 3 / И.А. Биргер, Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – 567 с.
9. Хазанов, Х.С. Современные методы исследования колебаний механических систем: Учебное пособие, издание второе / Х.С. Хазанов. – Самара: Самарский аэрокосмический университет, 1995. – 78 с.
10. Халявкин А.А. Влияние материала дейдвудных подшипников на частоту поперечных колебаний судового валопровода / А. А. Халявкин, Д. В. Лошадин, А. Я. Ауслендер, В. А. Мамонтов, Д. О. Шацков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2018. № 4. С. 24–30. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-4-24-30.
11. Халявкин, А.А. Определение собственной частоты поперечных колебаний балки с распределенными параметрами: учебно-методическое пособие / А.А. Халявкин, В.А. Мамонтов, Д.О. Шацков, В.А. Гордон, Саламех Али, А.Я. Ауслендер – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2023. – 48 с.
12. Халявкин, А.А. Влияние действия случайных нагрузок на срок службы резинометаллических дейдвудных подшипников / А.А. Халявкин, А.Р. Санжапов, А.Р. Наумчик, А.А. Денисов // Морской вестник – 2025 – № 3(95) – С. 70-72.

References

1. Biderman, V.L. Teoriya mexanicheskix kolebanij. [Theory of mechanical vibrations] M.: Vysshaya shkola, 1980. 408 p. (In Russ)
2. V.N. Chelomej (pred., gl. red.) Vibracii v tekhnike: Spravochnik: V 6-ti t. T. 1: Kolebaniya linejny'x sistem. [Vibrations in Engineering: Handbook: In 6 volumes. Vol. 1: Oscillations of Linear Systems] Moskva: Mashinostroenie, 1978. 352 p. (In Russ)
3. Kel'zon A.S., Yanvarev N.V., Muramovich V.G. Optimizaciya ukladki sudovy'x valoprovodov [Optimization of ship shaft lines] Sudostroenie, № 5 1993 г. pp. 15-16. (In Russ)
4. Komarov V.V. Sostoyanie ukladki grebny'x valov na dejdvudny'x oporax [Condition of the propeller shafts on the shaft bearings] Vestnik AGTU, seriya «Morskaya tekhnika i tekhnologiya». 2006. №2 (31) pp. 259-267. (In Russ)
5. Matveev Yu.A., Orexvo V.A., Xramov M.Yu., Orexvo A.V. Osobennosti napressovki obliczovok grebny'x valov [Features of pressing the propeller shaft linings] Scientific problems of water transport. 2019. № (60). pp. 232-237. (In Russ)
6. Minasyan M.A. Kolebaniya valoprovodov sudovy'x dizel'ny'x ustanovok: Ucheb. posobie [Vibrations of Ship Diesel Engines: A Textbook] SPb.: Izd.centr SPbGMTU, 2006. 109 p. (In Russ)
7. Mironov A.I., Denisova L.M. Vliyanie dejdvudny'x podshipnikov na kolebaniya valoprovodov sudov [The effect of shaft bearings on ship shaft vibrations] Vestnik GTU. 2004. № 1 (20) pp.125-130. (In Russ)
8. Birger I.A., Panovko Ya.G. Prochnost'. Ustojchivost'. Kolebaniya. Spravochnik. V 3-x tt. Tom 3 [Stability. Oscillations. Handbook. In 3 volumes. Volume 3] M.: Mashinostroenie. 1968. 567 p. (In Russ)
9. Hazanov, X.S. Sovremennyy'e metody issledovaniya kolebanij mexanicheskix sistem: Uchebnoe posobie, izdanie vtoroe [Modern Methods of Studying Oscillations of Mechanical Systems: Textbook, Second Edition] Samara: Samarskij aërokozmodicheskij universitet. 1995. 78 p. (In Russ)

10. Xalyavkin A.A., Loshadkin D. V., Auslender A. Ya., Mamontov V. A., Shaczkov D. O. Vliyanie materiala dejdvdny'x podshipnikov na chastotu poperechny'x kolebanij sudovogo valoprovoda [Influence of the material of the journal bearings on the frequency of lateral vibrations of the ship's shaft line] Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2018. № 4. pp.24–30. (In Russ)
11. Xalyavkin A.A., Mamontov V.A., Shaczkov D.O., Gordon V.A., Salamex Ali, Auslender A.Ya. Opredelenie sobstvennoj chastoty' poperechny'x kolebanij balki s raspredelenny'mi parametrami: uchebno-metodicheskoe posobie [Determining the natural frequency of transverse vibrations of a beam with distributed parameters: a teaching aid] Astraxan': Izdatel': Sorokin Roman Vasil'evich, 2023. 48 p. (In Russ)
12. Xalyavkin, A.A., Sanzhapov A.R., Naumchik A.R., Denisov A.A. Vliyanie dejstviya sluchajny'x nagruzok na srok sluzhby' rezinometallicheskix dejdvdny'x podshipnikov [The effect of random loads on the service life of rubber-metal tail-shaft bearings] Morskoy vestnik. 2025. № 3(95). pp. 70-72. (In Russ)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Халыавкин Алексей Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Судомеханические дисциплины» Каспийского института морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 414000, г. Астрахань, ул. Никольская, sopromat112@mail.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 Volga State University of Water Transport, 414000, Astrakhan, Nikolskaya St., 6, sopromat112@mail.ru

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

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

Васин Владислав Юрьевич, аспирант кафедры судовых энергетических установок «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, sopromat112@mail.ru

Vladislav Y. Vasin, Postgraduate student of the Department of Marine Power Plants, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e–mail: sopromat112@mail.ru

Головань Данил Андреевич, аспирант кафедры судовых энергетических установок «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, sopromat112@mail.ru

Danil A. Golovan, Postgraduate student of the Department of Marine Power Plants, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e–mail: sopromat112@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.04.2026; принята к публикации 18.05.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 07.04.2026; published online 20.06.2026.

ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА ТРАНСПОРТЕ

ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT

УДК 378.1

DOI: 10.37890/jwt.vi87.699

Реализация цифровых решений при подготовке береговых специалистов транспортного комплекса на основе экосистемного подхода

М.И. Классовская

ORCID: 0000-0003-0625-2471

А.Ю. Ботнарчук

ORCID: 0009-0007-3316-3841

*Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова,
г. Новороссийск, Россия*

Аннотация. Настоящее исследование посвящено вопросам актуальности и возможности применения цифровых решений в транспортном образовании. Выявлены передовые информационные технологии и преимущества их внедрения в транспортно-логистический сектор. Установлено, что инновации в сфере логистики и транспортного образования повысят эффективность работы транспортного комплекса. Определена сущность цифровизации и экосистемы в сфере образования. Сделан вывод о том, что внедрение цифровых технологий в образовательный процесс должно осуществляться с учетом мнений ключевых работодателей транспортно-логистического сектора. Проанализирована специфика геймификации и VR/AR-технологий, а также перспективы их использования в процессе подготовки береговых специалистов транспортного комплекса. Установлено, что внедрение таких решений позволит сделать прохождение учебной и производственной практик более понятными и информативными для студентов. Рассмотрены особенности использования вышеуказанных технологий в зависимости от уровня подготовки обучающегося. Сделан вывод о необходимости использования принципа сотворчества студентов, преподавателей и отраслевых работодателей при создании учебных модулей. Показана возможность и представлены экономические расчеты по внедрению геймификации и VR-технологий в образовательный процесс обучающихся по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

Ключевые слова: цифровизация, транспортное образование, береговые специалисты, геймификация, VR/AR-технологии, экосистема образования, сотворчество.

Implementation of digital solutions in the training of onshore transport specialists based on ecosystem approach

Maria I. Klassovskaya

ORCID: 0000-0003-0625-2471

Alisa Yu. Botnaruyk

ORCID: 0009-0007-3316-3841

Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia

Abstract. This study examines the relevance and feasibility of digital solutions in transport education. Advanced information technologies and advantages of their implementation in transport and logistics sector are identified. It's established that innovations in logistics and

transport education will improve the efficiency of transport sector. The essence of digitalization and ecosystem in education are defined. It's concluded that the integration of digital technologies into the educational process should be carried out taking into account the opinions of key employers in transport and logistics sector. The specifics of gamification and VR/AR-technologies are analyzed, as well as the prospects for their use in training onshore specialists in transport sector. It's established that the implementation of such solutions will make educational and industrial internships more understandable and informative for students. The specifics of using the above technologies depending on the level of training of student are considered. It's concluded that the principle of co-creation between students, teachers, and industry employers is necessary when developing training modules. The possibility is demonstrated and economic calculations are presented for implementation of gamification and VR technologies in teaching students in the field of training 23.03.01 «Technology of transport processes».

Keywords: digitalization, transport education, shore specialists, gamification, VR/AR-technologies, educational ecosystem, co-creation.

Введение

Если несколько лет назад глобальная цифровизация была одним из самых популярных направлений совершенствования деятельности и предпосылкой для перехода на новый уровень развития, в первую очередь, в сферах промышленности и предпринимательства, то в настоящее время она внедряется повсеместно. Внедрение цифровых технологий в промышленный сектор обладает следующими преимуществами [1]: повышение автономности производственных систем, замещение материальных производственных активов виртуальными, что снижает издержки, рост комфорта для потребителей и доступности информации на всех этапах цепочки создания ценности, что усиливает уровень интеграции, снижение ущерба для экологии.

Яркими примерами цифровизации можно назвать появление электронных кошельков, использование электронного документооборота, выход продавцов на маркетплейсы и открытие собственных интернет-магазинов, предоставление онлайн-услуг и консультаций и т.п. В логистической деятельности – это покупка электронных билетов, оплата проезда при помощи банковской карты, технологии NFC или QR-кода, отслеживание местоположения грузов и транспортных средств с помощью приложений, сайтов компании-перевозчика и иных сервисов. Одним из перспективных направлений внедрения цифровых технологий в транспортно-логистический сектор является машинное обучение для осуществления портовой деятельности, внутрипортовой логистики и поиска бедствующих кораблей [2].

Под влиянием пандемии коронавирусной инфекции COVID-19 произошел вынужденный переход большинства предприятий на дистанционный формат работы и учебы, что впоследствии привело к резкому росту уровня цифровизации. В сложившихся обстоятельствах образовательные учреждения всех уровней образования были вынуждены в сжатые сроки внедрить в процесс обучения цифровые технологии, которые позволили обучающимся получать необходимые знания в достаточном объеме как при самостоятельном изучении, так и при работе совместно с учителями и преподавателями. Данное событие продемонстрировало эффективность и значимость применения цифровых технологий в области образования, что послужило одной из причин их дальнейшего изучения и последующего внедрения непосредственно в учебные заведения.

При этом отметим, что сегодня большую популярность приобрели онлайн-школы, вебинары, а также все чаще в процессе получения знаний и необходимых для работы навыков стали применяться различные тренажеры, технологии виртуальной реальности и другие информационные технологии в целях более углубленного изучения дисциплин. Стоит уделить особое внимание тому факту, что подобные

новшества начали использоваться в направлениях подготовки, которые не требуют обязательного наличия дополнительного оборудования. Примером являются факультеты, связанные с логистической деятельностью (береговые специальности), ориентированные, по большей части, на работу в офисе с документами, клиентами и др.

Цифровая трансформация экономики требует не только внедрения инновационных решений в образовательный процесс, но и рост непосредственно квалификации будущих специалистов, способных использовать новые информационные технологии. Поэтому российскому государству как институту необходимо уделить гораздо большее внимание формированию человеческого капитала в условиях роста спроса на более квалифицированный труд и рабочую силу высокой квалификации, особенно в отраслях, основанных на знаниях STEM (Science, Technologies, Engineering and Mathematics) [3], к которым можно отнести и сферу логистики. Также необходимо учитывать территориальный фактор: регионы с большим валовым региональным продуктом на душу населения, как правило, обладают более развитой инфраструктурой, высоким уровнем образования и доступным человеческим капиталом, что способствует инвестициям в новые технологии [4].

Таким образом, можно утверждать, что выбранная тема исследования является не только актуальной с теоретической точки зрения, но и востребованной на практике, т.к. подготовка кадров для транспортной отрасли является основой кадрового и инновационного развития транспортной системы Российской Федерации [5].

Методы

В процессе написания публикации были применены системно-структурный и сравнительно-аналитический методы, метод группировки и классификации. Цель настоящей статьи состоит в изучении ключевых аспектов и возможности практической реализации цифровых технологий в образовательный процесс учебного заведения.

Как было отмечено ранее, цифровизация – это не только представление чего-либо исключительно в цифровом варианте, без материального носителя, но и цифровые технологии. Поэтому для наилучшего понимания сути этого понятия представим его определение, изучив различные мнения на этот счет. При этом необходимо учесть, что в настоящее время нет единого понимания данного термина, так как в зависимости от сферы, в которой проводится цифровизация, она приобретает те или иные дополнительные признаки, присущие выбранной области изучения.

По мнению Кудрявцевой Т.Ю. и Кожинной К.С., цифровизация – это применение цифровых технологий, а также оцифровка данных с целью трансформации существующих бизнес-процессов, бизнес-моделей и операций [6].

Набиева Н.Ю. рассматривает понятие цифровизации в широком и узком смыслах, отмечая, что в роли процесса – это создание нового способа хранения данных, их обработки и дальнейшего использования. Основным отличием между трактовками термина в двух смыслах является охватываемая область (в узком – это конкретное предприятие или бизнес-процесс, а в широком – сферы жизни населения [7]) и степень доступности для понимания информации, но вместе с тем оба определения предполагают в конечном счете получение эффективного решения.

Таким образом, можно сделать вывод, что цифровизация – это, несомненно, использование при осуществлении деятельности цифровых технологий информации, представленной в цифровом виде.

Однако цифровизация в образовании, как представлено в работе Москалюк В.С., подразумевает под собой внесение коррективов на рынке труда ввиду освоения обучающимися новых навыков и компетенций, что обуславливается иным подходом к процессу обучения, а также трансформацией роли педагога [8].

Киселева Е.А. и Царькова В.Б. дают следующее понимание цифровизации: это активное внедрение и применение цифровых технологий на всех уровнях, обусловленное образовательными целями [9]. Основой для данной тенденции является полный анализ существующих процессов с целью их дальнейшей трансформации, под которой понимается делегирование некоторых задач цифровым технологиям (машинным алгоритмам).

Результаты, обсуждение

Обобщив все вышеизложенное, можно сделать вывод, что цифровизация в образовании подразумевает не только применение цифровых технологий и оцифрованной информации, но и перенос определенного ряда задач с преподавателя на современные технологии, что усилит компетенции обучающихся по владению навыками и расширит спектр знаний, получаемых в ходе обучения с учетом специфики конкретной области.

В России высшие учебные заведения должны отвечать многочисленным требованиям и последним тенденциям не только в образовании. К необходимым условиям, которые обеспечивают университеты, относятся не только цифровизация и новое технологическое оборудование, но также и поддержание взаимосвязей с компаниями-работодателями, возможность реализации потенциала студентов в научной, спортивной и других сферах деятельности, что помогает им формировать и осваивать новые навыки и компетенции. Инновации зачастую являются результатом совместных усилий предприятий и образовательных организаций, что позволяет первым получать доступ к передовым знаниям и технологиям, а последним – финансирование и практическое применение для своих разработок [10].

Потребность в создании вышеперечисленных условий влечет за собой замену существующих подходов и устоявшихся моделей на новые, которые будут более ориентированы на интеграцию цифровых технологий в процесс обучения и активное сотрудничество с бизнес-средой, что также позволит высшим учебным заведениям быть конкурентоспособными экономическими субъектами. Стоит учитывать, что в случае несоответствия программ учебных заведений требованиям компаний-работодателей и отсутствия необходимых навыков, при приеме молодых специалистов на работу предприятия вынуждены решать серьезную проблему переподготовки кадров [11].

Для выполнения всех требований, которые диктуют современные тенденции развития, перспективным видится применение экосистемного подхода, поскольку, как отмечают Изотова А.Г. и Гаврилюк Е.С., экосистема имеет комплексный характер и обладает уникальным качеством – возможностью самостоятельно меняться и развиваться в рамках приспособления к динамичным условиям внешней среды [12]. Отличительные признаки экосистемы включают комплексность, саморазвитие, самоорганизацию и отсутствие четко выраженной иерархии. Вместе с тем, необходимо отметить, что все перечисленные выше признаки могут самостоятельно реализовываться. В этой связи, а также ввиду разделения составляющих единиц экосистемы на основные и дополнительные, формируется новая модель взаимодействия между элементами системы.

Хангельдиева И.Г. определяет экосистему в сфере образования как новую форму организации процесса обучения, являющуюся сосредоточением огромного множества возможностей [13]. Авторами предлагается следующее определение экосистемы в университете – это совокупность элементов системы (преподавателей, обучающихся, компаний-работодателей), которая способна самостоятельно выстраивать взаимовыгодные взаимосвязи между участниками, развиваться и организовываться с целью получения новых возможностей для приобретения студентами необходимых навыков в достаточном количестве и надлежащем качестве.

Опираясь на вышесказанное, авторы видят актуальную потребность в использовании цифровых решений в сфере образования, в роли которых могут выступить геймификация, технологии VR (виртуальной реальности) и AR (дополненной реальности). Геймификация, по мнению Коростелевой Е.А. и Петунина Я. Ю., представляет собой инновационную технологию, которая подразумевает построение образовательного процесса на основе компьютерных игр, однако акцент делается именно на получение знаний в так называемой «игровой оболочке» [14]. Также в работе отмечается, что внедрение данного подхода, безусловно, основывается на традиционных принципах, а именно индивидуализации, дифференциации и принципе деятельностного подхода. Вместе с тем, важно отметить и наличие принципов, присущих конкретно данному способу обучения (рис. 1).



Рис. 1. Индивидуальные принципы организации процесса обучения с применением геймификации (составлено по [14])

Проанализировав принципы, представленные на рисунке 1, можно сделать вывод, что в совокупности они обеспечивают комплексный подход к постановке, выполнению, восприятию и оценке результата. В процессе работы студенты могут коммуницировать с преподавателем, давая таким образом обратную связь, а именно свои рекомендации по адаптации процесса геймификации, как индивидуально для себя, так и для других участников обучения. По мнению авторов настоящего исследования, особая эффективность геймификации должна достигаться за счет активного вовлечения обучающихся в процесс разработки и формирования учебных модулей. Такое сотворчество позволит не только повысить результативность овладения компетенциями, но и создаст предпосылки для перехода на новый уровень. Стоит отметить, что геймификация имеет и ряд недостатков, в качестве одного из которых называют увлеченность преподавателей игровой стороной вопроса, снижающую образовательный эффект [15].

Рассмотрим также и другие цифровые решения в образовании. По мнению Крылова Д.Е. виртуальная реальность – это созданное с помощью технических средств информационное пространство, которое заменяет привычную окружающую среду на искусственно созданную информационную [16].

Лапко Н.А. утверждает, что наиболее продвинутое VR-технологии обеспечивают участникам полное погружение в виртуальную реальность, в которой они могут взаимодействовать с окружающими их виртуальными объектами и общаться с

другими пользователями. В отличие от VR (виртуальной реальности), в AR (дополненной реальности) или, как указывается в [17], смешанной реальности люди могут взаимодействовать с виртуальными объектами, которые появляются в их окружении.

Технологии VR/AR делают процесс обучения для студентов намного интереснее и нагляднее. Поэтому многие преподаватели уже сейчас применяют их в своих дисциплинах, а в некоторых случаях для подобных занятий отводятся отдельные помещения.

Изучив научную литературу, авторы предлагают использование рассмотренных инструментов цифровизации образования при прохождении обучающимися высших учебных заведений учебной и производственной практик. В частности, применение такого подхода будет эффективно при подготовке береговых специальностей транспортного комплекса, а именно: офисных, складских и портовых работников.

После завершения первого курса для организации и проведения учебной практики предлагается использовать инструмент геймификации, который позволит студентам-«новичкам» ознакомиться с, непосредственно, самим рабочим процессом и его составляющими в игровом формате. Ввиду того, что первый год обучения, в основном, является вводным, как в саму профессию, так и, в принципе, в студенческую жизнь, применение такого подхода позволит обучающимся в интересном и более привычном для них формате познакомиться с транспортной отраслью по следующим направлениям:

- получение информации о портах, видах транспортных компаний (стивидорные, сюрвейерские и т.д.);
- сферы профессиональной деятельности (перегрузка, экспедирование и пр.);
- портовое оборудование, используемое при перегрузке;
- подбор транспортных средств в процессе организации доставки груза.

Помимо этого, технология геймификации позволит обучающимся узнать о деловом стиле общения и предоставит возможность практики коммуникации с потенциальным клиентом, что не только обусловит развитие навыков общения с незнакомыми людьми, но и заложит основу для составления деловых писем, а именно: логическое построение текста, правила приветствия и прощания. В результате студенты уже после первой практики смогут освоить набор клишированных фраз и навыков письменного общения как с потенциальными клиентами, так и с коллективом, в том числе с руководством.

Для студентов второго курса предлагается более углубленное изучение специфики работы транспортно-логистических компаний и инфраструктуры порта, а также ознакомление, заполнение и составление основной и сопроводительной транспортной документации. Применение VR/AR-технологий предоставит возможность полного погружения в осуществление транспортных процессов, что позволит студентам:

- увидеть портовое оборудование в действии;
- изучить практическую реализацию процесса перегрузки различных видов грузов по разным вариантам (прямому и непрямоу);
- ознакомиться со спецификой работы и, непосредственно, техникой, которая присуща конкретным производственным зонам (склад, железнодорожная станция, причал и т.д.);
- научиться подбирать и комбинировать транспортные средства и перегрузочное оборудование.

Для обучающихся третьего курса задачи рекомендуется усложнять. Для прохождения практики студентам будет предложено самостоятельно организовать процесс доставки груза с оформлением соответствующей сопроводительной

документации и подбором портового оборудования для реализации погрузочно-разгрузочных процессов, а также определение наиболее оптимальных маршрутов доставки, расчет стоимости транспортировки, выбор транспортных средств и формирование нескольких вариантов доставки с учетом определенных критериев. Для выполнения поставленных задач авторами предлагается использование геймификации совместно с VR/AR-технологиями, что обеспечит наиболее эффективное усвоение информации и, в дальнейшем, подготовку квалифицированных кадров береговых специальностей.

Необходимо отметить, что использование геймификации или VR/AR-технологий сильно зависит от направления подготовки и может отличаться при прохождении практики на третьем курсе студентами, которые в дальнейшем будут работать в офисе и в порту. На рис. 2 представлена концептуальная модель организации прохождения практики на разных годах обучения.

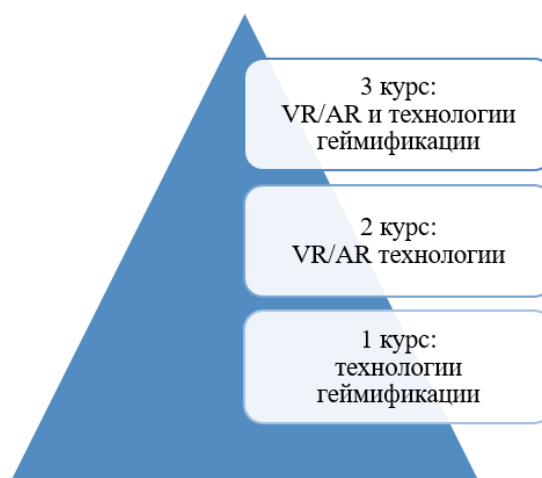


Рис. 2. Интеграция цифровых технологий в процесс образования студентов береговых транспортных специальностей (составлено авторами)

Вместе с тем, необходимо отметить, что успешная реализация внедрения технологий в образовательный процесс возможна только при условии обеспечения участия и тесной коммуникации преподавателей, студентов и представителей транспортно-логистических компаний для создания наиболее актуальной и полной системы, которая включала бы всю необходимую информацию, а также удобный и понятный интерфейс (рис. 3).

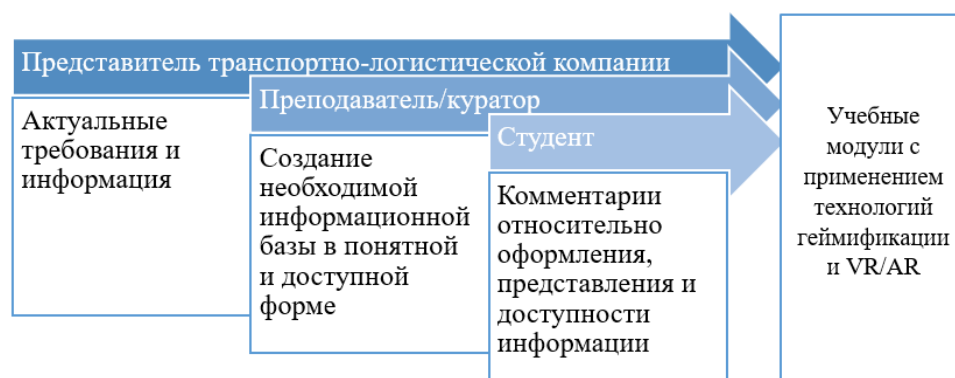


Рис. 3. Процесс создания учебных модулей (составлено авторами)

Таким образом, можно сделать вывод о том, что студентам необходимо принимать активное участие в создании учебных модулей вместе с преподавателями и будущими работодателями, что требует реализации технологии геймификации на основе принципа сотворчества.

Рассмотрим возможность внедрения информационных технологий в образовательный процесс с позиции их стоимости и сложности организационно-методического обеспечения.

Процесс внедрения геймификации в обучение, включает следующие этапы [18]:

- определение цели и постановка задач;
- подготовка теоретического материала для создания локаций и достижения наибольшей схожести с реальными условиями работы;
- сбор, анализ и дальнейшее применение рекомендаций будущих работодателей (представителей транспортно-логистических компаний);
- определение игровых ролей пользователей;
- определение процесса взаимодействия пользователя с игровыми элементами, выполнения поставленных задач;
- разработка игровой механики, интерфейса программы, дизайна элементов и общей картины представления;
- проверка программы на наличие ошибок и багов;
- тестирование игрового процесса;
- получение обратной связи от пользователей.

Принимая во внимание вышеизложенное, а также то, что геймификация образовательного процесса подразумевает получение знаний и достижение целей в игровом формате, по мнению авторов настоящей статьи, необходимо сделать акцент на применении узконаправленных игровых программ и платформ, учитывающих особенности береговых специальностей. Так, например, начать знакомство с морской спецификой можно с интерактивной карты порта, что позволит студентам изучить его районирование, расположение крупных контейнерных терминалов, а также спектр оказываемых услуг. Помимо сухопутной части, также к изучению будет предложена акватория порта (Marine Traffic – Ship Tracking – наблюдение за движением судов в режиме реального времени). Для изучения особенностей деятельности транспортных компаний студентам будет предложено ознакомление с теоретическими материалами, что позволит им на основе полученных знаний принять участие в образовательной игре, цель которой заключается в правильном соотношении услуг и различных видов компаний. Таким образом, обучающиеся в легком игровом формате имеют возможность не только запомнить основной вид деятельности каждой компании, но и понять их специфику.

Проведение занятий в игровой среде, в создании которой принимал участие представитель транспортно-логистической компании, позволит студентам ознакомиться с базовым портовым оборудованием и грузом, с которым они способны работать. Итогом занятия будет прохождение квеста, в ходе выполнения которого студенты смогут самостоятельно построить цепочки доставки и обработки груза внутри порта, что даст им возможность дополнительного самостоятельного изучения транспортного и перегрузочного оборудования.

В процессе прохождения практики студентам предлагается начислять баллы за успешное прохождение модулей/уроков, которые можно использовать для:

- составления рейтинговых таблиц;
- выявления сильных и слабых сторон в каждом модуле;
- оценки заинтересованности студентов в правильном выполнении заданий.

При этом следует отметить, что разработка такого рода программы может быть реализована в процессе проведения конкурса среди студентов старших курсов направления подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии». Обучающиеся в данном случае получают возможность не только демонстрации своих навыков в создании, реализации и представлении программы, согласно заданной теме конкурса, но и помощь в получении патента.

К дополнительным расходам будет относиться разработка программы или приложения с привлечением сторонних организаций. При этом практика показывает, что стоимость разработки образовательной игровой программы, созданной фрилансером, находится в пределах от 50 000 до 100 000 рублей (простые 2D-приложения). Разработка сложных приложений командой специалистов под ключ значительно дороже, причем, окончательная стоимость зависит от сложности и функционала приложения, его типа, дизайна и т.д. (таблица 1) [19].

Таблица 1

Расходы на создание приложения [19]

Тип приложения	Сроки исполнения	Стоимость работ
Простое	2,0-5,9 месяцев	1,5-2,9 млн. руб.
Среднее	6,0-8,9 месяцев	3,0-9,9 млн. руб.
Сложное	от 9,0 месяцев	от 10,0 млн. руб.

Для использования VR-технологий необходим сценарий, который разрабатывается при помощи методов 3D-моделирования [20] в программной среде, например, Blender 3D. Рассмотрим практические аспекты внедрения данной технологии при изучении учебного модуля «Моделирование транспортных процессов», изучаемого на третьем курсе направления подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов». В этих целях рекомендуется разработать технологическую карту учебного модуля, содержащую цели и задачи дисциплины, сценарий для VR-пространства и его описание, техническое оснащение занятий [21]. В качестве объекта изучения предлагается выбрать 3D-модель грузового района морского порта, включающую модели причала и судна, контейнеров, грузов и грузозахватных приспособлений и рассмотреть процессы погрузочно-разгрузочных работ. Форма учебных занятий: лабораторные работы.

Дополнительные затраты на внедрение VR-технологий представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Расходы на внедрение VR-технологий в учебный модуль
«Моделирование транспортных процессов»**

Наименование	Цена, руб./ед.	Количество, ед.	Сумма, руб.
Редактор сцен, импорт форматов 3D. Сервер коллективной работы + 1 клиент. Академическая лицензия для 1 компьютера	150 000	1	150 000
Модуль импорта форматов CAD	30 000	1	30 000
Абонентское обслуживание на 1 год, включая техническую поддержку и обновление версий	300 000	1	300 000
Подготовка к работе с программной платформой, 1 группа до 5 человек, 6 академических часов, в т.ч. командировочные расходы	75 000	1	75 000
Приложение для возможности подключения и участия в сессии, организованной сервером коллективной работы, функционал VR.	30 000	15	450 000
Итого			1 005 000

Все расходы на внедрение VR-технологий в учебный модуль «Моделирование транспортных процессов» составят около 1 млн. руб. В целях реализации принципа сотворчества работодателям будет предложено принять участие в разработке сценария учебных занятий, в том числе привлечь специалистов в сфере планирования, организации и выполнения стивидорных работ, а также работников отдела информационных технологий.

Техническое оснащение учебных аудиторий должно включать специализированную мебель, набор демонстрационного оборудования (проектор, проекционный экран, ноутбук), компьютерную технику на 15-30 рабочих мест с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду учебного заведения.

Заключение

В транспортном образовании цифровые технологии, безусловно, оказывают благоприятное влияние на процесс обучения, освоение и понимание новой информации. Однако важно отметить, что наилучший результат при подготовке студентов береговых специальностей достигается не просто за счет применения геймификации и VR/AR технологий, а при условии совместной работы транспортно-логистических компаний, преподавателей и студентов над созданием учебных модулей в режиме активного сотворчества в рамках экосистемного подхода. Продуктом такого взаимодействия будет доступный для понимания объем информации, который позволит обучающимся сформировать базу знаний, отработать и закрепить полученные сведения о своей будущей профессии.

Список литературы

1. Стельмашенок Е.В., Стельмашенок В.Л. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 336-365. DOI 10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365.
2. Михов О.М., Шаталова Н.В., Бородина О.В., Васильев Ю.И. Применение технологий машинного обучения для Drone Network в логистике и портовой деятельности России // *Морские интеллектуальные технологии*. 2021. № 4-1 (54). С. 149-157. DOI 10.37220/MIT.2021.54.4.046.
3. Акаев А.А., Десятоко Д.Н., Петряков А.А., Сарыгулов А.И. Региональное развитие и система образования в условиях цифровой трансформации // *Экономика региона*. 2020. Т. 16, № 4. С. 1031-1045. DOI 10.17059/ekon.reg.2020-4-2.
4. Коршунов И.А., Ширкова Н.Н., Назаров М.Г. Открытые вакансии и спрос на рабочую силу: региональный анализ и факторы влияния // *Экономика региона*. 2025. Т. 21, № 2. С. 364-379. DOI 10.17059/ekon.reg.2025-2-8.
5. Кузьмичев И.К., Крайнова В.В. Обеспечение качества транспортного образования: современные вызовы и перспективы // *Научные проблемы водного транспорта*. 2025. № 83. С. 124-137. DOI 10.37890/jwt.vi83.604.
6. Кудрявцева Т.Ю., Кожина К.С. Основные понятия цифровизации // *Вестник Академии знаний*. 2021. № 44 (3). С. 149-151. DOI 10.24412/2304-6139-2021-11228.
7. Набиева Н.Ю. Цифровизация: понятие и особенности // *Форум молодых ученых*. 2022. № 3 (67). С. 115-118.
8. Москалюк В.С. Понятие и сущность цифровизации системы образования // *Наука и образование сегодня*. 2019. № 10 (45). С. 15-18.
9. Киселева Е.А., Царькова В.Б. Опыт цифровой трансформации школы: от цифровизации в образовании к цифровизации образования // *Научные основы суверенного российского образования: человек в мире и мир в человеке: Материалы Международной научно-практической конференции и II Всероссийской научно-просветительской конференции с международным участием, Липецк, 27 апреля 2023 года. Липецк: Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2024. С. 105-110.*

10. Чеботарев В.С., Кузьмичев И.К. Инновационное развитие предприятий водного транспорта как отрасли высокотехнологичной промышленности // Научные проблемы водного транспорта. 2024. № 79. С. 190-200. DOI 10.37890/jwt.vi79.488.
11. Кудрявцева И.Ю. Дефицит кадров как основная угроза кадровой безопасности на предприятиях водного транспорта // Научные проблемы водного транспорта. 2024. № 81. С. 152-165. DOI 10.37890/jwt.vi81.541.
12. Изотова А.Г., Гаврилюк Е.С. Экосистемный подход как новый тренд развития высшего образования // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12, № 2. С. 1211-1226. DOI 10.18334/vines.12.2.114869.
13. Хангельдиева И.Г. Образовательные экосистемы – тренд развития современного российского образования в ближайшем будущем // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. 2022. Т. 20, № 1. С. 68-88. DOI 10.51314/2073-2635-2022-1-68-88.
14. Коростелева Е.А., Петунин Я.Ю. Геймификация как инструмент цифровизации образования // Наука и образование: актуальные психологические проблемы и опыт решения: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Саранск, 15-16 апреля 2021 года. Саранск: Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева, 2021. С. 21.
15. Бабурина О.Н., Ботнарюк М.В., Классовская М.И. Геймификация как методика использования элементов видеоигры в образовательном пространстве // Тенденции развития интернет и цифровой экономики: Труды VII Международной научно-практической конференции, Симферополь-Сатера (Алушта), 30 мая – 01 июня 2024 года. Симферополь: ИП Зуева, 2024. С. 4-7.
16. Крылов Д.Е. VR-технологии в образовании // Технопарк универсальных педагогических компетенций: материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 15 декабря 2023 года. Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский дом «Среда», 2023. С. 152-156.
17. Лапко Н.А. AR/VR технологии в образовании // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23-24 октября 2023 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. С. 194-198.
18. Быстрова Н.В., Бакулина Н.А., Гнездин А.В., Угарова А.В. Геймификация в современном образовательном процессе // Журнал прикладных исследований. – 2022. – Т. 5, № 6. – С. 416-425. – DOI 10.47576/2712-7516_2022_6_5_416.
19. Сколько стоит разработка мобильного приложения в 2025 году. – URL: <https://7winds.mobi/blog/skolko-stoit-razrabotka-mobilnogo-prilozheniya> (дата обращения 06.02.2025).
20. Guryeva A.A. The use of virtual reality technology in training transport industry specialists. SHS Web of Conferences, 2023, no 164, pp. 00046. DOI 10.1051/shsconf/202316400046.
21. Гурьева А.А. Технологии виртуальной реальности при подготовке специалистов транспортной отрасли // Современные вызовы транспортной отрасли: новые возможности: Материалы межвузовской научно-практической конференции транспортных вузов, Санкт-Петербург, 04-06 апреля 2023 года. Москва: Издательство «Перо», 2023. С. 389-394.

References

1. Stel'mashonok E.V., Stel'mashonok V.L. Tsifrovaya transformatsiya agropromyshlennogo kompleksa: analiz perspektiv [Digital transformation of the agro-industrial complex: an analysis of prospects], Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, Iss. 13, no 2, pp. 336—365. DOI 10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365 (In Russ).
2. Mikhov O.M., Shatalova N.V., Borodina O.V., Vasilev Yu.I. Primenenie tekhnologii mashinnogo obucheniya dlya Drone Network v logistike i portovoi deyatel'nosti Rossii [Application of machine learning technologies for Drone Network in logistics and port activities of Russia], Morskie intellektual'nye tekhnologii [Marine intellectual technologies], 2021, no 4-1 (54), pp. 149—157. DOI 10.37220/MIT.2021.54.4.046 (In Russ).
3. Akaev A.A., Desyatko D.N., Petryakov A.A. Sarygulov A.I. Regional'noe razvitie i sistema obrazovaniya v usloviyakh tsifrovoy transformatsii [Regional development and the education

- system in the context of digital transformation], *Ekonomika regiona* [Economy of region], 2020, Iss. 16, no 4, pp. 1031—1045. DOI 10.17059/ekon.reg.2020-4-2 (In Russ).
4. Korshunov I.A., Shirkova N.N., Nazarov M.G. Otkrytie vakansii i spros na rabochuyu silu: regional'nyi analiz i faktory vliyaniya [Vacancies and labour demand in Russia: regional patterns and key influencing factors], *Ekonomika regiona* [Economy of region], 2025, Iss. 21, no 2, pp. 364—379. DOI 10.17059/ekon.reg.2025-2-8 (In Russ).
 5. Kuzmichev I.K., Krainova V.V. Obespechenie kachestva transportnogo obrazovaniya: sovremennye vyzovy i perspektivy [Ensuring the quality of transport education: modern challenges and prospects], *Nauchnye problemy vodnogo transporta* [Russian journal of water transport], 2025, Iss. 83, pp. 124—137. DOI 10.37890/jwt.vi83.604 (In Russ).
 6. Kudryavtseva T.Yu., Kozhina K.S. Osnovnye ponyatiya tsifrovizatsii [Basic concepts of digitalization], *Vestnik Akademii znaniy* [Bulletin of the Academy of knowledge], 2021, no 44 (3), pp. 149—151. DOI 10.24412/2304-6139-2021-11228 (In Russ).
 7. Nabieva N.Yu. Tsifrovizatsiya: ponyatie i osobennosti [Digitalization: concept and features], *Forum molodykh uchenykh* [Forum of young scientists], 2022, no 3 (67), pp. 115—118 (In Russ).
 8. Moskalyuk V.S. Ponyatie i sushchnost' tsifrovizatsii sistemy obrazovaniya [The concept and essence of digitalization of the education system], *Nauka i obrazovanie segodnya* [Science and education today], 2019, no 10 (45), pp. 15-18 (In Russ).
 9. Kiseleva E.A., Tsar'kova V.B. Experience of digital transformation of schools: from digitalization in education to digitalization of education. Scientific foundations of sovereign Russian education: man in the world and the world in man: Proceedings of the International scientific and practical conference and the II All-Russian scientific and educational conference with international participation, Lipetsk, April 27, 2023. Lipetsk: Lipetsk state pedagogical university named after P.P. Semenov-Tyan-Shansky, 2024, pp. 105—110 (In Russ).
 10. Chebotarev V.S., Kuzmichev I.K. Innovatsionnoe razvitie predpriyatii vodnogo transporta kak otrasli vysokotekhnologichnoi promyshlennosti [Innovative development of water transport enterprises as a branch of high-tech industry], *Nauchnye problemy vodnogo transporta* [Russian journal of water transport], 2024, no 79, pp. 190—200. DOI 10.37890/jwt.vi79.488 (In Russ).
 11. Kudryavtseva I.Yu. Defitsit kadrov kak osnovnaya ugroza kadrovoi bezopasnosti na predpriyatiyakh vodnogo transporta [Personnel shortage as the main threat to personnel security at water transport enterprises], *Nauchnye problemy vodnogo transporta* [Russian journal of water transport], 2024, no 81, pp. 152—165. DOI 10.37890/jwt.vi81.541 (In Russ).
 12. Izotova A.G., Gavriluk E.S. Ekhosistemnyi podkhod kak novyi trend razvitiya vysshego obrazovaniya [Ecosystem approach as a new trend in the development of higher education], *Voprosy innovatsionnoi ehkonomiki* [Russian journal of innovation economics], 2022, Iss. 12, no 2, pp. 1211—1226. DOI 10.18334/vinec.12.2.114869 (In Russ).
 13. Khangeldieva I.G. Obrazovatel'nye ehkosistemy — trendrazvitiya sovremennogo rossiiskogoobrazovaniya v blizhaishem budushchem [Educational ecosystems — a trend of development of modern Russian education in the near future], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 20: Pedagogicheskoe obrazovanie* [Moscow university Bulletin. Series 20: Pedagogical education], 2022, Iss. 20, no 1, pp. 68—88. DOI 10.51314/2073-2635-2022-1-68-88 (In Russ).
 14. Korosteleva E.A., Petunin Ya.Yu. Geimifikatsiya kak instrument tsifrovizatsii obrazovaniya [Gamification as a tool digitalization of education]. Science and education: current psychological problems and solutions: a collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference, Saransk, April 15-16, 2021. Saransk: Mordovian State Pedagogical University named after M.E. Evseviev, 2021, pp. 21 (In Russ).
 15. Baburina O.N., Botnaryuk M.V., Klassovskaya M.I. Gamification as a method of using video game elements in the educational space [Geimifikatsiya kak metodika ispol'zovaniya ehlementov videoigry v obrazovatel'nom prostranstve]. Trends in the development of the internet and the digital economy: Proceedings of the VII International scientific and practical conference, Simferopol-Satera (Alushta), May 30 — June 1, 2024. Simferopol: IP Zueva, 2024, pp. 4—7 (In Russ).

16. Krylov D.E. VR-tehnologii v obrazovanii [VR technologies in education]. Technopark of universal pedagogical competencies: Proceedings of the III All-Russian scientific and practical conference, Cheboksary, December 15, 2023. Cheboksary: Limited liability company «Publishing house» Sreda», 2023, pp. 152—156 (In Russ).
17. Lapko N.A. AR/VR tehnologii v obrazovanii [AR/VR technologies in education] Education. Science. Production: Proceedings of the XV International youth forum, Belgorod, October 23—24, 2023. Belgorod: V.G. Shukhov Belgorod state technological university, 2023, pp. 194—198 (In Russ).
18. Bystrova N.V., Bakulina N.A., Gnezdin A.V., Ugarova A.V. Gejmifikatsiya v sovremenno obrazovatel'nom processe [Gamification in the modern educational process], ZHurnal prikladnyh issledovaniy [Journal of Applied Research], 2022, Iss. 5, no 6, pp. 416—425. DOI 10.47576/2712-7516_2022_6_5_416 (In Russ).
19. Skol'ko stoit razrabotka mobil'nogo prilozheniya v 2025 godu [How much does it cost to develop a mobile application in 2025]. Available at: <https://7winds.mobi/blog/skolko-stoit-razrabotka-mobilnogo-prilozheniya> (accessed 06.02.2025).
20. Guryeva A.A. The use of virtual reality technology in training transport industry specialists. SHS Web of Conferences, 2023, no 164, pp. 00046. DOI 10.1051/shsconf/202316400046.
21. Guryeva A.A. Virtual reality technologies in the training of specialists in the transport industry // Modern challenges of the transport industry: new opportunities: Proceedings of the interuniversity scientific and practical conference of transport universities, St. Petersburg, April 4—6, 2023. Moscow: Pero Publishing House, 2023, pp. 389—394.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Классовская Мария Ивановна, старший преподаватель кафедры экономической теории, экономики и менеджмента, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93, e-mail: mariaklass@mail.ru

Maria I. Klassovskaya, senior lecturer of the economic theory, economics and management department, Admiral Ushakov Maritime State University, 93, Lenin's avenue, Novorossiysk, 353924, e-mail: mariaklass@mail.ru

Ботнарюк Алиса Юрьевна, студент кафедры технологии транспортных процессов и управления водным транспортом, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93, e-mail: alisa.botnaruyk@mail.ru

Alice Yu. Botnariuk, student of the technology of transport processes and management on water transport department, Admiral Ushakov Maritime State University, 93, Lenin's avenue, Novorossiysk, 353924, e-mail: alisa.botnaruyk@mail.ru

Статья поступила в редакцию 19.01.2026; принята к публикации 27.02.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 19.01.2026; published online 20.06.2026.

УДК 656.073:004.9

DOI: 10.37890/jwt.vi87.700

Анализ подходов к выбору цифровых инструментов для складской логистики производственно-транспортных комплексов Северного морского пути

В. Н. Костров¹

ORCID: 0000-0002-8703-6713

В. Н. Бутченко¹

Н.А. Барина¹

ORCID: 0009-0009-2378-6425

Д.Н. Сухарев²

ORCID: 0000-0002-8255-3017

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

²*АО «Русатом Оверсиз», г. Москва, Россия*

Аннотация. В работе исследованы особенности складской логистики производственно-транспортных комплексов Северного морского пути (СМП), функционирующих в экстремальных арктических условиях и выполняющих двойственную функцию: обеспечение непрерывности промышленного производства и перевалку грузов в качестве транспортно-логистических хабов. На основе анализа грузопотоков Арктического бассейна за 2025 год установлено доминирование портов Мурманск и Сабетта (83% совокупного грузооборота) и углеводородного сырья в структуре перевозок (83%). Выявлены ключевые арктические факторы, определяющие требования к цифровым инструментам: экстремальные климатические условия (температуры до -50°C), удаленность и логистическая изоляция, двойственная функция складов материально-технического обеспечения, повышенные требования к надежности и безопасности. Критический обзор существующих подходов к выбору цифровых решений — финансовых методов, многокритериальных моделей, риск-ориентированных подходов и отраслевых корпоративных методик — выявил их фрагментарность и отсутствие механизмов учета арктической специфики. Оценена применимость универсальной методологии цифровой трансформации складской логистики, установлены ее ограничения для условий СМП. Сформулированы требования к перспективной методике экономического обоснования выбора цифровых инструментов, включающие двухконтурную систему критериев (обязательные технологические требования и сравнительные экономические показатели), учет арктических рисков через количественную оценку надежности оборудования и корректировку ставки дисконтирования, прозрачный алгоритм сравнительной оценки, а также адаптацию общей методологии цифровой трансформации. Полученные результаты создают теоретическую основу для разработки прикладного инструментария, адаптированного к условиям Северного морского пути.

Ключевые слова: Северный морской путь, производственно-транспортный комплекс, складская логистика, цифровые технологии, арктические риски, цифровая трансформация, методика выбора, Арктика.

Analysis of approaches to the selection of digital tools for warehouse logistics of production and transport complexes of the Northern Sea Route

Vladimir N. Kostrov¹

ORCID: 0000-0002-8703-6713

Viktor N. Butchenko¹

Natalya A. Barinova¹

ORCID: 0009-0009-2378-6425

Dmitry N. Sukharev²

ORCID:0000-0002-8255-3017

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

²*Rusatom Overseas, Moscow, Russia*

Abstract. The paper examines the features of warehouse logistics of the production and transport complexes of the Northern Sea Route (NSR), operating in extreme Arctic conditions and performing a dual function: ensuring the continuity of industrial production and cargo transshipment as transport and logistics hubs. Based on the analysis of cargo flows in the Arctic basin for 2025, the dominance of the ports of Murmansk and Sabetta (83% of total cargo turnover) and hydrocarbons in the structure of transportation (83%) has been established. The key Arctic factors determining the requirements for digital tools have been identified: extreme climatic conditions (temperatures up to -50°C), remoteness and logistical isolation, the dual function of logistics warehouses, increased reliability and safety requirements. A critical review of existing approaches to the choice of digital solutions - financial methods, multi-criteria models, risk-oriented approaches and industry-specific corporate techniques - revealed their fragmentation and lack of mechanisms that factor in Arctic specifics. The applicability of the universal methodology of digital transformation of warehouse logistics is assessed, its limitations for the conditions of the NSR are established. The requirements for a promising methodology for the economic justification of the choice of digital instruments are formulated, including a two-circuit system of criteria (mandatory technological requirements and comparative economic indicators), consideration of Arctic risks through a quantitative assessment of equipment reliability and discount rate adjustment, a transparent comparative assessment algorithm, as well as the adaptation of the general methodology of digital transformation. The results obtained provide a theoretical basis for the development of applied tools adapted to the conditions of the Northern Sea Route.

Keywords: Keywords: Northern Sea Route, industrial and transport complex, warehouse logistics, digital technologies, Arctic risks, digital transformation, methodology of choice, Arctic.

Введение

События, происходящие на территории стран Ближнего Востока (в т.ч. Аравийский полуостров и Персидский залив) в текущий период, еще больше увеличивают стратегическое значение Северного морского пути (СМП) для экономики России и мировой логистики. Развитие арктических месторождений и увеличение грузопотока по СМП требуют создания надежной и эффективной береговой инфраструктуры, ключевым элементом которой являются производственно-транспортные комплексы. В состав таких комплексов входят склады материально-технического обеспечения (МТО), выполняющие двойственную функцию: они обеспечивают бесперебойную работу промышленных предприятий (добыча, переработка) и одновременно выступают в роли транспортно-логистических хабов, консолидируя грузы для дальнейшей отправки морем [1].

Специфика работы в Арктике, а именно экстремально низкие температуры, полярная ночь, удаленность от центров ремонта и поставок, чувствительность экосистемы, предъявляет особые требования к складской логистике. Цифровизация и автоматизация являются ключевыми драйверами повышения надежности и эффективности в этих условиях, позволяя минимизировать «человеческий фактор», оптимизировать запасы и обеспечить сохранность грузов.

В предыдущей работе Кострова В. Н., Бариновой Н.А. и Сухарева Д.Н. [Ошибка! Источник ссылки не найден.] была отражена комплексная методология цифровой трансформации складской логистики, однако она носит универсальный характер и не учитывает арктическую специфику и двойственную функцию складов МТО.

Это формирует научную проблему: отсутствие методики, позволяющей на этапе диагностики и планирования (Этап 1 общей методологии) [2] не просто выявить узкие места, но и произвести количественное и качественное обоснование выбора между альтернативными цифровыми инструментами, интегрирующее технологические требования, климатическую устойчивость и экономическую эффективность в условиях повышенных рисков СМП, а также оценить системный эффект при внедрении результатов исследования.

Цель настоящей работы заключается в систематизации и анализе факторов, определяющих специфику функционирования складов производственно-транспортных комплексов СМП, а также в критической оценке существующих подходов к обоснованию выбора цифровых инструментов для выявления требований, которым должна отвечать перспективная методика оценки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Выполнить анализ современного состояния грузопотоков Арктического бассейна и определить роль производственно-транспортных комплексов в обеспечении перевозок по СМП.

2. Выявить и систематизировать ключевые особенности и ограничения функционирования складской логистики в условиях Арктики, включая двойственную функцию складов МТО.

3. Провести критический анализ существующих научных и методических подходов к оценке и выбору цифровых инструментов в логистике, определив их применимость и ограничения для объектов СМП.

4. Сформулировать требования к методике экономического обоснования выбора цифровых инструментов, адаптированной к условиям производственно-транспортных комплексов СМП.

Научная новизна работы заключается в комплексной систематизации арктических факторов, влияющих на эффективность складской логистики, и в выявлении на этой основе ограничений существующих методических подходов к выбору цифровых инструментов. В отличие от известных исследований, рассматривающих арктические риски изолированно либо фокусирующихся на отдельных аспектах цифровизации, в настоящей работе для складов МТО производственно-транспортных комплексов СМП обоснована необходимость интеграции технологических, климатических и экономических критериев в единый алгоритм выбора, что создает теоретическую основу для последующей разработки прикладного инструментария.

Методы исследования

Теоретико-методологическую основу исследования составили фундаментальные положения теории логистики, теории принятия решений, инвестиционного анализа, а также научные труды в области освоения Арктической зоны и развития Северного морского пути. Для решения поставленных задач применялся комплекс общенаучных и специальных методов, обеспечивающих системность и достоверность полученных результатов.

На этапе анализа грузопотоков Арктического бассейна и особенностей производственно-транспортных комплексов Севморпути использовались методы статистического анализа и синтеза. Обработка данных грузооборота портов за 2025 год позволила выявить структуру перевозок, доминирование портов Мурманск и Сабетта, а также соотношение западного и восточного направлений. С помощью синтеза обобщены закономерности и сформировано целостное представление о конфигурации арктической транспортной системы.

Метод синтеза применен для обобщения выявленных закономерностей и формирования целостного представления о современной конфигурации арктической транспортной системы.

Для систематизации специфических условий функционирования складов материально-технического обеспечения в составе производственно-транспортных комплексов СМП использовались методы классификации и типологизации. Это позволило выделить ключевые группы факторов (климатические, инфраструктурные, логистические, кадровые), определяющие особенности складской логистики в Арктике, а также структурировать двойственную функцию складов МТО (обеспечение производства и перевалка грузов).

Критический анализ существующих подходов к выбору цифровых инструментов в логистике выполнен с применением методов сравнительного анализа и классификации.

При разработке методики выбора цифровых инструментов для складов СМП с помощью декомпозиции и структуризации выделены обязательные технологические требования (климатическое исполнение, надёжность, автономность, интеграционный потенциал) и сравнительные экономические показатели (инвестиции, эксплуатационные расходы, влияние на эффективность). Для структурирования требований по составляющим устойчивости использован функционально-компонентный подход, адаптированный от оценки портовых операторов к задачам складской логистики.

Результаты исследования

Производственно-транспортный комплекс на СМП — это сложный объект, объединяющий промышленное производство и транспортную инфраструктуру. Склад МТО в таком комплексе выполняет функции «буфера» и «распределительного центра».

Для понимания контекста и обоснования актуальности разрабатываемой методики необходимо рассмотреть современную структуру грузопотоков в Арктической зоне Российской Федерации. Согласно данным, опубликованным в начале 2026 года, грузооборот морских портов Арктического бассейна за 2025 год составил 91,7 млн тонн (с учетом портов Мезень, Диксон и отгрузок с МЛСП «Приразломная»), что на 5% выше официальной статистики, не учитывающей данные объекты [2, рис.1].

Доминирующее положение занимают два порта:

- Мурманск — ключевой логистический хаб для арктических углеводородов, обеспечивающий перевалку грузов с арктических танкеров на обычные суда для дальнейшего экспорта;
- Сабетта — специализируется на отгрузке углеводородов: СПГ, нефти и газового конденсата.

Совокупный грузооборот Мурманска и Сабетты в 2025 году достиг 73 млн тонн, что составляет 83% от общего грузооборота Арктического транспортно-технологического комплекса (АТТК).

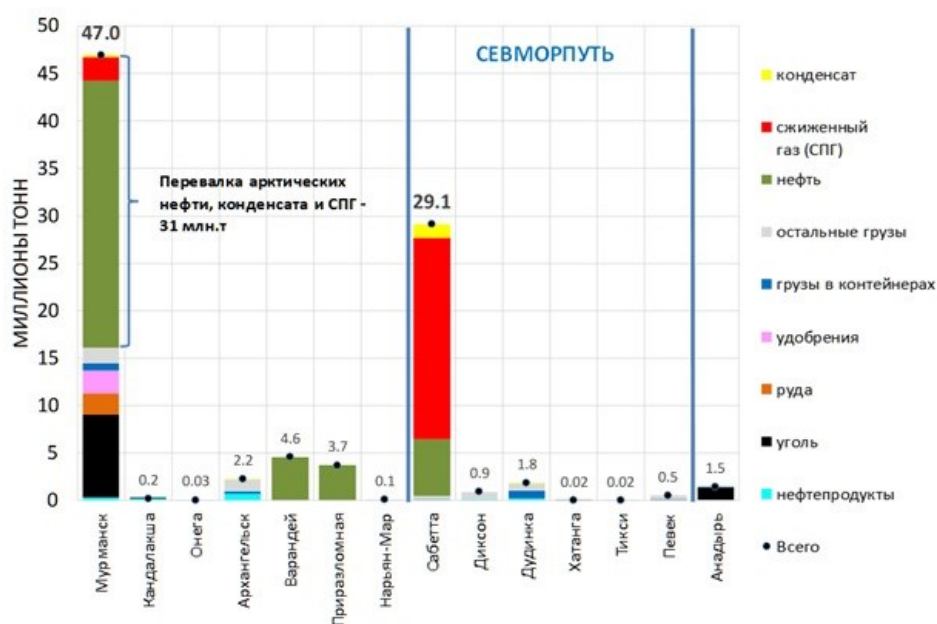


Рис. 1. Грузооборот морских портов арктического сегмента ТТК (АТТК, Арктический бассейн) в 2025 году

Западная акватория обеспечила 57,8 млн т (63%), на акваторию СМП пришлось 32,5 млн т (35%), из которых 90% (29,1 млн т) обработал порт Сабетта. Восточная акватория — лишь 1,5 млн т (2%).

В структуре международных перевозок сложились два основных маршрута:

- западное направление (через Атлантику) — 51 млн тонн (88%);
- восточное направление (через СМП) — 7 млн тонн (12%).

Основу грузопотока (83%) составляют углеводороды. Внешнеторговые грузы занимают 86%, из которых 60% — прямой экспорт, 25% — каботаж [Рис. 2].

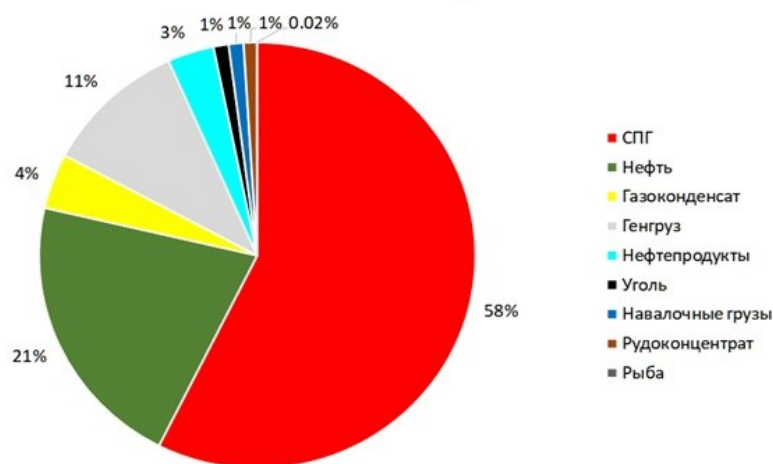


Рис. 2. Структура грузопотока Севморпути в 2025 году по видам грузов

Представленные данные свидетельствуют о высокой концентрации грузопотоков в западном секторе Арктики и доминировании углеводородного сырья в структуре перевозок, что необходимо учитывать при выборе объектов для апробации разработанной методики.

Функционирование складского комплекса в составе производственно-транспортного узла Арктической зоны характеризуется рядом принципиальных отличий от аналогичных объектов в умеренных широтах. К числу ключевых особенностей относятся:

1. Экстремальные климатические условия.

Диапазон температур до -50°C , высокая влажность, снежные заносы, полярная ночь. Это требует от оборудования (включая цифровое — датчики, считыватели, роботы) специального арктического исполнения.

2. Удаленность и логистическая изоляция.

Транспортное сообщение с основной территорией страны возможно только в период навигации или по дорогостоящему авиасообщению. Это диктует необходимость создания повышенных страховых запасов и требует высочайшей надежности оборудования, так как оперативная замена или ремонт затруднены [3].

3. Двойственная функция склада:

С одной стороны, он обеспечивает бесперебойность производства. С другой — занимается перевалкой грузов, проходящих через порт. Причем номенклатура самая разная: от генеральных грузов до крупнотоннажных контейнеров и навалочных.

4. Повышенные требования к надежности и безопасности.

Сбои в поставках или работе склада могут парализовать весь производственно-транспортный комплекс, что приведет к колоссальным убыткам. Экологическая безопасность также критична из-за хрупкости арктической природы.

5. Специфика материальных потоков.

В текущий период развития СМП преобладает значительная доля грузов, связанных с обеспечением производства и строительства (трубы, цемент, металл, техника), а также генеральные грузы и тарно-штучные товары для вахтовых поселков.

Эти особенности трансформируют общие проблемы цифровизации [2] в специфические вызовы для СМП:

– Высокая стоимость внедрения многократно возрастает из-за «северного» исполнения технологий.

– Трудность интеграции усугубляется необходимостью связывать системы управления складом (WMS) с производственными (ERP) и портовыми (TOS) системами в единый контур.

– Дефицит кадров здесь является критическим, поэтому уровень автоматизации должен быть максимально высоким, а интерфейсы — интуитивно понятными.

– Ограниченность инфраструктуры (связь, энергоснабжение) требует автономных и энергоэффективных решений.

Таким образом, для СМП требуется не просто внедрение цифровых инструментов, а их тщательный отбор по жестким, специфическим критериям, где цена ошибки (выбора неподходящей технологии) многократно возрастает.

Обоснование необходимости разработки специализированной методики требует анализа существующих научных и методических подходов к оценке и выбору цифровых инструментов в логистике для их последующей адаптации к условиям СМП.

Подходы, основанные на оценке эффективности вложений (финансовые методы).

Традиционные финансовые методы (расчёт чистой приведённой стоимости, внутренней нормы доходности, срока окупаемости) позволяют получить точные количественные оценки и сравнить варианты по единому критерию, однако в условиях Северного морского пути они не учитывают нефункциональные требования (холодостойкость, надёжность) и специфические арктические риски — ледовую обстановку, транспортную изоляцию, ускоренный износ оборудования [4].

Однако если речь идет о таком масштабном проекте как развитие СМП, то его нельзя рассматривать и оценивать только через критерии инвестиционного проекта, поскольку он обладает всеми признаками инфраструктурного проекта, с оценкой по таким критериям как безопасность, надежность и долговечность, развитие территорий, повышение мобильности, улучшение условий жизни, минимизация ущерба природе, энергоэффективность, технологичность, создание новых рабочих мест, управление рисками, мультипликативный эффект, вклад в стратегические цели и многие другие.

Методы многокритериальной оценки.

В научной литературе таких подходов немало. Они позволяют учитывать при выборе логистических решений самые разные критерии — и количественные, и качественные. Классический пример — метод анализа иерархий. Плюс таких методов в том, что они дают возможность рассматривать разнородные факторы в комплексе.

Wan с соавторами применили нечеткий метод анализа иерархий (FAHP - Fuzzy Analytic Hierarchy Process) для оценки приоритетных инвестиций в безопасность на Северном морском пути. Их исследование показало: на первом месте — «инфраструктура и оборудование», затем — «персонал», «технологии», «меры» и «управление». Причём ледовый мониторинг и прогноз погоды, усиление арктической квалификации моряков, а также ледоколы — три самых важных направления для будущих вложений в регионе [5].

Однако существующие модели, как справедливо отмечают исследователи, в большинстве своём заточены под «стандартные», умеренные условия. Обычные модели не включают такие важные для Севера параметры, как способность оборудования работать при экстремально низких температурах, возможность починить его силами местных специалистов или энергоэффективность в условиях автономного снабжения.

Подходы, ориентированные на учет рисков.

Значимость учёта рисков при выборе технологических решений обоснована в ряде исследований. В рамках этих работ предлагаются такие инструменты, как сценарный анализ, построение «деревьев отказов» и оценка потенциальных потерь.

Для арктических условий подобные методы приобретают особую актуальность. Однако, как справедливо отмечают Козлов, Тамер и Лаптева [6], стандартные подходы к оптимизации транспортно-логистических услуг здесь недостаточно эффективны. Авторы обосновывают необходимость разработки специальных организационно-методических подходов, учитывающих природно-климатические, инфраструктурные и технологические ограничения Арктической зоны.

Вместе с тем существующие подходы имеют два существенных ограничения. Во-первых, они фокусируются либо на финансовых, либо на операционных рисках изолированно, не интегрируя их в единую оценочную процедуру. Во-вторых, в них отсутствует механизм, позволяющий напрямую связать выявленные риски с корректировкой экономических показателей (ставки дисконтирования, ожидаемых

денежных потоков) и с итоговым выбором альтернативы. Как следствие, говорить о полноценной системе управления рисками (СУР) в рамках таких моделей не приходится.

Отраслевые и корпоративные методики.

Крупные компании, работающие в Арктике, разрабатывают собственные стандарты к оборудованию. Пилясов и Цукерман [7] выделяют три типа рисков: ресурсные, институциональные и экосистемные. Каждая компания формирует свои стратегии адаптации.

Параллельно развивается государственная нормативная база. С 1 апреля 2019 года действует ГОСТ Р 58214–2018, устанавливающий требования к морским логистическим операциям в Арктике — доставке грузов, погрузочно-разгрузочным работам в море и информационной поддержке [8, 9].

Такие методики содержат жёсткие технические требования, но не предлагают универсального алгоритма для экономического сравнения вариантов. Существующие подходы разобщены: финансовые методы игнорируют нефункциональные арктические требования; многокритериальные модели не учитывают специфику СМП; отраслевые методики ориентированы на нормативное регулирование, а не на экономическое обоснование выбора.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о фрагментарности существующих подходов. Каждый из них решает лишь отдельные задачи: финансовые методы игнорируют нефункциональные арктические требования; многокритериальные модели не учитывают специфику СМП; риск-ориентированные подходы существуют обособленно от алгоритмов выбора; отраслевые методики (как корпоративные, так и государственные) ориентированы на нормативное регулирование, а не на экономическое обоснование выбора между альтернативами.

В предшествующем исследовании [2] была разработана комплексная методология цифровой трансформации складской логистики, включающая пять последовательных этапов: аналитика и диагностика, внедрение цифровых технологий, обучение и изменение культуры персонала, оптимизация складской логистики, постоянный мониторинг и улучшение. Данная методология носит универсальный характер и предназначена для широкого круга предприятий, функционирующих в стандартных (умеренных) климатических и инфраструктурных условиях.

Выполненный анализ позволяет выявить следующие ограничения общей методологии применительно к условиям СМП:

1. Отсутствие учета климатических факторов

В методологии отсутствуют критерии отбора технологий по климатическому исполнению. Для СМП это критично: оборудование должно работать при температурах до -50°C . Без этого требования сама эксплуатация становится невозможной.

2. Недостаточная формализация требований к надежности в условиях логистической изоляции

Универсальная методология не даёт количественных оценок надёжности. Между тем в Арктике быстрая замена или ремонт оборудования часто невозможны. Как отмечают Ветрова и соавторы [10], природно-климатические, энергетические и инфраструктурные факторы напрямую влияют на эффективность хозяйственной деятельности в Арктической зоне и формируют повышенный уровень рисков для компаний, работающих в регионе.

3. Отсутствие дифференциации по функциям склада

Методология ориентирована на объекты с одной основной функцией. Однако склады материально-технического обеспечения (МТО) в составе производственно-транспортных комплексов СМП решают две задачи одновременно: обеспечивают непрерывность производства и выполняют перевалку грузов.

4. Отсутствие механизма количественного обоснования выбора

На этапе диагностики и планирования методология не содержит инструментов для сравнительной оценки альтернативных цифровых решений с учётом специфических рисков. Как отмечают Новоселов, Новоселова и Желтенков [11], для арктических проектов необходим формализованный механизм, связывающий идентификацию рисков с корректировкой экономических показателей.

Указанные ограничения, наряду с фрагментарностью существующих подходов (финансовые методы, многокритериальные модели, риск-ориентированные подходы, отраслевые стандарты), делают очевидной необходимость создания интегрированной методики. Она должна быть специально адаптирована для складской логистики производственно-транспортных комплексов СМП. Такая методика должна отвечать следующим требованиям:

Требование 1. Двухконтурная система критериев

В методике предусмотрены два взаимосвязанных контура оценки:

– *Контур А (обязательные технологические требования)* — критерии, определяющие принципиальную возможность эксплуатации цифрового инструмента в арктических условиях: климатическое исполнение (работоспособность при температурах до -50°C и ниже), надежность и ремонтпригодность (с возможностью количественной оценки), автономность и энергоэффективность, интеграционный потенциал с Единой платформой цифровых сервисов СМП (ЕПЦС) и национальной цифровой транспортно-логистической платформой.

– *Контур Б (сравнительные экономические показатели)* — критерии, позволяющие провести экономическое сравнение альтернатив, прошедших фильтрацию по контуру А: первоначальные вложения (с учетом удорожания «северного завоза»), ежегодные эксплуатационные расходы, влияние на ключевые показатели эффективности склада (с дифференциацией по производственной, ресурсно-технологической и бизнес-составляющим), чистая приведенная стоимость с поправкой на арктические риски.

Требование 2. Учет арктических рисков

Интеграция риск-ориентированного подхода достигается через три механизма.

Первый — количественная оценка надёжности оборудования. Используется коэффициент надёжности. Он учитывает отклонение фактических характеристик от арктических эталонов.

Второй — корректировка ставки дисконтирования. Величина премии за арктические риски определяется на основе матрицы и карты рисков [11].

Третий — формализация процедур. На этапе диагностики нужно идентифицировать, оценить и ранжировать специфические риски: технологические, инфраструктурные, логистические, кадровые.

Требование 3. Прозрачный алгоритм сравнительной оценки

Процедура выбора включает пять шагов:

1. Фильтрацию альтернатив по обязательным технологическим требованиям (контур А) с исключением заведомо непригодных для Арктики решений.

2. Нормализацию разнородных показателей контура Б для приведения их к единому безразмерному виду.

3. Расчет интегрального показателя эффективности на основе метода аддитивной свертки с весовыми коэффициентами, отражающими приоритеты цифровой трансформации в арктических условиях.

4. Углубленный финансовый анализ лучших альтернатив с использованием риск-скорректированной ставки дисконтирования.

5. Принятие окончательного решения на основе двухкритериальной схемы (технико-экономическая предпочтительность + положительная чистая приведенная стоимость).

Требование 4. Адаптация общей методологии цифровой трансформации

Разрабатываемая методика должна не заменять, а конкретизировать и дополнять универсальную методологию [2] применительно к условиям СМП, фокусируясь на адаптации первых двух этапов («Аналитика и диагностика» и «Внедрение цифровых технологий») и обеспечивая интеграцию предложенного инструментария в общий управляющий контур цифровой трансформации складской логистики.

Сформулированные требования создают теоретическую основу для разработки прикладного инструментария, изложение которого составляет содержание второй части настоящего исследования.

Заключение

Проведенное в рамках настоящего исследования системное изучение факторов, определяющих специфику функционирования складов материально-технического обеспечения в составе производственно-транспортных комплексов Северного морского пути, позволяет сформулировать следующие выводы и результаты.

Анализ современной структуры грузопотоков Арктического бассейна за 2025 год подтвердил критическую роль портов Мурманск и Сабетта, обеспечивающих 83 процента совокупного грузооборота региона, а также доминирование углеводородного сырья в структуре перевозок. Выявленные закономерности свидетельствуют о высокой концентрации логистической активности в западном секторе Арктики, что требует учета данной специфики при формировании подходов к цифровизации складской инфраструктуры, ориентированной на обслуживание крупных углеводородных проектов.

Систематизация условий эксплуатации складов в Арктике позволила не только выделить ключевые группы факторов (климатические, инфраструктурные, логистические, кадровые), но и установить причинно-следственные связи между ними и требованиями к цифровым инструментам. Доказано, что экстремальные климатические условия, удаленность от центров ремонта и поставок, а также двойственная функция складов материально-технического обеспечения не просто усложняют внедрение цифровых решений, но и трансформируют саму логику выбора технологий, смещая акцент с минимизации стоимости приобретения на обеспечение надежности, автономности и ремонтпригодности в условиях логистической изоляции.

Критический анализ существующих подходов к выбору цифровых инструментов выявил их принципиальную недостаточность для объектов СМП. Установлено, что финансовые методы, многокритериальные модели, риск-ориентированные подходы и отраслевые корпоративные методики, каждый в отдельности, не могут обеспечить комплексного учета арктической специфики, поскольку решают лишь отдельные задачи, не образуя целостного механизма, связывающего технические требования, экономическую эффективность и управление рисками. Особое значение для настоящего исследования имела оценка применимости универсальной методологии цифровой трансформации складской логистики. Несмотря на ее комплексный характер, охватывающий все этапы преобразований, установлено, что она не содержит механизмов учета климатических факторов, количественной оценки

надежности в условиях изоляции, дифференциации по функциям склада и алгоритмов сравнительного обоснования выбора альтернатив с учетом специфических рисков.

Научная новизна выполненного исследования заключается в том, что для складов МТО производственно-транспортных комплексов СМП осуществлена комплексная систематизация арктических факторов и на этой основе выявлены ограничения существующих методических подходов к выбору цифровых инструментов. В отличие от известных работ, рассматривающих арктические риски изолированно либо фокусирующихся на отдельных аспектах цифровизации, в настоящем исследовании обоснована необходимость интеграции технологических, климатических и экономических критериев в единый алгоритм выбора, что создает теоретическую основу для последующей разработки прикладного инструментария.

Практическая значимость работы состоит в том, что сформулированные в исследовании требования к методике выбора цифровых инструментов могут быть использованы при модернизации существующих и проектировании новых производственно-транспортных комплексов СМП. Предложенный подход позволяет на этапе диагностики и планирования осуществлять обоснованный отбор цифровых решений, учитывающий как обязательные технологические требования к оборудованию, работающему в экстремальных условиях, так и экономическую эффективность с поправкой на арктические риски.

Дальнейшие исследования в данном направлении предполагают практическую реализацию сформулированных требований в виде конкретной методики, включающей математический аппарат для количественной оценки надежности оборудования, алгоритм расчета интегрального показателя эффективности и процедуру риск-скорректированного дисконтирования денежных потоков. Апробация разработанного инструментария на примере реальных объектов Северного морского пути, в первую очередь порта Сабетта как наиболее значимого элемента арктической транспортной системы, позволит подтвердить его работоспособность и оценить практический эффект от внедрения.

Список литературы

1. Барина Н.А., Бутченко В.В., Костров В.Н. Оптимизация процессов на производственных складах мультимодальных логистических центров. // Транспорт. Горизонты развития. 2025: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2025. – URL: http://вф-река-море.рф/2025/7_24.pdf (Дата обращения: 20.02.2026)
2. Костров Владимир Николаевич, В. Н., Барина Н. А., & Сухарев, Д. Н. (2026). Научно-методический подход к управлению цифровой трансформацией складской логистики. Научные проблемы водного транспорта, (86), 140-153. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi86.680>
3. Грузовая динамика Арктики: анализ грузоперевозок арктического сегмента ТТК за 2025 год // PortNews. – 2026. – URL: <https://portnews.ru/comments/3631/> (дата обращения: 20.02.2026).
4. Taarup-Esbensen J. Arctic supply chain reliability in Baffin Bay and Greenland // Polar Geography. – 2022. – Vol. 45, No. 2. – P. 77-94.
5. Wan J., Baumler R., Dalaklis D. Identifying key safety investments needed for arctic shipping via a fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach // Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping. 2024. Vol. 8, No. 4. DOI: 10.1080/25725084.2024.2422710
6. Козлов А. В., Тамер О. С., Лаптева С. В. Организационно-методические подходы по оптимизации системы транспортно-логистических услуг компаний, осуществляющих деятельность в арктических условиях // Вестник ВУиТ. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-metodicheskie-podhody-po-optimizatsii-sistemy-transportno-logisticheskikh-uslug-kompaniy-osuschestvlyayuschih> (дата обращения: 07.04.2026).

7. Пилиасов А.Н., Цукерман В.А. Арктические корпорации и освоенческие риски: вызов и ответ // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. – URL: https://narfu.ru/aan/article_index_years.php?ELEMENT_ID=359538 (дата обращения: 07.04.2026).
8. Вестник Росстандарта. 2019. № 2. Арктика и стандартизация. – URL: <https://gostinfo.ru/News/Details/848> (дата обращения: 07.04.2026).
9. ГОСТ Р 58214-2018. Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции. Морские логистические операции (введён 01.04.2019). – URL: <https://base.garant.ru/72674416/> (дата обращения: 07.04.2026).
10. Ветрова Елена Николаевна, Хакимова Галия Ринатовна, Хакимов Рамиль Тагирович, Даус Юлия Владимировна Условия и риски устойчивого развития горнопромышленных компаний арктической зоны Российской Федерации // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2025. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/usloviya-i-riski-ustoychivogo-razvitiya-gornopromyshlennyh-kompaniy-arkticheskoy-zony-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 07.04.2026).
11. Новоселов Андрей Леонидович, Новоселова Ирина Юрьевна, Желтенков Александр Владимирович Механизм оценки рисков при реализации проектов развития арктического региона // Вестник Государственного университета просвещения. Серия: Экономика. 2021. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mechanizm-otsenki-riskov-pri-realizatsii-proektov-razvitiya-arkticheskogo-regiona> (дата обращения: 30.03.2026).

References

1. Barinova N.A., Butchenko V.V., Kostrov V.N. Optimizatsiya protsessov na proizvodstvennykh skladakh mul'timodal'nykh logisticheskikh tsentrov [Optimization of processes in production warehouses of multimodal logistics centers]. *Transport. Gorizonty razvitiya. 2025: Materialy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma* [Transport. Development Horizons. 2025: Proceedings of the International Scientific and Practical Forum]. FSBEI HE «VSUWT». 2025. Available at: http://vf-река-море.рф/2025/7_24.pdf (accessed 20.02.2026). (In Russ.)
2. Kostrov V.N., Barinova N.A., Sukharev D.N. Nauchno-metodicheskiy podkhod k upravleniyu tsifrovoy transformatsiey skladskoy logistiki [Scientific and methodological approach to managing the digital transformation of warehouse logistics]. Nauchnye problemy vodnogo transporta [Scientific Problems of Water Transport]. 2026. No. 86. P. 140-153. DOI: 10.37890/jwt.vi86.680 (In Russ.)
3. Gruzovaya dinamika Arktiki: analiz gruzoperevozok arkticheskogo segmenta TTK za 2025 god [Arctic cargo dynamics: analysis of cargo transportation in the Arctic segment of the transport and technology corridor for 2025]. PortNews. 2026. Available at: <https://portnews.ru/comments/3631/> (accessed 20.02.2026). (In Russ.)
4. Taarup-Esbensen J. Arctic supply chain reliability in Baffin Bay and Greenland. Polar Geography. 2022. Vol. 45, No. 2. P. 77-94.
5. Wan J., Baumler R., Dalaklis D. Identifying key safety investments needed for arctic shipping via a fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach. Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping. 2024. Vol. 8, No. 4. DOI: 10.1080/25725084.2024.2422710
6. Kozlov A.V., Tamer O.S., Lapteva S.V. Organizatsionno-metodicheskie podkhody po optimizatsii sistemy transportno-logisticheskikh uslug kompaniy, osushchestvlyayushchikh deyatel'nost' v arkticheskikh usloviyakh [Organizational and methodological approaches to optimizing the system of transport and logistics services of companies operating in the Arctic]. Vestnik VUiT. 2019. No. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-metodicheskie-podhody-po-optimizatsii-sistemy-transportno-logisticheskikh-uslug-kompaniy-osushchestvlyayushchih> (accessed 07.04.2026). (In Russ.)
7. Pilyasov A.N., Tsukerman V.A. Arkticheskie korporatsii i osvoencheskie riski: vyzov i otvet [Arctic corporations and development risks: challenge and response]. Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta [Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University]. Available at: https://narfu.ru/aan/article_index_years.php?ELEMENT_ID=359538 (accessed 07.04.2026). (In Russ.)

8. Vestnik Rosstandarta [Bulletin of Rosstandart]. 2019. No. 2. Arktika i standartizatsiya [Arctic and standardization]. Available at: <https://gostinfo.ru/News/Details/848> (accessed 07.04.2026). (In Russ.)
9. GOST R 58214-2018. Neftyanaya i gazovaya promyshlennost'. Arkticheskie operatsii. Morskie logisticheskie operatsii [Petroleum and natural gas industries. Arctic operations. Offshore logistics operations]. Available at: <https://base.garant.ru/72674416/> (accessed 07.04.2026). (In Russ.)
10. Vetrova E.N., Khakimova G.R., Khakimov R.T., Daus Yu.V. Usloviya i riski ustoychivogo razvitiya gornopromyshlennykh kompaniy Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii [Conditions and risks of sustainable development of mining companies in the Arctic zone of the Russian Federation]. Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle [News of Tula State University. Earth Sciences]. 2025. No. 4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/usloviya-i-riski-ustoychivogo-razvitiya-gornopromyshlennykh-kompaniy-arkticheskoy-zony-rossiyskoy-federatsii> (accessed 07.04.2026). (In Russ.)
11. Novoselov A.L., Novoselova I.Yu., Zheltenkov A.V. Mekhanizm otsenki riskov pri realizatsii proektov razvitiya Arkticheskogo regiona [A mechanism for risk assessment in the implementation of development projects in the Arctic region]. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta prosveshcheniya. Seriya: Ekonomika [Bulletin of the State University of Education. Series: Economics]. 2021. No. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mechanizm-otsenki-riskov-pri-realizatsii-proektov-razvitiya-arkticheskogo-regiona> (accessed 30.03.2026). (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Костров Владимир Николаевич, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: vnkostrov@yandex.ru

Vladimir N. Kostrov, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Logistics and Marketing, Volzhsky State University of Water Transport, 5 Nesterov Street, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: vnkostrov@yandex.ru

Бутченко Виктор Николаевич, кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры транспортного права, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: butchenko.vn@vsuwt.ru

Viktor N. Butchenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Department of Transport Law, Volga State University of Water Transport, 5 Nesterov Street, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: butchenko.vn@vsuwt.ru

Барина Наталья Александровна, магистрант, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: natka.barinova.04@mail.ru

Natalya A. Barinova, master's student, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, st. Nesterov, 5, e-mail: natka.barinova.04@mail.ru

Сухарев Дмитрий Николаевич, руководитель службы, АО «Русатом Оверсиз», 115280, Москва, ул. Ленинская Слобода, д. 26., e-mail: dnsukharev@rambler.ru

Dmitry N. Sukharev, Head of Service, Rusatom Overseas JSC, 115280, Moscow, Leninskaya Sloboda str., 26., e-mail: dnsukharev@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 31.03.2026; принята к публикации 20.04.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 31.03.2026; published online 20.06.2026.

УДК 656

DOI: 10.37890/jwt.vi87.701

Возможность интеграции морского транспорта с дирижаблями при выгрузке груза на необорудованный берег

П.А. Николаева

ORCID: 0009-0003-9792-1729

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия

Аннотация. В работе исследована выгрузка грузов на необорудованный берег при транспортировке грузов в районы Крайнего Севера. Определены причины использования такого способа производства работ. Изучена существующая технология производства погрузочно-разгрузочных работ на рейде и выявлены сложности, связанные с ней, включающие технические, логистические, экономические, правовые и аспекты, связанные с опасностью для рабочих. Рассмотрены и проанализированы прошлые попытки радикального изменения технологии работ, такие как суда-амфибии, суда-вертолетоносцы, лихтеровозная система и накатная технология выгрузки грузов. В связи с этим, предложена концепция взаимодействия дирижаблей и морского транспорта при обработке судов на рейде, основанная на преимуществах современных летательных аппаратов легче воздуха, таких как большая грузоподъемность, возможность использования альтернативных видов топлива и относительно небольшое его потребление, невысокая себестоимость перевозки, большая живучесть транспортных средств, возможность круглогодичной безэллинговой эксплуатации и взаимодействия с другими видами транспорта. Несмотря на имеющиеся недостатки дирижаблей, был сделан вывод о возможности интеграции морского транспорта с дирижаблями при выгрузке груза на необорудованный берег.

Ключевые слова: районы Крайнего Севера, необорудованный берег, обработка судов на рейде, выгрузка на необорудованный берег, погрузочно-разгрузочные работы, портовая инфраструктура, дирижабль, интеграция дирижабля с морским транспортом.

The possibility of integrating marine transport with airships when unloading cargo on an unequipped shore

Polina A. Nikolaeva

ORCID: 0009-0003-9792-1729

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok, Russia

Abstract. The work examines the unloading of goods onto an unequipped shore during the transportation of goods to the regions of the Far North. The reasons for using this method of work have been identified. The existing technology of loading and unloading operations at the roadstead has been studied and the difficulties associated with it, including technical, logistical, economic, legal and aspects related to the danger to workers, have been identified. Past attempts to radically change the operation technology of amphibious vessels, helicopter carriers, a lighter-lifting system and a rolling technology for unloading cargo, have been considered and analyzed. In this regard, the concept of interaction between airships and marine transport in the handling of ships in the roadstead is proposed, based on the advantages of modern lighter-than-air aircraft, in particular, high payload capacity, the possibility of using alternative fuels and relatively low consumption, low cost of transportation, high cost of living, the possibility of year-round billing-free operation and interaction with other modes of transport. Despite the existing disadvantages of airships, it was concluded that it was possible to integrate marine transport with airships when unloading cargo on an unequipped shore.

Keywords: regions of the Far North, unequipped coast, ship handling in the roadstead, unloading on an unequipped coast, loading and unloading operations, port infrastructure, airship, airship integration with sea transport.

Введение

Морской транспорт является одним из важнейших для обеспечения транспортной доступности Арктического региона России. Ежегодно миллионы тонн грузов доставляется судами на территорию Крайнего Севера в рамках северного завоза. Все эти грузы, в соответствии с Указами Президента РФ Об основах государственной политики РФ в Арктике на период до 2035 года. – Утвержденными Президентом РФ 05.03.2020, № 164², от 03.02.2015 № 50 «О государственной комиссии по вопросам развития Арктики»³, обеспечивают в Арктике, помимо полезных ископаемых, такие интересы, как научно исследовательские и опытно-конструкторские работы, защита окружающей среды, поддержание необходимого оборонного потенциала, формирование единого информационного пространства, обеспечение благоприятного оперативного режима, а также обеспечение достойного уровня жизни жителей региона, в том числе, малочисленных народов. Однако, в связи с климатическими особенностями региона, морской транспорт имеет ряд ограничений, одним из которых является выгрузка грузов на необорудованный берег. Такой способ производства перегрузочных работ связан с ледовой обстановкой, географическими и гидрографическими условиями.

Целью исследования является оценка возможности интеграции морского транспорта в Арктике с дирижаблями для упрощения технологии перегрузки грузов на необорудованный берег.

Исходя из цели, задачами исследования являются:

- анализ существующей технологии производства погрузочно-разгрузочных работ;
- изучение технологий, предложенных раньше для решения проблемы;
- анализ технических характеристик современных дирижаблей;
- оценка возможности интеграции морского транспорта с дирижаблями.

Методы исследования

В данной статье использован анализ существующей технологии выгрузки грузов на необорудованный берег, шагов, предпринятых ранее для ее изменения, технических характеристик дирижаблей, синтез полученных данных для определения проблем перегрузки груза с судна и разработки алгоритма погрузочно-разгрузочных работ с применением дирижаблей, и гипотетический подход, чтобы оправдать гипотезу, что интеграция дирижаблей с морским транспортом способна существенно повысить эффективность и безопасность перегрузочных работ без необходимости дорогостоящей разработки новых типов судов или грузозахватных приспособлений.

Выгрузка грузов на необорудованный берег

Необорудованный берег – это участок побережья, не имеющий достаточной стационарной инфраструктуры (причалов, пирсов, портовых терминалов и другого оборудования), предназначенный для безопасной стоянки судов, проведения погрузочно-разгрузочных операций и обслуживания флота. Помимо отсутствия

² Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года: Указ Президента Российской Федерации от 05 марта 2020 г. №164 (ред. от 21.02.2023) // КонсультантПлюс.

³ О государственной комиссии по вопросам развития Арктики: Указ Президента РФ от 03.02.2015 № 50 (ред. от 25.08.2023) // КонсультантПлюс : справ.-правовая система.

специализированных конструкций, его особенностями являются низкая защищенность от волнений, затрудняющая маневрирование судов и повышающая риск повреждения груза, недостаточная устойчивость грунта, сложный рельеф берега и дна и ограниченная возможность обработки грузов.

Выгрузка на необорудованный берег – это комплекс операций по выгрузке грузов с судов, требующий учета множества факторов, в том числе, географических, гидрографических и климатических, а также применения специализированного оборудования [2, с.49-53].

Необходимость в такой выгрузке грузов с судов возникает по нескольким причинам:

1. Удаленность территорий, что затрудняет возможность строительства транспортных путей и развития портовой инфраструктуры, усложняя транспортную доступность региона и развитие транспортной сети.

2. Экстремальные климатические условия, которые оказывают влияние на все сферы жизни на Крайнем Севере. В части производства перегрузочных работ это выражается в сложности поддержания стабильной работы техники и осуществления логистических операций в условиях вечной мерзлоты, полярной ночи, низких температур и сильных ветров.

3. Недостаток инфраструктуры. Как было сказано выше, удаленность некоторых территорий делает невозможным строительство и оснащение портовых сооружений и причалов, из-за чего отсутствует возможность производства стандартной разгрузки судов.

4. Необходимость снабжения удаленных объектов. Отсутствие или недостаточная развитость портовой инфраструктуры не отменяет потребность поддержания жизнедеятельности и работы научных станций, промышленных предприятий и различных поселений, в том числе малочисленных народов Севера, куда требуются регулярные поставки товаров, оборудования и других видов грузов.

5. Защита окружающей среды. Хрупкость и уязвимость экосистемы Арктики предполагает минимизацию любого воздействия на природу для сохранения немногочисленных представителей флоры и фауны региона.

Как было уже сказано выше, необорудованные акватории больше подвержены внешним воздействиям, что снижает интенсивность и производительность операций при волнении от 3 до 5 баллов (высота волны от 0,5 до 4 метров, от легкого волнения до беспокойного моря с крупными волнами) интенсивность снижается на 20%, при волнении выше 5 баллов работы вовсе прекращаются. В связи с этим, до 30% времени судов на стоянке составляют простои по гидрологическим и метеорологическим причинам [3, с.54-57], что необходимо учитывать при планировании работ.

Технология и оборудование для выгрузки грузов на необорудованный берег представляют собой совокупность решений, обеспечивающих выполнение сложных логистических задач, требующих высокой точности, надежности и адаптивности оборудования для работы в разнообразных условиях, включая мелководье, волнения и нестабильный береговой рельеф [2, с.49-53]. В настоящее время такие работы производятся на основании «Карт типовых и опытных технологических процессов перегрузочных работ, выполняемых в рейдовых портах и портовых пунктах на льду берегового припая и у необорудованного берега» [1]. Этот документ распространяется на погрузочно-разгрузочные работы, выполняемые на рейде с перегрузкой грузов либо с одного судна на другое, либо с судна на вспомогательные плавсредства, самоходные или буксируемые к мелководным причалам, и с разгрузкой их при помощи береговых кранов. В целом, технология заключается в следующем: в просвете люка трюма и подпалубном пространстве производится расформирование трюмного штабеля и формирование пакетов на поддонах в просвете люка, то есть в зоне действия судовой стрелы. Сформированный пакет судовыми стрелами

укладывается на плашкоут. При полной загрузке вспомогательного судна груз доставляется на берег самостоятельно или с помощью буксира, после чего на берегу выгружается порталным, либо гусеничным, либо краном на пневмоходу. После этого погрузчиком с вилочным захватом груз доставляется на склад для последующего хранения. При производстве перегрузочных работ по прямому варианту с вспомогательного судна в автомашину груз устанавливается на специализированный грузовой стол, к которому подается автомашина. Такая технология является общей для большинства доставляемых грузов, от рода груза зависит вид и размер поддона, количество пакетов, загружаемых на плашкоут, количество ярусов загрузки, а также виды грузозахватных приспособлений.

Несмотря на достаточную универсальность и то, что такой способ выгрузки сейчас является единственным, он имеет достаточное количество недостатков, которые делятся на несколько категорий:

Технические сложности

Выгрузка грузов на необорудованный берег сопряжена с большим количеством технических проблем, которые связаны как с климатическими условиями, так и с инфраструктурой. Эти сложности включают в себя несколько ключевых аспектов. Первым из них являются ограничения портовых сооружений и перегрузочной техники. Отсутствие причалов и накатов затрудняют швартовку судов и проведение погрузочно-разгрузочных операций, так как плашкоут должен подходить слишком близко к берегу, увеличивая риск повреждения не только судна, но и груза. Недостаток, либо устаревшее перегрузочное оборудование уменьшают производительность перегрузочных работ, увеличивает время выгрузки и, как следствие, время простоя судна, снижает безопасность работ.

Вторым фактором, оказывающим влияние на технические сложности, является маневренность крупнотоннажных судов. Это связано как с ледовой обстановкой, способной привести к застреванию транспортных средств, либо их повреждению, так и рельефом берега и дна, что требует предварительной разведки и оценки, что, в свою очередь, приводит к дополнительным временным и финансовым затратам.

Немаловажным аспектом является риск повреждения судна и груза. Это вызвано не только ледовой обстановкой и рельефом, о которых было сказано выше, но и, например, асинхронной судна и баржи, вызванная большим различием осадки транспортных средств, что особенно важно для хрупких грузов [4].

Опасности для рабочих, задействованных в перегрузочном процессе

Рабочие, обеспечивающие перегрузку грузов с судов на необорудованный берег, являются наиболее ценным ресурсом, однако такой способ производства работ сопряжен с большим количеством опасностей, требующих повышенного внимания. Первой из них являются погодные условия. Сильный ветер создает риск раскачивания и падения груза, повреждения оборудования и несчастных случаев. Осадки и туманы приводят к плохой видимости, что снижает безопасность работ и повышает вероятность производственных травм. Низкие температуры могут стать причиной болезней, связанных с работой на открытом воздухе, например, обморожение или гипотермия. Полярные ночи повышают утомляемость рабочих и влияют на психологическое состояние.

Устаревшая техника также создает дополнительные риски для людей. Часто, из-за устаревшей инфраструктуры, часть работ по выгрузке приходится производить вручную, например, подъем или перемещение груза. Также такое оборудование может не соответствовать современным стандартам безопасности и подвержено поломкам и техническим неисправностям, что может повлечь за собой аварийные ситуации.

Работа в экстремальных условиях Крайнего Севера требует высокой физической и психологической устойчивости. Продолжительная работа в таких обстоятельствах ведёт к утомлению и снижению концентрации, а психологическое давление действует на общее состояние человека, увеличивая возможность возникновения несчастных случаев.

Для нивелирования этих рисков необходимо проводить регулярное обучение и повышение квалификации всего персонала, улучшать условия труда с помощью модернизации инфраструктуры и обеспечения людей специальной формой одежды и средств индивидуальной защиты.

Высокий уровень затрат

Организация выгрузки грузов с судов на необорудованный берег всегда сопряжена с большими финансовыми затратами. Так, часто, необходимым для обеспечения работ является создание временных причалов. Это требует значительных инвестиций на этапах проектирования и строительства, а также такие устройства нуждаются в ремонте и обслуживании.

Выгрузка грузов на рейде всегда требует применения специализированных транспортных средств, таких как суда с судовыми грузовыми устройствами, буксиры, баржи, плашкоуты, трактора и другие, которые нуждаются в больших расходах на фрахт, топливо, техническое обслуживание и содержание.

Еще одним фактором, увеличивающим стоимость работ, является высокая трудоемкость операций. Помимо того, что это делает необходимым привлечение не просто большого количества людей, но и рабочих, обладающих определенной квалификацией, учитывающей климатические и инфраструктурные ограничения. Это нужно для снижения рисков, однако, повышает стоимость оплаты труда.

Также увеличение затрат происходит по причине низкой производительности работ, которая замедляет обработку судов и увеличивает их простой под погрузочными операциями, время использования техники и рабочего персонала.

Риски для экологии

Операции по выгрузке грузов на необорудованный берег могут представлять опасность для хрупкой экосистемы Арктического региона. Такой способ производства работ способен приводить к загрязнению воды топливом, химикатами, мусором и отходами при неправильной утилизации.

Помимо загрязнения воды, существуют риски для атмосферы. Техника, особенно устаревшая, может вызывать выбросы углекислого газа и других загрязняющих веществ, а процессы перегрузки некоторых грузов способны повлиять на образование мелких частиц и пыли. Все это вредит окружающей среде и способствует климатическим изменениям.

Еще одной частью экосистемы региона является почва. Различные материалы, используемые в процессе перегрузки, могут загрязнять почву, загрязняя ее и способствуя снижению плодородия, а вырубка деревьев и удаление растительности для строительства причалов и других объектов инфраструктуры усугубляет эрозию почвы.

Все эти факторы влияют на биоразнообразие Арктического региона. Строительство и эксплуатация инфраструктуры нарушает привычную среду обитания местной флоры и фауны, уменьшая численность и биоразнообразие видов животных и растений, особенно редких и наиболее уязвимых.

Логистика и управление процессом перегрузки

Управление процессом выгрузки грузов на необорудованный берег является сложной задачей, требующей высокой степени подготовки и координации действий. Это связано, в первую очередь, с погодными условиями. Их непредвиденность и

частые изменения могут вызывать задержки в проведении работ, увеличивая простои судов и техники.

Сложностью в данных условиях является и координация действий всех участников процесса. Большое количество людей (до 11 человек в одной технологической схеме [1]) требует постоянной связи и четкой организации. Любое нарушение или ошибка в коммуникации может привести не только к увеличению времени и сложности грузовых работ, но и к несчастным случаям. Для этого необходимо проведение инструктажей, предварительного обсуждения плана действий, четкого распределения работ.

Для повышения эффективности управления процессом перегрузки необходимо составление четкого плана работ, учитывающего возможные задержки и альтернативные методы обработки судов. Сюда же можно отнести применение современного специализированного программного обеспечения и средств связи, а также обучение персонала, что повысит безопасность и эффективность работ.

Правовые аспекты

Существует достаточное количество норм международного права и национального законодательства, таких как:

- Конвенция ООН по морскому праву 1982 года, устанавливающая принципы использования морских ресурсов, а также правовые основы изучения, защиты и сохранения морской среды⁴.

- Конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов 1972 г.⁵.

- Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ) 1973 г.⁶.

- Международная конвенция по обеспечению готовности на случай загрязнения нефтью, борьбе с ним и сотрудничеству 1990 г.⁷.

- Полярный кодекс, принятый ИМО в 2015 году, определяющий общие правила и требования по обеспечению безопасной эксплуатации судов и предотвращению загрязнения в покрытых льдом полярных водах⁸.

- Правила плавания в акватории Северного морского пути, утвержденные приказом Минтранса России от 17 января 2013 года №7⁹.

- Постановление правительства РФ от 18 сентября 2020 года №1487 «Об утверждении правил плавания в акватории Северного морского пути»¹⁰.

- Федеральные законы, которые касаются конструкций, оборудования и снабжения судов, осуществляющих транспортировку по Северному морскому пути. К ним относятся Федеральный закон от 17

⁴ Конвенция Организации Объединённых Наций по морскому праву (заключена в г. Монтего-Бее 10 декабря 1982 года) (с изм. от 23 июля 1994 года) // КонсультантПлюс.

⁵ Конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов (заключена в г. Москве, Вашингтоне, Лондоне, Мехико 29 декабря 1972 г.) // КонсультантПлюс.

⁶ Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ), Лондон, 02.11.1973 (с изм. и доп. от 17.02.1978) // КонсультантПлюс.

⁷ Международная конвенция по обеспечению готовности на случай загрязнения нефтью, борьбе с ним и сотрудничеству (OPRC), Лондон, 30.11.1990 // КонсультантПлюс.

⁸ Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс): принят ИМО Резолюцией MSC.385(94), 2015 г. // КонсультантПлюс.

⁹ Правила плавания в акватории Северного морского пути: утв. приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 17.01.2013 № 7 // КонсультантПлюс.

¹⁰ Об утверждении правил плавания в акватории Северного морского пути: Постановление Правительства Российской Федерации от 18.09.2020 № 1487 // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2020. — № 39. — Ст. 6065.

августа 1995 года №147-ФЗ «О естественных монополиях»¹¹, Федеральный закон от 31 июля 1998 года №155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальных морях и прилегающей зоне Российской Федерации»¹² и другие.

– При планировании перевозки и перегрузки грузов в Арктике необходимо учитывать все требования и возможные санкции за нарушение законодательства.

Учитывая все эти сложности, влияющие на выгрузку грузов на необорудованный берег, неоднократно были предприняты попытки радикальных изменений технологии.

Суда и платформы на воздушной подушке грузоподъемностью 10 и 40 тонн, соответственно, суда – амфибии [7], разработка судов-снабженцев вертолетоносцев проекта 10620 типа «Витус Беринг» [8], проектирование специальных судов для накатной технологии выгрузки грузов, в том числе судно «Дальмор-1» [6], применение лихтеровозной системы [6].

Изменить ситуацию с выгрузкой грузов на необорудованный берег для улучшения транспортной доступности Арктического региона возможно при использовании дирижаблей. В последние годы этот вид транспорта снова получает всё большее распространение. Обновленные технологии в области дирижаблестроения позволяют этим воздушным судам использоваться не только в оборонных целях для обеспечения безопасности, но и для доставки грузов в труднодоступные районы, где недостаточно развита инфраструктура.

Возможность интеграции дирижаблей и морского транспорта

Благодаря современным разработкам в области дирижаблестроения, конструктивные особенности и техническое оснащение новейших дирижаблей позволяют им выдерживать низкие температуры, высокую скорость ветра, совершать длительные перелёты, эксплуатироваться без специализированной инфраструктуры. Все это позволяет рассматривать дирижабли как транспорт, который возможно применять в условиях Арктики. При этом, у них имеется ряд существенных преимуществ:

1. Большая грузоподъемность. В зависимости от объема купола, дирижабли могут перевозить от 20 тонн и более, что дает возможность их применения в разных областях: перевозке промышленного оборудования, строительных материалов, грузов северного завоза в удаленные и труднодоступные районы, где применение других видов транспорта затруднено или вовсе невозможно. Также, в сочетании с конструктивными особенностями, возможность поднимать грузы большой массы дает перспективы адаптировать дирижабли для перевозки нестандартных, крупногабаритных грузов, включая конструкции, которые сложно поддаются перевозке другим транспортом.

2. Возможность использования альтернативных видов топлива и, как следствие, большая экологичность. Летательные аппараты такого типа обладают конструктивной гибкостью, в связи с чем могут быть адаптированы для других типов энергетических установок. Так, большая площадь купола позволяет устанавливать солнечные панели для самообеспечения электроэнергией. В условиях полярного дня, когда доступ солнечного света почти круглосуточный, солнечные панели могут генерировать достаточное количество электричества для питания систем управления, навигации и многие другие. В условиях недостатка или отсутствия солнечного света, например, во время полярной ночи, дирижабли могут использовать комбинированные системы, с

¹¹ О естественных монополиях: Федеральный закон Российской Федерации от 17 августа 1995 г. № 147-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1995. — № 34. — Ст. 3426.

¹² О внутренних морских водах, территориальных морях и прилегающей зоне Российской Федерации : Федеральный закон от 31.07.1998 № 155-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1998. — № 31. — Ст. 3833

применением, например, гибридных электрических установок, биотоплива или других экологических источников. Все это значительно снижает углеродный след, что делает этот вид транспорта еще и одним из самых экологических.

3. Относительно небольшое потребление топлива. Воздухоплавательные аппараты легче воздуха обладают высокой энергетической эффективностью благодаря собственной подъемной силе, основанной на использовании водорода или гелия, и, как следствие, минимальным механическим усилиям для поддержания полёта. Среднее потребление составляет около 130 литров топлива в час, что значительно ниже, чем у других воздушных видов транспорта. Так, коммерческие самолеты потребляют от 1700 литров в час, вертолеты от 240 литров в час. В сочетании с возможностью применения альтернативных видов топлива, такой расход делает эти летательные аппараты не только экономически выгодными, но и более стабильными в плане колебания цен на традиционные виды топлива и повышает рентабельность операций, делая выгодными грузовые и пассажирские перевозки.

4. Более низкая себестоимость перевозки. Как уже упоминалось выше, дирижабли потребляют меньшее количество топлива, что снижает себестоимость перевозки. Также на экономическую эффективность влияет и большая грузоподъемность, которая позволяет совершать меньшее количество рейсов для перевозки одного количества грузов, а возможность перевозки любых грузов по воздуху расширяет перспективы для оптимизации маршрутов. Все это делает этот вид транспорта более конкурентоспособным за счет снижения расходов на топливо, эксплуатацию и техническое обслуживание.

5. Большая живучесть транспортного средства. Использование газов легче воздуха для создания собственной подъемной силы делает возможным нахождение в воздухе и постепенное снижение на безопасную высоту даже при сбоях или отказах в работе систем или механизмов, что дает время для реакции, возможного устранения поломок или эвакуации экипажа и пассажиров. Относительно невысокая скорость полетов, устойчивость конструкции к внешним воздействиям, способность садиться на любые поверхности, в том числе, на воду, тоже повышает шанс приземления без серьезных последствий в критических ситуациях, а небольшая восприимчивость к изменению погодных условий и выбор оптимальных маршрутов повышает общую безопасность полетов.

6. Возможность круглогодичной безэллиптической эксплуатации и отсутствие потребности в специализированной инфраструктуре. Современные достижения в дирижаблестроении позволяют этим аппаратам взлетать и садиться на любые площадки, эксплуатироваться в любых климатических условиях, в том числе при сильном ветре, низких температурах и осадках. Это делает дирижабли незаменимыми во многих ситуациях, когда необходимо развернуться в месте, где отсутствует развитая инфраструктура или доставить грузы, помощь или обеспечивать связь, особенно при чрезвычайных ситуациях. Также возможность эксплуатации в различных обстоятельствах позволяет быть более гибкими в планировании маршрутов перевозок, увеличивая их эффективность.

7. Возможность взаимодействия с другими видами транспорта. Высокая устойчивость при зависании в воздухе позволяет проводить довольно точные операции, благодаря чему эти воздухоплавательные аппараты взаимодействовать с морским, речным, автомобильным и железнодорожным транспортом. Это предоставляет потенциал для оптимизации процессов погрузки и выгрузки, например, при выгрузке грузов с судов на необорудованный берег или непосредственно конечному получателю, что упрощает и делает более стабильным и надежным доступ в труднодоступные районы.

Однако дирижабли также имеют и ряд недостатков:

1. Низкая маневренность за счет высокого аэродинамического сопротивления при полете. Большая площадь поверхности в сравнении с объемом приводит к

значительному аэродинамическому сопротивлению, которое в условиях Крайнего Севера усугубляется сильными ветрами и воздушными потоками, создавая препятствия в поддержании стабильного курса, а большая масса и инерция снижают маневренность, затрудняя резкие повороты, что следует учитывать при планировании маршрутов.

2. По мере увеличения размеров дирижабля увеличивается и стоимость его содержания. Строительство дирижабля обходится примерно в полтора раза дороже, чем строительство самолета, а для его содержания необходимо строительство ремонтных мастерских, ангаров, и чем больше дирижабль, тем дороже это будет стоить.

3. Отсутствие нормативно-правовой базы, регулирующей эксплуатацию дирижаблей в Арктике. В отличие от других видов транспорта, для которых существуют национальные и международные стандарты, данные летательные аппараты не имеют строгого регулирования, что затрудняет планирование и создание объектов инфраструктуры и работы транспортных средств.

Концепция взаимодействия дирижаблей с морским транспортом

Все это дает возможность интеграции дирижаблей с морскими судами. Концепция интеграции морского транспорта и дирижаблей заключается в использовании летательных аппаратов для выгрузки грузов на необорудованный берег. При этом, сначала, как и при традиционной технологии в просвете люка формируется пакет с грузом, после чего, в зависимости от рода груза, он может перевозиться в грузовых помещениях дирижабля, на внешних подвесах, либо судовыми стрелами пакеты загружаются на грузовые рамы. Количество пакетов на одной раме зависит от грузоподъемности каждого летательного аппарата. После этого, дирижабль зависает над судном и цепляет грузовую раму на внешние подвесы и груз доставляется на берег. Современные технологии в строительстве дирижаблей позволяют выгружать груз с достаточно высокой точностью, поэтому в условиях открытых складских площадок груз может быть выгружен непосредственно на них, либо на специально отведенное место, откуда погрузчик может его перевезти на крытый склад, либо загрузить на автотранспорт.

Также использование дирижаблей позволит доставлять груз непосредственно конечному получателю, что значительно упрощает логистическую цепочку и позволяет перевозить грузы в районы с низкой транспортной доступностью.

Данная технология работ обладает рядом преимуществ:

1. Высокая грузоподъемность дирижабля. При средней грузоподъемности плашкоута 22-32 тонны, современные дирижабли способны поднимать грузы массой до 100 тонн. Такая грузоподъемность позволяет наиболее эффективно перегружать тяжеловесные и крупногабаритные грузы, такие, как машины, механизмы, трубы, которые необходимы для строительства и освоения новых месторождений полезных ископаемых.

2. Уменьшение времени разгрузки судна. Увеличение скорости обработки судна на рейде зависит от нескольких факторов:

- большая грузоподъемность дирижаблей, позволяющая снизить количество рейсов, необходимых для полной выгрузки груза с судна;

- скорость воздухоплавательных аппаратов современной конструкции может достигать 130 километров в час [5], что гораздо выше скорости плашкоутов, составляющей 17-20 километров в час;

- уменьшение количества перевалок груза при доставке с судна сразу на берег, без дополнительных перевалок на другие виды транспорта.

3. Экологичность и низкий уровень шума. Преимущества, перечисленные в предыдущем пункте, позволяют выявить еще преимущества подобной выгрузки грузов на необорудованный берег в области экологичности, что

особенно актуально для существующей технологии. Возможность использования альтернативных видов топлива и низкий уровень его потребления снижают углеродный след и минимизируют воздействие на окружающую среду, не нанося непоправимого следа экосистемам. Возможность садиться на неподготовленные площадки позволяют избежать организации взлетно-посадочных полос и мест стоянки и не нарушать хрупкую природу. Низкий уровень шума, по сравнению с традиционными воздушными видами транспорта, создает меньше беспокойств для местного населения и диких животных.

4. Минимальные требования к инфраструктуре. Дирижабли способны приземляться практически в любом месте без использования взлетно-посадочной полосы, специально подготовленных площадок и причальных мачт, что полностью устраняет необходимость создания сложных инфраструктурных объектов и делает этот вид транспорта незаменимым для работы в удаленных районах. Также, благодаря возможности зависания над местом погрузки и выгрузки, дирижабли могут опускать груз непосредственно на землю, либо сразу на открытую складскую площадку, что практически исключает необходимость использования сложного перегрузочного оборудования. Еще одним положительным качеством является сокращение требуемой инфраструктуры и для самого процесса выгрузки груза за счет уменьшения количества перевалок.

5. Отсутствие ограничений в планировании маршрута перелёта. В условиях невысокой транспортной доступности многих районов Крайнего Севера, одним из важнейших преимуществ является гибкость при выборе маршрута перелета при выгрузке грузов с судов на необорудованный берег и при дальнейшей доставке конечному потребителю. Возможность совершать перелеты на расстояние до 2000 метров без дозаправки увеличивает количество рейсов на одну заправку топливом, снижая скорость разгрузки.

6. Безопасность перевозки грузов. Большая живучесть летательных аппаратов, которая достигается за счет собственной подъемной силы, в случае неисправностей в системах управления обеспечивают безопасность не только для самого летательного аппарата, но и для перевозимого груза. Устойчивость к погодным условиям, таким как сильный ветер и осадки, способность перевозить грузы в собственных грузовых помещениях дирижаблей, а также низкая скорость полета и плавный подъем, и снижение обеспечивают большую безопасность транспортировки, что особенно важно для хрупких грузов, например, электроники, оборудования, медицинских и других изделий. Отдельного внимания заслуживает факт создания современных дирижаблей в соответствии с высокими стандартами безопасности.

7. Возможность контейнеризации перевозок. Современное состояние портовой инфраструктуры на протяжении Северного морского пути, чаще всего, не позволяет использовать контейнерные перевозки. Это связано с устаревшим перегрузочным оборудованием, грузоподъемность которого ниже требуемых значений. Применение дирижаблей позволит выгружать грузы сразу на берег, минуя традиционные технологические схемы с применением портовых кранов. В свою очередь, применение контейнеров упрощает управление доставкой грузов, сокращает время формирования подъема груза, повышает сохранность грузов, экономическую эффективность и простоту хранения и обработки грузов.

8. Экономическая эффективность. Все перечисленные выше достоинства в совокупности приводят еще и к экономической эффективности перевозок. Увеличение скорости выгрузки грузов с судна на необорудованный берег, уменьшение потерь грузов благодаря высокой безопасности и сохранности

грузов в процессе транспортировки, снижение потребности в инфраструктуре, участвующей в процессе перевалки, количества вовлеченных людей за счет сокращения операций повышает рентабельность операций и гибкость в планировании бюджета, позволяя перенаправлять сэкономленные средства на другие важные процессы или модернизацию портов.

Конечно, недостатки у такого способа воспроизводства работ тоже имеются. К ним можно отнести:

1. Необходимость специального обучения персонала. Дирижабли являются сложным техническим средством, поэтому их эксплуатация, точное приземление и выгрузка требуют определенных навыков.

2. Необходимость применения специальных устройств. Для увеличения скорости выгрузки судна, более эффективной является перевозка грузов на берег на внешних подвесах. Однако, такой способ требует применения специальных устройств для размещения и крепления груза, что увеличивает первоначальные затраты и стоимость операций.

3. Отсутствие нормативной документации. Помимо отсутствия нормативно-правовой базы, для производства любого вида перегрузочных работ требуются рабочие технологические карты, регламентирующие установленные в порту процессы грузовых работ. Данный документ обеспечивает высокую интенсивность работ, оптимальную расстановку рабочих и техники, устанавливает оптимальную последовательность выполнения операций, описывает безопасные приемы производства работ и имеют однозначное значение, без возможности двойственной интерпретации описания каждой операции. Применение новых видов транспорта предполагает разработку полностью новых технологических карт, что требует временных и финансовых затрат [9].

Заключение

В результате проведенного исследования выявлено, что интеграция дирижаблей и морского транспорта при обработке судов на рейде имеет ряд преимуществ перед традиционной технологией производства погрузочно-разгрузочных работ, таких как высокая грузоподъемность дирижаблей и, как следствие, уменьшение времени разгрузки судна, экологичность и низкий уровень шума, минимальные требования к инфраструктуре, отсутствие ограничений в планировании маршрута перелета, безопасность перевозки грузов, возможность контейнеризации перевозок и экономическая эффективность. В связи с этим, несмотря на имеющиеся недостатки данной технологии, такой способ производства работ способен привести к совершенствованию транспортной доступности регионов Крайнего Севера и повышению уровня жизни населения.

Список литературы

1. РД 31.41.03-79. Карты типовых и опытных технологических процессов перегрузочных работ, выполняемых в рейдовых портах и портовых пунктах, на льду берегового припая и у необорудованного берега.
2. Лукьянов, Г. Е. Выгрузка на необорудованный берег / Г. Е. Лукьянов, А. А. Максимов // Молодой ученый. – 2024. – № 52(551). – С. 49-53. – EDN CLMCGY.
3. Царев, М. К. Особенности организации морских перевозок с выгрузкой на необорудованный берег / М. К. Царев, Ю. В. Петров // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2020. – Т. 1. – С. 54-57. – EDN JIFXAC.
4. Асинхронная качка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/logistika_v_arktike_osobennosti_riski_i_problemy.html (дата обращения: 28.02.2025).
5. Летательный аппарат “АТЛАНТ” [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://xn--80aaafltebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--p1ai/letatelnyj-apparat-atlant/#Tekhnicheskije-harakteristiki-ATLANT-100> (дата обращения: 20.03.2025)

6. Необорудованный берег: опыт прошлого и ожидание будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/neoborudovanny_bereg_opyt_proshlogo_i_ozhidanie_buduschego.html?ysclid=laqntipxwy968702965 (дата обращения: 14.03.2025).
7. По воде аки посуху: перспективы судов на воздушной подушке [Электронный ресурс]. – PortNews. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/YY0C7R1QNA5ZyAdQ> (дата обращения: 18.05.2025).
8. Проект 10620, тип Витус Беринг [Электронный ресурс]. – Водный транспорт. – Режим доступа: <https://fleetphoto.ru/projects/1952> (дата обращения: 26.05.2025).
9. Стоимость летного часа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mai.ru/upload/iblock/e06/e06803da2bd3dafb137e1dbd295f7796.pdf> (дата обращения: 16.04.2025).

References

1. RD 31.41.03-79. Karty` tipovy`x i opy`tny`x tekhnologicheskix processov peregruzochny`x работ, vy`polnyaemy`x v rejdovy`x portax i portovy`x punktax, na l`du beregovogo priyaya i u neoborudovannogo berega.
2. Luk`yanov, G. E. Vy`gruzka na neoborudovanny`j bereg / G. E. Luk`yanov, A. A. Maksimov // Molodoj ucheny`j. – 2024. – № 52(551). – S. 49-53. – EDN CLMCGY.
3. Czarev, M. K. Osobennosti organizacii morskix perevozok s vy`gruzkoj na neoborudovanny`j bereg / M. K. Czarev, Yu. V. Petrov // Nauchno-tekhnicheskoe i e`konomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke. – 2020. – T. 1. – S. 54-57. – EDN JIFXAC.
4. Asinxronnaya kachka [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.korabel.ru/news/comments/logistika_v_arktike_osobennosti_riski_i_problemy.html (data obrashheniya: 28.02.2025).
5. Letatel`ny`j apparat “ATLANT” [E`lektronny`j resurs] Rezhim dostupa: <https://xn--80aaaftebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--p1ai/letatelnyj-apparat-atlant/#Tekhnicheskie-harakteristiki-ATLANT-100> (data obrashheniya: 20.03.2025)
6. Neoborudovanny`j bereg: opy`t proshlogo i ozhidanie budushhego [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.korabel.ru/news/comments/neoborudovanny_bereg_opyt_proshlogo_i_ozhidanie_buduschego.html?ysclid=laqntipxwy968702965 (data obrashheniya: 14.03.2025).
7. Po vode aki posuxu: perspektivy` sudov na vozduшной podushke [E`lektronny`j resurs]. – PortNews. – Rezhim dostupa: <https://dzen.ru/a/YY0C7R1QNA5ZyAdQ> (data obrashheniya: 18.05.2025).
8. Proekt 10620, tip Vitus Bering [E`lektronny`j resurs]. – Vodny`j transport. – Rezhim dostupa: <https://fleetphoto.ru/projects/1952> (data obrashheniya: 26.05.2025).
9. Stoimost` letnogo chasa [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: <https://mai.ru/upload/iblock/e06/e06803da2bd3dafb137e1dbd295f7796.pdf> (data obrashheniya: 16.04.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Николаева Полина Александровна,
старший преподаватель кафедры
управления морским транспортом
факультета управления, экономики и
права, Морской государственный
университет им. адм. Г.И.
Невельского, 690003, г. Владивосток, ул.
Верхнепортовая, д. 50а, e-mail:
polsidorova@mail.ru

Polina A. Nikolaeva, Senior Lecturer at the
Department of Marine Transport Management,
Faculty of Management, Economics and Law.
Maritime State University named after admiral
G.I. Nevelskoy, Vladivostok, Russia, 50a
Verkhneportovaya str., Vladivostok, 690003, e-
mail: polsidorova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.02.2026; принята к публикации 25.05.2026;
опубликована онлайн 20.06.2026. Received 04.02.2026; published online 20.06.2026.

УДК 620.179.16; 621.791.925
DOI: 10.37890/jwt.vi87.702

Современные подходы к управлению складскими процессами в контексте снижения углеродного следа

А. А. Умбетова

ORCID: 0009-0000-0146-6820

Ж. К. Кегенбеков

ORCID: 0000-0001-8175-7440

Казахстанско-Немецкий университет, Алматы, Казахстан

Аннотация. В условиях глобального перехода к устойчивому развитию и усилению экологических требований к логистической деятельности особую актуальность приобретает проблема снижения углеродного следа складских процессов, характеризующихся высокой энергоёмкостью и значительным вкладом в выбросы парниковых газов. Современные склады являются ключевым элементом цепей поставок, и эффективность управления ими напрямую влияет как на экономические показатели предприятий, так и на их экологическую ответственность. Целью статьи является анализ и систематизация современных подходов к управлению складскими процессами, ориентированных на снижение углеродного следа при сохранении операционной эффективности.

Методологическую основу исследования составляют методы системного и сравнительного анализа, контент-анализ научных публикаций отечественных и зарубежных авторов, а также элементы моделирования логистических процессов. Рассматриваются основные направления экологизации складской деятельности, включая оптимизацию планировки складов, внедрение энергоэффективных и цифровых технологий, использование возобновляемых источников энергии и применение экологически ориентированных показателей эффективности в системе управления.

В результате исследования выявлены ключевые факторы формирования углеродного следа складов и определены управленческие инструменты, позволяющие снизить уровень выбросов углекислого газа на различных этапах складского цикла. Предложена концептуальная модель низкоуглеродного управления складскими процессами, основанная на интеграции экологических критериев в управленческие решения. Полученные выводы имеют практическую значимость для специалистов в области складской логистики и устойчивого развития.

Ключевые слова: управление складскими процессами, углеродный след, складская логистика, энергоэффективность склада.

Modern approaches to warehouse process management in the context of reducing the carbon footprint

Anel A. Umbetova

ORCID: 0009-0000-0146-6820

Zhandos K. Kegenbekov²

ORCID: 0000-0001-8175-7440

Kazakh-German University, Almaty, Kazakhstan

Abstract. In the context of the global transition to sustainable development and the strengthening of environmental requirements for logistics activities, the issue of reducing the carbon footprint of warehouse processes, which are characterized by high energy intensity and a significant contribution to greenhouse gas emissions, becomes particularly relevant. Modern warehouses represent a key element of supply chains, and the efficiency of their management directly affects both the economic performance of enterprises and their

environmental responsibility. The purpose of this article is to analyze and systematize modern approaches to warehouse process management aimed at reducing the carbon footprint while maintaining operational efficiency.

The methodological framework of the study is based on methods of systemic and comparative analysis, content analysis of scientific publications by domestic and foreign authors, as well as elements of logistics process modeling. The paper examines the main directions of warehouse activity environmentalization, including optimization of warehouse layout, implementation of energy-efficient and digital technologies, use of renewable energy sources, and application of environmentally oriented key performance indicators within the management system.

As a result of the study, key factors influencing the formation of the warehouse carbon footprint have been identified, and managerial tools have been determined that make it possible to reduce carbon dioxide emissions at various stages of the warehouse cycle. A conceptual model of low-carbon warehouse process management has been proposed, based on the integration of environmental criteria into managerial decision-making. The findings obtained are of practical significance for specialists in warehouse logistics and sustainable development.

Keywords: warehouse process management, carbon footprint, warehouse logistics, warehouse energy efficiency

Введение

В условиях трансформации мировой экономики в направлении устойчивого развития и декарбонизации хозяйственной деятельности вопросы снижения углеродного следа логистических систем приобретают особую научную и практическую значимость. Существенная часть совокупных выбросов парниковых газов в цепях поставок формируется на этапе складской обработки, что обусловлено высокой энергоёмкостью складской инфраструктуры, интенсивным использованием подъемно-транспортного оборудования, систем освещения, климат-контроля, а также возрастающим уровнем автоматизации и цифровизации складских операций. В этой связи управление складскими процессами все чаще рассматривается не только как инструмент повышения операционной эффективности, но и как важный элемент экологической политики предприятий.

Современные исследования в области логистики и управления цепями поставок указывают на необходимость интеграции экологических критериев в систему принятия управленческих решений. В научных работах отмечается, что традиционные подходы к управлению складами, ориентированные преимущественно на минимизацию издержек и сокращение времени обработки заказов, в условиях усиления экологического регулирования оказываются недостаточными и требуют существенного пересмотра [1]. Особое внимание уделяется вопросам энергоэффективности складских зданий, оптимизации внутренней логистики, внедрения цифровых технологий мониторинга энергопотребления и выбросов, а также использованию экологически ориентированных показателей эффективности.

Анализ зарубежных и отечественных публикаций показывает, что в последние годы активно развиваются концепции «зеленой логистики» и «устойчивого склада», предполагающие снижение негативного воздействия складской деятельности на окружающую среду при одновременном сохранении или повышении экономической эффективности логистических операций [2]. Вместе с тем, несмотря на наличие значительного числа исследований, остается недостаточно проработанным вопрос комплексного управления складскими процессами с позиции системного снижения углеродного следа, учитывающего взаимосвязь стратегических, тактических и операционных решений.

Нерешенной научной проблемой является отсутствие универсальных управленческих моделей, позволяющих интегрировать экологические показатели, в том числе показатели углеродного следа, в систему управления складскими процессами на практике. Недостаточно разработаны методические подходы к выбору и применению экологически ориентированных управленческих инструментов, адаптированных к условиям конкретных логистических систем и уровню их цифровой зрелости [3].

Целью настоящего исследования является анализ и систематизация современных подходов к управлению складскими процессами в контексте снижения углеродного следа. Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие задачи: выявление ключевых факторов формирования углеродного следа складов; анализ современных управленческих и технологических решений, направленных на его сокращение; формирование концептуального подхода к низкоуглеродному управлению складскими процессами.

Теоретическая значимость исследования заключается в расширении научных представлений о роли складской логистики в системе устойчивого развития. Практическая значимость состоит в возможности использования полученных выводов и предложений при разработке и реализации программ экологической модернизации складской инфраструктуры и систем управления логистическими процессами.

Методы

Методологическая база настоящего исследования сформирована с учётом комплексного характера задачи снижения углеродного следа складских процессов, которая затрагивает технологические, управленческие, энергетические и информационные аспекты функционирования складских систем. Для обеспечения достоверности и воспроизводимости результатов применялся совокупный подход, включающий методы анализа, моделирования и обобщения, а также элементы прикладных управленческих исследований.

В качестве основного методологического подхода использовался системный анализ, позволяющий рассматривать склад как многоуровневую логистическую систему, функционирование которой определяется взаимодействием материальных, энергетических и информационных потоков. Применение данного метода обусловлено необходимостью выявления взаимосвязей между параметрами складских процессов и показателями углеродного следа на различных этапах складского цикла — от приёма грузов до их отгрузки конечным потребителям.

На первом этапе исследования был проведён контент-анализ научных публикаций отечественных и зарубежных авторов, посвящённых проблемам устойчивой логистики, «зелёных» складов и экологизации цепей поставок. Анализ охватывал статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах за последние пять лет, что позволило выявить актуальные направления исследований, применяемые методы оценки углеродного следа, а также существующие ограничения и пробелы в научных подходах [4]. Данный этап послужил основой для формирования теоретической рамки исследования и уточнения понятийного аппарата.

На втором этапе использовался сравнительный анализ, направленный на сопоставление традиционных и экологически ориентированных методов управления складскими процессами. В рамках данного анализа рассматривались различные модели организации складской деятельности, уровни автоматизации, схемы энергоснабжения и используемые показатели эффективности. Особое внимание уделялось выявлению различий в структуре энергопотребления и уровне выбросов углекислого газа при применении различных управленческих решений.

Для структурирования факторов, влияющих на формирование углеродного следа склада, был применён метод факторного анализа, результаты которого представлены в таблице 1. Данный метод позволил классифицировать факторы по функциональным группам и определить степень их воздействия на экологические показатели складской деятельности.

Таблица 1

Классификация факторов формирования углеродного следа складских процессов

Группа факторов	Содержание факторов	Характер воздействия	Управляемость
Технологические	Тип складского оборудования, уровень автоматизации, износ техники	Прямое влияние на энергопотребление	Высокая
Энергетические	Источники энергии, энергоэффективность систем освещения и отопления	Прямое	Средняя
Организационные	Планировка склада, маршруты перемещения, графики работы	Косвенное	Высокая
Информационные	Уровень цифровизации, системы мониторинга	Косвенное	Высокая
Экологические	Используемые стандарты, экологические регламенты	Косвенное	Средняя

На следующем этапе исследования применялось **моделирование складских процессов**, которое позволило оценить влияние управленческих решений на величину углеродного следа. В качестве инструмента моделирования использовались логистические схемы, отражающие последовательность операций складского цикла. Моделирование проводилось с целью определения наиболее энергоёмких операций и выявления потенциальных резервов снижения выбросов CO₂ за счёт оптимизации процессов [5].

Для оценки эффективности управленческих решений был использован метод анализа показателей эффективности (KPI), адаптированных к экологическим целям. В рамках исследования применялись показатели удельного энергопотребления, удельных выбросов углекислого газа на единицу складской операции, а также интегральные показатели экологической эффективности. Система используемых показателей представлена в таблице 2.

Таблица 2

Экологически ориентированные показатели оценки складских процессов

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Назначение
Удельное энергопотребление	E _s	кВт·ч/м ²	Оценка энергоэффективности
Выбросы CO ₂ на операцию	C _o	кг CO ₂ /операция	Экологическая нагрузка
Интегральный экологический KPI	EKPI	баллы	Комплексная оценка
Доля ВИЭ в энергобалансе	R	%	Устойчивость энергоснабжения
Коэффициент цифровизации	D	%	Уровень управляемости

Дополнительно применялся метод **экспертных оценок**, использованный для обоснования выбора управленческих инструментов снижения углеродного следа. Экспертная группа формировалась из специалистов в области складской логистики и управления устойчивым развитием. Экспертные оценки позволили ранжировать управленческие меры по степени их экологической и экономической эффективности.

Заключительным этапом исследования стало обобщение и синтез полученных результатов, на основе которых была сформирована концептуальная модель низкоуглеродного управления складскими процессами. Концептуальная модель

представлена на рисунке 1, а её структура и последовательность реализации раскрыты в таблице 3, отражающей логическую схему внедрения экологически ориентированных управленческих решений.

Предлагаемая модель объединяет пять взаимосвязанных контуров управления: входные факторы формирования углеродного следа, аналитико-диагностический блок, блок принятия управленческих решений, технологический блок внедрения и блок мониторинга результатов. Принципиальной особенностью модели является наличие обратной связи: результаты цифрового мониторинга и оценки KPI используются для оперативной корректировки режимов работы склада, маршрутов перемещения и энергетических параметров складской инфраструктуры



Рис. 1. Концептуальная модель низкоуглеродного управления складскими процессами

Таблица 3

Структура и последовательность реализации концептуальной модели низкоуглеродного управления складскими процессами

Блок	Содержание	Методы и инструменты	Ожидаемый эффект
Диагностика	Анализ текущего состояния склада, картирование процессов и выявление наиболее энергоёмких операций	Системный анализ, аудит процессов, сбор исходных KPI	Выявление экологических и операционных проблем
Аналитика	Оценка углеродного следа по этапам складского цикла и формирование базового сценария	KPI-анализ, расчёт удельных выбросов CO ₂ , цифровой мониторинг	Количественная база для принятия решений
Проектирование	Выбор решений по планировке, маршрутизации, режимам работы оборудования и энергоснабжению	Экспертная оценка, сценарное моделирование, многофакторное сравнение	Оптимизация складских процессов
Внедрение	Реализация энергоэффективных и цифровых технологий в операционной деятельности склада	WMS/EMS, автоматизация, LED-освещение, модернизация HVAC, ВИЭ	Снижение энергопотребления и выбросов
Контроль и коррекция	Мониторинг достигнутых показателей и корректировка регламентов управления	Цифровые панели управления, повторный анализ, корректирующие меры	Устойчивый долгосрочный эффект

Выбор перечисленных методов обусловлен их универсальностью, практической применимостью и соответствием целям исследования. Комплексное использование аналитических, моделирующих и экспертных методов позволило обеспечить системность исследования и достоверность полученных выводов [6].

Результаты

В соответствии с поставленной целью и задачами исследования в качестве рабочей гипотезы было выдвинуто предположение о том, что интеграция экологических критериев и цифровых инструментов в систему управления складскими процессами позволяет существенно снизить углеродный след складской деятельности без ухудшения операционных показателей. Для проверки данной гипотезы были получены и проанализированы теоретические и расчетные данные, отражающие влияние управленческих решений на ключевые экологические и производственные параметры складов.

В ходе системного анализа складских процессов установлено, что наибольший вклад в формирование углеродного следа вносят операции, связанные с энергопотреблением складской инфраструктуры и подъемно-транспортного оборудования. Результаты обобщения данных, полученных на основе моделирования типового крытого универсального склада класса В/В+, предназначенного для хранения паллетированных сухих штучных грузов при стандартном температурном режиме и использовании электрических погрузчиков, представлены в таблице 4.

Таблица 4

Структура углеродного следа складских процессов для крытого универсального склада

Этап складского цикла	Доля энергопотребления, %	Доля выбросов CO ₂ , %
Прием и разгрузка	17	15
Внутреннее перемещение	29	31
Хранение	31	30
Комплектация	15	16
Отгрузка	8	8

Примечание – расчеты выполнены для крытого склада площадью 5000 м² с паллетным хранением непродовольственных сухих грузов; для открытых складов, площадок хранения пиломатериалов и холодильных комплексов структура энергопотребления и выбросов CO₂ будет отличаться.

Анализ данных таблицы 4 показывает, что процессы хранения и внутреннего перемещения в совокупности формируют 60 % энергопотребления и 61 % выбросов CO₂ в рассматриваемом сценарии, что подтверждает целесообразность приоритетной оптимизации данных операций. Данный результат согласуется с выводами ряда зарубежных исследований, указывающих на ключевую роль энергоэффективности складских зданий и логистической планировки в снижении углеродного следа [7].

В рамках исследования была проведена оценка влияния внедрения энергоэффективных и цифровых решений на основные экологические показатели складской деятельности. В качестве базового сценария рассматривалась традиционная модель управления складом, ориентированная преимущественно на минимизацию издержек. Альтернативный сценарий предполагал использование экологически ориентированных KPI, систем мониторинга энергопотребления и оптимизированной логистической планировки. Сравнительные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5

Сравнительная оценка показателей эффективности управления складом

Показатель	Базовый сценарий	Низкоуглеродный сценарий	Изменение, %
Удельное энергопотребление, кВт·ч/м ²	245	190	–22,4
Выбросы CO ₂ , кг/м ²	98	72	–26,5
Производительность операций	100	103	+3,0
Доля цифровых процессов, %	45	75	+30

Полученные данные свидетельствуют о том, что внедрение низкоуглеродного управления позволяет снизить удельные выбросы CO₂ более чем на 25 % при одновременном незначительном росте производительности складских операций. Это подтверждает выдвинутую гипотезу о возможности совмещения экологических и экономических целей в управлении складскими процессами.

Дополнительно были рассчитаны интегральные показатели экологической эффективности, отражающие совокупное влияние управленческих решений на устойчивость складской системы. Расчеты показали, что применение экологически ориентированных KPI способствует более стабильному контролю энергопотребления и снижению вариативности выбросов в долгосрочной перспективе. Данный эффект обусловлен повышением управляемости процессов за счёт цифровизации и автоматизации, что подтверждается результатами исследований в области устойчивой логистики [8].

На основе обобщения полученных результатов была сформирована концептуальная зависимость между уровнем цифровизации склада и величиной его углеродного следа, демонстрирующая обратную корреляцию между данными параметрами. Рост уровня цифровизации позволяет оптимизировать маршруты перемещения, снизить время простоя оборудования и повысить точность планирования складских операций, что в конечном итоге приводит к снижению энергопотребления и выбросов парниковых газов.

Результаты исследования подтверждают, что комплексное применение управленческих, технологических и цифровых инструментов является эффективным механизмом снижения углеродного следа складских процессов.

Обсуждение

Полученные в ходе исследования результаты подтверждают выдвинутую рабочую гипотезу о том, что интеграция экологических критериев в систему управления складскими процессами позволяет достичь значимого снижения углеродного следа без негативного влияния на операционную эффективность. Предложенная концептуальная модель (рис. 1) демонстрирует возможность перехода от традиционных, преимущественно затратных моделей управления складской логистикой к более устойчивым и экологически ориентированным управленческим подходам.

Снижение удельных выбросов CO₂, зафиксированное при реализации низкоуглеродного сценария управления, может быть интерпретировано как результат комплексного воздействия нескольких факторов: оптимизации планировки склада, сокращения внутренних перемещений, внедрения цифровых систем мониторинга энергопотребления и применения экологически ориентированных KPI. Аналогичные выводы представлены в исследованиях зарубежных авторов, где подчеркивается, что наибольший экологический эффект достигается не за счёт изолированных технологических решений, а в результате системного изменения управленческой логики складских процессов [9].

Сопоставление результатов настоящего исследования с данными, представленными в научной литературе, позволяет отметить их высокую степень согласованности. Так, в работах, посвящённых концепции «зелёного склада», отмечается, что процессы хранения и внутреннего перемещения являются основными источниками энергопотребления и, следовательно, ключевыми объектами для экологической оптимизации [10]. Полученные в данной работе данные, согласно которым данные операции формируют более 60 % совокупного углеродного следа, подтверждают справедливость данного подхода и обосновывают целесообразность концентрации управленческих усилий именно на этих этапах складского цикла.

Особого внимания заслуживает выявленная в исследовании взаимосвязь между уровнем цифровизации складских процессов и снижением углеродного следа. Рост доли цифровых и автоматизированных операций способствует более точному планированию, снижению избыточных перемещений и простоев оборудования, а также повышению прозрачности управления энергопотреблением. Данный вывод согласуется с результатами исследований, посвящённых внедрению цифровых платформ и интеллектуальных систем управления в логистике, где цифровизация рассматривается как один из ключевых драйверов устойчивого развития цепей поставок [11].

В то же время необходимо отметить, что полученные результаты носят обобщённый характер и в значительной степени зависят от исходных условий функционирования конкретного склада. Уровень технической оснащённости, климатические условия, тип обрабатываемых грузов и организационная структура предприятия могут существенно влиять на масштаб достигаемого экологического эффекта. В этом контексте результаты исследования следует рассматривать как методическую и концептуальную основу, требующую адаптации к конкретным условиям практического применения.

Сравнение с альтернативными подходами, представленными в литературе, показывает, что ряд авторов делает акцент преимущественно на технологических аспектах снижения углеродного следа, таких как использование энергоэффективного оборудования или возобновляемых источников энергии [12]. В отличие от них, в настоящем исследовании обоснована необходимость управленческого подхода, предполагающего интеграцию экологических показателей в систему принятия решений на всех уровнях управления складскими процессами. Такой подход позволяет обеспечить более устойчивый и долгосрочный эффект по сравнению с фрагментарным внедрением отдельных технических решений.

Полученные результаты также позволяют выдвинуть предположение о том, что дальнейшее развитие низкоуглеродного управления складскими процессами будет связано с расширением использования цифровых двойников, прогнозных моделей энергопотребления и автоматизированных систем поддержки управленческих решений. Данные направления уже находят отражение в современных исследованиях в области устойчивой логистики и могут стать основой для последующих эмпирических исследований [13].

Обсуждение результатов подтверждает их научную состоятельность, практическую значимость и соответствие современным тенденциям развития логистики. Выявленные закономерности и сопоставление с результатами других авторов позволяют рассматривать предложенный подход как перспективное направление дальнейших исследований в области управления складскими процессами в контексте снижения углеродного следа.

Заключение

Проведённое исследование позволило всесторонне рассмотреть современные подходы к управлению складскими процессами в контексте снижения углеродного следа и подтвердить актуальность интеграции экологических критериев в систему

логистического управления. В ходе работы было установлено, что складская деятельность оказывает существенное влияние на формирование совокупных выбросов парниковых газов в цепях поставок, что обусловлено высокой энергоёмкостью складской инфраструктуры и интенсивностью выполняемых операций.

В соответствии с поставленной целью исследования были выявлены ключевые факторы формирования углеродного следа складских процессов, среди которых наибольшее значение имеют процессы хранения и внутреннего перемещения грузов, параметры энергоснабжения складских объектов, уровень автоматизации и степень цифровизации управления. Анализ показал, что традиционные модели управления складом, ориентированные преимущественно на экономические показатели, не обеспечивают достаточного уровня экологической эффективности в условиях усиления требований устойчивого развития.

Полученные результаты подтвердили рабочую гипотезу о возможности одновременного достижения экологических и операционных целей за счёт внедрения низкоуглеродных управленческих решений. Интеграция экологически ориентированных показателей эффективности, использование цифровых систем мониторинга и оптимизация складских процессов позволяют снизить удельные выбросы углекислого газа без ухудшения производительности и качества логистических операций. Это свидетельствует о том, что экологизация складской логистики может рассматриваться не как ограничение, а как фактор повышения устойчивости и управляемости логистических систем.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования предложенного подхода при разработке программ экологической модернизации складской инфраструктуры, формировании корпоративных стратегий устойчивого развития и внедрении систем экологического менеджмента в логистических подразделениях. Представленные выводы и рекомендации могут быть применены руководителями складских комплексов и специалистами в области логистики при выборе приоритетных направлений оптимизации складской деятельности.

В качестве рекомендаций по дальнейшему развитию управления складскими процессами в контексте снижения углеродного следа целесообразно отметить необходимость расширения использования цифровых технологий, интеллектуальных систем управления и автоматизированных инструментов анализа энергопотребления. Особое значение приобретает внедрение комплексных систем мониторинга, позволяющих в реальном времени оценивать экологические показатели и оперативно корректировать управленческие решения.

Перспективы дальнейших исследований в данной области связаны с разработкой количественных моделей оценки углеродного следа складских операций, адаптированных к различным типам складов и отраслевой специфике, а также с проведением эмпирических исследований на базе реальных логистических объектов. В долгосрочной перспективе можно прогнозировать дальнейшее усиление роли экологических факторов в управлении складской логистикой, расширение нормативного регулирования и рост значимости низкоуглеродных решений как неотъемлемого элемента конкурентоспособности логистических систем.

Список литературы

1. McKinnon A. Decarbonizing logistics: Distributing goods in a low carbon world. London: Kogan Page, 2018. 400 p.
2. Piecyk M., McKinnon A. Forecasting the carbon footprint of road freight transport in Europe // *International Journal of Production Economics*. 2010. Vol. 128. No. 1. Pp. 31–42. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.08.027.

3. Rouwenhorst B., Reuter B., Stockrahm V. Warehouse design and control: Framework and literature review // *European Journal of Operational Research*. 2000. Vol. 122. No. 3. Pp. 515–533. DOI: 10.1016/S0377-2217(99)00020-X.
4. McKinnon A., Browne M., Whiteing A., Piecyk M. Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics. London: Kogan Page, 2015. 408 p.
5. Beamon B. Environmental and sustainability ethics in supply chain management // *Science and Engineering Ethics*. 2005. Vol. 11. No. 2. Pp. 221–234. DOI: 10.1007/s11948-005-0043-3.
6. Dekker R., Bloemhof J., Mallidis I. Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges // *European Journal of Operational Research*. 2012. Vol. 219. No. 3. Pp. 671–679. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.11.010.
7. Baker P., McKinnon A. The impact of warehouse layout on energy consumption // *International Journal of Logistics Research and Applications*. 2019. Vol. 22. No. 6. Pp. 593–607. DOI: 10.1080/13675567.2019.1575504.
8. Accorsi R., Manzini R., Ferrari E. A comparison of warehousing performance metrics in sustainable supply chains // *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 152. Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.12.007.
9. Mangiaracina R., Song G., Perego A. Distribution network design: A literature review and a research agenda // *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2015. Vol. 45. No. 5. Pp. 506–531. DOI: 10.1108/IJPDLM-02-2015-0031.
10. Tan K. H., Zhan Y., Ji G. Warehouse management and energy efficiency: A review // *Energy Policy*. 2020. Vol. 146. 111812. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111812.
11. Ivanov D., Dolgui A. Digital supply chain management and technology-based resilience // *International Journal of Production Research*. 2020. Vol. 58. No. 10. Pp. 2975–2991. DOI: 10.1080/00207543.2019.1667532.
12. Gong Y., Jia F., Brown S. Sustainable logistics and supply chain management: A systematic review // *International Journal of Production Economics*. 2018. Vol. 195. Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.ijpe.2017.10.004.
13. Kamble S., Gunasekaran A., Gawankar S. Sustainable Industry 4.0 framework // *International Journal of Production Research*. 2018. Vol. 56. No. 1–2. Pp. 130–155. DOI: 10.1080/00207543.2018.1442752.

References

1. McKinnon A. Decarbonizing logistics: Distributing goods in a low carbon world. London, Kogan Page Publ., 2018, 400 p.
2. Piecyk M., McKinnon A. Forecasting the carbon footprint of road freight transport in Europe. *International Journal of Production Economics*, 2010, vol. 128, no. 1, pp. 31–42. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.08.027.
3. Rouwenhorst B., Reuter B., Stockrahm V. Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 2000, vol. 122, no. 3, pp. 515–533. DOI: 10.1016/S0377-2217(99)00020-X.
4. McKinnon A., Browne M., Whiteing A., Piecyk M. Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics. London, Kogan Page Publ., 2015, 408 p.
5. Beamon B. Environmental and sustainability ethics in supply chain management. *Science and Engineering Ethics*, 2005, vol. 11, no. 2, pp. 221–234. DOI: 10.1007/s11948-005-0043-3.
6. Dekker R., Bloemhof J., Mallidis I. Operations research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 2012, vol. 219, no. 3, pp. 671–679. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.11.010.
7. Baker P., McKinnon A. The impact of warehouse layout on energy consumption. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2019, vol. 22, no. 6, pp. 593–607. DOI: 10.1080/13675567.2019.1575504.
8. Accorsi R., Manzini R., Ferrari E. A comparison of warehousing performance metrics in sustainable supply chains. *International Journal of Production Economics*, 2014, vol. 152, pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.12.007.
9. Mangiaracina R., Song G., Perego A. Distribution network design: A literature review and a research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2015, vol. 45, no. 5, pp. 506–531. DOI: 10.1108/IJPDLM-02-2015-0031.

10. Tan K.H., Zhan Y., Ji G. Warehouse management and energy efficiency: A review. *Energy Policy*, 2020, vol. 146, article 111812. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111812.
11. Ivanov D., Dolgui A. Digital supply chain management and technology-based resilience. *International Journal of Production Research*, 2020, vol. 58, no. 10, pp. 2975–2991. DOI: 10.1080/00207543.2019.1667532.
12. Gong Y., Jia F., Brown S. Sustainable logistics and supply chain management: A systematic review. *International Journal of Production Economics*, 2018, vol. 195, pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.ijpe.2017.10.004.
13. Kamble S., Gunasekaran A., Gawankar S. Sustainable Industry 4.0 framework. *International Journal of Production Research*, 2018, vol. 56, no. 1–2, pp. 130–155. DOI: 10.1080/00207543.2018.1442752.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Умбетова Анель Алпысхановна,
магистрант, Казахстанско-Немецкий
университет, 050000, Алматы, Казахстан, ул.
Пушкина, дом 111, e-mail:
anel.umbetova@icloud.com

Anel A. Umbetova, undergraduate student of the
Kazakh-German University, Pushkina Street,
111, Almaty, Kazakhstan, 050000 email:
anel.umbetova@icloud.com

Кегенбеков Жандос Кадырханович,
кандидат технических наук, профессор,
Казахско-Немецкий университет, 050000,
Алматы, Казахстан, ул. Пушкина, дом 11, e-
mail: kegenbekov@dku.kz

Zhandos K. Kegenbekov, Candidate of
Technical Sciences, professor, Kazakh-German
University, Pushkina Street, 111, Almaty,
Kazakhstan, 050000

Статья поступила в редакцию 27.01.2026; принята к публикации 20.04.2026;
опубликована онлайн 20.06.2026. Received 27.01.2026; published online 20.06.2026.

УДК 656.073:332.146.2 (045)

DOI: 10.37890/jwt.vi87.708

Перспективные направления развития Северного морского пути для обеспечения экономической безопасности России

В.С. Чеботарев¹

ORCID: 0000-0002-2913-2360

О.Л. Морозов²

ORCID: 0000-0001-6526-2755

А.В. Дорожкин³

ORCID: 0000-0003-3578-6421

В.И. Минеев¹

ORCID: 0000-0002-5079-7922

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

²Нижегородская академия МВД России, г. Нижний Новгород, Россия

³Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Материалы приведённой публикации посвящены первостепенным задачам, требующим своего разрешения в связи с необходимостью выхода на новый уровень эксплуатации Северного морского пути (СМП), в разрезе повышения объёмов движения по нему кораблей ледового класса с сырьевой продукцией и товарной массой. В исследовании проанализированы имеющиеся научные статьи в электронных и печатных изданиях по данной тематике и на основе содержащейся в них информации об объективной картине мировой транспортной отрасли морских грузовых перевозок и существующих проблемных аспектах в условиях международного рыночного соперничества определены перспективные направления развития архитектуры Северного морского пути для обеспечения экономической безопасности России.

Были сделаны выводы о высоком уровне востребованности в настоящее время апгрейда менеджмента СМП, повсеместного на всём протяжении маршрута судоходства внедрения системы предупреждения о потенциальных опасностях климатической и ледовой обстановки, совершенствования эксплуатируемых и возведения новых современных мультимодальных портовых сооружений, расширения парка арктических, в том числе атомных, кораблей высокого ледового класса.

Планируемое круглогодичное использование шести морей Северного Ледовитого океана, омывающих прибрежную зону Российской Федерации, увеличение транзитных и каботажных перевозок по СМП станут важнейшим маркером экономического суверенитета нашей страны, который позволит обеспечить надёжные коммуникации территориальных субъектов, передовые позиции в мировой логистике, создать основу для дальнейшего роста новейших транспортных технологий и связанных с этим научных исследований, развивать базы отечественного Военно-Морского Флота.

При этом, развёрнутая рядом северных государств борьба за Арктику, её природные ископаемые и морские пути придаёт особый импульс ускорению освоения арктической исключительной экономической зоны Российской Федерации в целях укрепления её экономического и военного присутствия на данных территориях в рамках обеспечения национальной безопасности России.

Ключевые слова: Экономическая безопасность, Северный морской путь, арктическая зона, транспортное сообщение, логистические цепочки, ледокольный и грузовой флот, грузоперевозки, акватория, терминал, логистический комплекс, портовые сооружения.

Promising areas of development of the Northern Sea Route to ensure Russia's economic security

Vladislav S. Chebotarev¹

ORCID: 0000-0002-2913-2360

Oleg L. Morozov²

ORCID: 0000-0001-6526-2755

Artyom V. Dorozhkin³

ORCID: 0000-0003-3578-6421

Valery I. Mineev¹

ORCID: 0000-0002-5079-7922

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

²*Nizhny Novgorod Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Nizhny Novgorod, Russia*

³*National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The materials in this article are devoted to the primary tasks that need to be resolved due to the need to reach a new level of the Northern Sea Route (NSR) operation, in terms of increasing the volume of ice-class ships movement with raw materials and bulk. The study analyzes the available scientific articles in electronic and printed publications on this topic and, based on the information they contain about the objective picture of the global maritime cargo transportation industry and existing problematic aspects in the context of international market competition, identifies promising areas for the development of the Northern Sea Route architecture to ensure Russia's economic security.

Conclusions were drawn about the high level of demand for the NSR management, upgrade, the widespread introduction of a warning system about potential hazards of climatic and ice conditions throughout the shipping route, the improvement of existing and construction of new modern multimodal port facilities, and the expansion of the Arctic fleet, including nuclear, high-class ships.

The planned year-round use of the Arctic Ocean six seas bordering the coastal zone of the Russian Federation, an increase in transit and coastal transportation along the NSR will become the most important marker of our country's economic sovereignty, which will ensure reliable communications of territorial entities, leading positions in global logistics, create the basis for further growth of the latest transport technologies and related scientific research, develop bases of the Russian Navy.

At the same time, the struggle for the Arctic, its natural resources and sea routes launched by a number of northern states gives a special impetus to accelerating the development of the Arctic exclusive economic zone of the Russian Federation in order to strengthen its economic and military presence in these territories as part of ensuring Russia's national security.

Keywords: Economic security, Northern Sea Route, Arctic zone, transport links, logistics chains, icebreaker and cargo fleet, cargo transportation, water area, terminal, logistics complex, port facilities.

Введение

В современный период развития мировой цивилизации расширение экономических связей между континентами и государствами за счёт использования северных территорий приобретает особое значение. Морской маршрут российской арктической зоны становится крайне востребованной стратегической транспортной артерией для международных торговых контактов и укрепления их экспортной составляющей.

Из-за происходящего повышения климатических температур в северных морях, в том числе и в исключительной экономической зоне России, всё быстрее происходит колликация льдов. Это делает возможным и необходимым в настоящее время

совершенствование и развитие российского Северного морского пути (далее – СМП) для осуществления грузовых морских перевозок и межгосударственных торговых операций, так как роль отечественных арктических территорий как базы для добычи полезных ископаемых и безопасного и оптимального по времени транспортного коридора только возрастает.

В немалой степени этому способствуют развивающиеся технологические процессы сжижения газа и арктического кораблестроения. Независимые оценки и предварительные геологические изыскания позволяют предположить наличие на данной территории не менее одной четверти общепланетарных неразведанных до конца объемов нефти и газа.

Время перемещения товарной массы по СМП сокращается в разы по сравнению с традиционными коммерциализированными южными маршрутами. Достаточно сказать, что расстояние от Мурманска до Шанхая по Северному Морскому Пути - 7 тыс. миль, а через Суэцкий канал - 12,5 тыс. миль.

СМП предоставляет реальную возможность минимизировать протяженность транспортировки полезных ископаемых и готовой товарной продукции через Суэцкий канал на 40% с учётом имеющихся и функционирующих российских портов вдоль всей 3000-мильной траектории пути. Это даёт возможность существенно снизить транспортные расходы при параллельном росте объемов межгосударственного товарооборота.

Данная заполярная водная магистраль сегодня представляет собой фрагмент новой архитектуры транспортной логистики, соединяющей западную часть страны с её северными и дальневосточными территориями. Она призвана обеспечить преимущественно из западных хабов круглогодичный северный завоз и межсубъектовый каботаж товаров народного потребления, сырья, продуктов переработки, грузовой оборот которых может достичь более 300 млн тонн.

Для грузоперевозок СМП очевидно выступает самым надёжным направлением, проходящим по российским водам. Также СМП представляется вполне конкурентоспособным маршрутом для грузов, перемещаемых по железным дорогам. Несмотря на то, что навигация длится в среднем от двух до четырёх месяцев, использование ледоколов позволяет сделать её круглогодичной.

Движение судов по этому пути осуществляется вблизи северных берегов территории Российской Федерации в её исключительном экономическом пространстве, что обуславливает наличие у нашей страны безусловных контрольных функций за судоходством, навигационной и изыскательской деятельностью в соответствии со статьёй 234 Конвенции ООН по морскому праву.

По мнению экспертов Евразийской Организации Экономического Сотрудничества, в 2018 г. объёмы перевозимых грузов составили 20,1 млн тонн, к 2024 г. они возросли до 80 млн тонн, к 2030 г. возрастут до 120 млн тонн, к 2035 г. — до 160 млн тонн, в том числе объёмы транзитных перевозок достигнут 10 млн тонн в 2035 г.

Статистика последних лет показывает, что Севморпуть живёт и активно работает. Например, за последний год только «Современный коммерческий флот» (АО «Совкомфлот») отправил в порты КНР и стран Юго-Восточной Азии более 1,7 млн тонн углеводородов, а к 2030 году предполагается перевезти по северному морскому маршруту 57 миллионов тонн одних только углеводородов - около 20 миллионов тонн нефти, четыре миллиона тонн газового конденсата и 32 миллиона тонн сжиженного природного газа [1].

Увеличение транспортных расходов и срыв сроков доставки грузов по южным морским маршрутам в современной сложной геополитической обстановке ожидаемо создают неразрешимые проблемы между грузоотправителями и грузополучателями, турбулентные ситуации как в экономической деятельности отдельных государств, так

и в мировой экономике, кардинально влияют на уже сложившиеся тотальные системы маркетинга, а также энергетическую и топливную безопасность.

В этих условиях, учитывая совершенствование отечественных инфраструктурных проектов и рост востребованности дополнительных транспортных каналов перевозок, становится очевидно, что СМП является оптимальным выходом из складывающегося логистического тупика.

Методы

Методами, используемыми при написании данной научной статьи, являются, в основном, теоретические и некоторые эмпирические.

Среди теоретических применялись такие методы, как анализ, синтез, индукция, дедукция, абстрагирование.

Данные исследовательские инструменты позволили провести анализ актуальной картины мира в части осуществления странами морских перевозок стратегического сырья и готовой продукции с учётом сложившихся сложных взаимоотношений и вооружённых конфликтов между отдельными государствами, коренным образом влияющих на функционирование основных логистических маршрутов и узлов, с помощью которого был сформулирован вывод об объективной востребованности в настоящее время транспортных маршрутов, проходящих по северным морям Российской Федерации в арктической зоне. На основе имеющейся информации после соответствующей интерпретации данных, выявления закономерностей и обоснования результатов исследования были выдвинуты гипотезы и концепции перспективных направлений развития Северного морского пути для обеспечения экономической безопасности России.

Из всего многообразия эмпирических методов были выбраны наблюдение и сравнение. С помощью данного инструментария был проведен мониторинг имеющейся информации в изданных статьях по рассматриваемой теме, а также осуществлён сравнительный анализ эффективности использования Северного морского пути и альтернативных способов доставки грузов по иным маршрутам с признанием очевидного факта неоспоримого преимущества российской логистической модели.

Кроме того, дополнительно использовался качественный метод, с помощью которого осуществлялся сбор и анализ нечисловых данных. Все представленные данные из открытых источников, в том числе в информационно-телекоммуникационной среде, позволили с полной уверенностью подтвердить ранее сделанные выводы с учётом объективной необходимости непрерывно развивать и совершенствовать как транспортно-логистические хабы, так и отечественный ледокольный и грузовой арктический флот.

Результаты и обсуждение

Перспективные направления развития Северного морского пути (СМП) (рис. 1) для обеспечения экономической безопасности Российской Федерации включают следующие генеральные направления развития: трансформацию логистических комплексов с учётом географического расположения и окружающей природной среды, увеличение количества атомоходов ледокольного и грузового арктического флота, рациональное распределение маршрутов движения и совершенствование управления портовыми мощностями на основе современных инновационных телекоммуникационных технологий, а также расширение межгосударственных связей с дружественными странами [2].



Рис. 1. Северный морской путь (СМП) [2]

1. Трансформация логистических комплексов с учётом географического расположения и окружающей природной среды, создание современной и обновление существующей инфраструктуры вдоль Северного морского пути. Это направление развития реализуется путем решения следующих задач:

- полное переформатирование соответствующих терминалов в морской акватории на глубине, позволяющей принимать крупнотоннажные суда, и возведение современного причального оборудования, проведение мероприятий, связанных с дноуглубительными работами для швартовки бортов с увеличенным водоизмещением (например, порт Сабетта, возведённый в рамках проекта «Ямал СПГ», который занял место основного звена в процессе рассредоточения и транспортировки сжиженного природного газа и соответствует современным международным стандартам, обладая глубинами до 15,3 метров и высокотехнологичным перегрузочным оборудованием) [3];

- сооружение мультимодальных хабов, реализующих задачи перевалки, хранения товарной массы и распределения грузопотоков (например, транспортный узел в Архангельске, являющийся системообразующим звеном северного транспортного маршрута, или порт Тикси, которому требуется углубление акватории до 12–14 м, строительство крытых складских комплексов, создание ремонтной базы для портового флота, что позволит превратить этот порт в полноценный логистический хаб восточного сектора СМП) [4];

- законодательное закрепление ведущей организующей роли отечественного контейнерного оператора для координации межгосударственных и каботажных транспортных перевозок в акватории СМП [5];

- совершенствование транспортного сообщения путем строительства необходимого количества так называемых многофункциональных транспортных узлов — логистических центров синергии всех возможных в арктических условиях разновидностей транспорта, которые могут объединять автомобильный, железнодорожный, морской, речной, воздушный и трубопроводный виды транспортных средств, связывающие СМП с субъектами Российской Федерации и зарубежными странами;

- продолжение железнодорожного сообщения до районов Крайнего Севера в Северо-Западном, Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных

округах, что однозначно будет способствовать увеличению дальности и равномерному распределению перевозок на всём протяжении пути (например, введение железнодорожного сообщения с западным берегом Кольского залива для развития порта Мурманска).

В развитие данного направления развития СМП очень важным в настоящее время становится воплощение в жизнь такого проекта мультимодального транспортного маршрута перевозок, как Трансарктический транспортный коридор (ТАТК) Санкт-Петербург — Калининград — Мурманск — Архангельск — Владивосток (рис. 2) протяжённостью порядка 14 тыс. км, который проходит через арктические воды и включает в себя Северный морской путь. Он является комплексной транспортной системой, обеспечивающей связность СМП с объектами портовой и подводящей инфраструктуры, а также кратчайшее морское сообщение между Европой и Азиатско-Тихоокеанским регионом, которая способна гарантировать доступ к странам Юго-Восточной Азии, Индии, Персидского залива и Африки [6].

Основными задачами этого проекта являются:

- формирование сквозной логистической цепочки для поставки грузов из регионов Сибири, Урала и Дальнего Востока в отечественные арктические порты, являющиеся ключевыми хабами ТАТК, такие, как Усть-Луга, Мурманск, Архангельск, Дудинка, Сабетта, Тикси, Певек и Владивосток;
- укрепление транзитных возможностей России на векторе «Европа — Азия»;
- расширение масштабов судостроения и портовой инфраструктуры, в том числе строительство судов ледового класса;
- универсализация региональных речных перевозок, включая маршрутные направления «Реки Сибири — Северный морской путь».

Оптимально осваивая выделенные финансовые средства, в том числе частные инвестиции, а также трансформируя имеющуюся инфраструктуру с учётом назревших потребностей, СМП может и должен стать конкурентоспособной межгосударственной транспортной артерией, представляющей альтернативные возможности перемещения глобальных объёмов товарной продукции различного назначения в рамках мировой торговли, прежде всего, в интересах отечественной экономики.

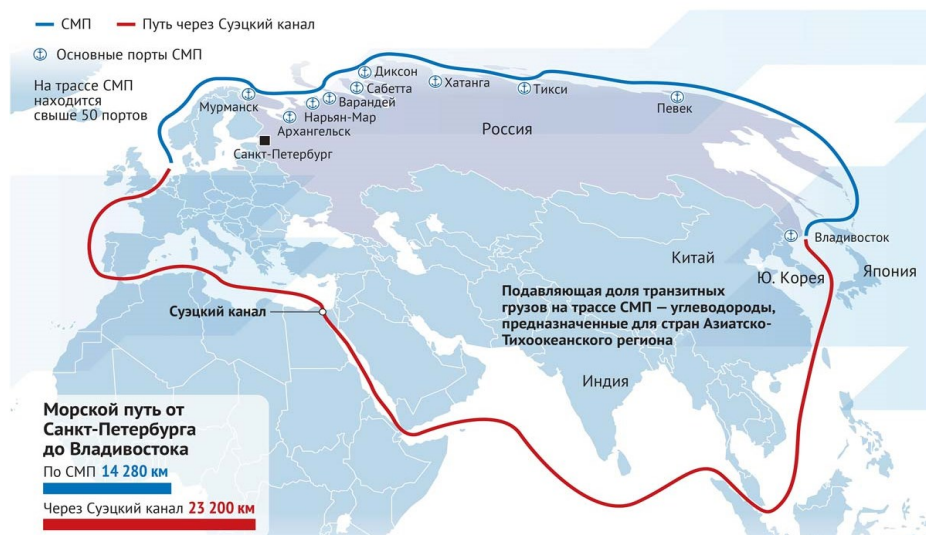


Рис. 2. Трансарктический транспортный коридор (ТАТК) [1]

2. Увеличение количества атомоходов ледокольного и грузового арктического флота. Это обусловлено необходимостью сохранить всесезонную навигацию по СМП и доставку продукции по действующим и планируемым проектам в арктической зоне. Данный вектор развития должен быть обеспечен:

- строительством новых ледокольных судов с ядерной энергетической установкой, обеспечивающей их функциональность в условиях Крайнего Севера, что позволит осуществлять непрерывную всесезонную навигацию по СМП (например, для обеспечения потребностей по перевозке грузов к 2035 году необходимо спустить на воду более 18 ледоколов и более 90 грузовых судов ледового класса) [7];

- серийным производством современных грузовых судов повышенной прочности и мощности, способных ходить по маршруту СМП [5];

В настоящее время в состав ледокольного флота России входит 43 судна, из них 35 дизель-электрических и 8 атомных. Общая мощность этих ледоколов — около 700 МВт. Парк атомных ледоколов представлен следующими судами:

- «Арктика», «Урал», «Сибирь» и «Якутия» — суда проекта 22220 мощностью 60 МВт (81 тыс. л.с.);
- «Ямал» и «50 лет Победы» — мощностью 55 МВт (75 тыс. л.с.);
- «Таймыр» и «Вайгач» — мощностью 37,5 МВт (50 тыс. л.с.).

Кроме того, к декабрю 2026 года планируется завершить строительство атомохода «Чукотка» — пятого судна проекта 22220. Параллельно строятся ледоколы «Ленинград» и «Сталинград», шестой и седьмой по счёту в этом проекте атомоходы. Ожидается, что новые суда будут введены в эксплуатацию в 2028 и 2030 годах соответственно.

Еще один атомный головной ледокол «Россия» проекта «Лидер» строится на мощностях дальневосточной верфи «Звезда» со сроком ввода в эксплуатацию в 2029 году [8].

К 2035 году ледокольный флот на СМП будет увеличен до 18 единиц. Предусмотрено строительство еще 10 ледоколов, 46 судов аварийно-спасательного флота и 3 баз размещения аварийно-спасательного флота. В том числе флот «Росатома» планируется пополнить ещё четырьмя атомными и четырьмя неатомными ледоколами, флот «Росморречфлота» — одним неатомным ледоколом [9].

Несмотря на это, имеются определенные проблемные моменты, связанные с износом и дефицитом ледоколов для эксплуатации в самой обширной в мире - российской арктической зоне.

В частности, нехватка ледоколов создаёт трудности для постоянного функционирования портов в Северо-Западном бассейне. Там до сих пор эксплуатируются дизельные ледоколы возрастом более 40 лет, такие, как например, ледокол «Авраамий Завенягин», находящийся в проблемном техническом состоянии и ремонтирующийся в настоящее время на Архангельской ремонтно-эксплуатационной базе (РЭБ) [9].

Чтобы нивелировать дефицит атомного флота, «Росатом» продлил ресурс атомных установок ледоколов старого поколения с 100 тыс. часов до 255 тыс. часов — это увеличило их срок службы с 33 до 40 лет [10].

Отечественный грузовой флот, функционирующий в арктической зоне и включающий суда ледового класса, представляют 20 плавсредств из корабельной группировки «Ямал СПГ» и недавно введённых в строй судов для обслуживания проекта «Арктик СПГ-2» [11].

Нельзя не констатировать, что расширение парка грузового флота происходит одновременно с ледокольным. Это связано с тем, что, несмотря на то, что всем грузовым судам данной категории присвоен ледовый класс, он зачастую не позволяет проходить СМП, особенно в его северо-восточной части.

Увеличение товарооборота объясняется, в первую очередь, ростом арктического грузопотока из России в другие страны и транзитных перевозок через СМП. Очевидно, что первостепенной задачей является наращивание танкерного флота и газозовов в связи с тем, что преобладающий объём грузов представлен СПГ, нефтью и нефтепродуктами.

Вместе с тем Россия испытывает определенную нехватку судов арктического класса. Так, для прохода по Северному морскому пути (СМП) в восточном направлении от Ямала в сторону Камчатки нужны суда самого высокого ледового класса — Arc7. Из-за с существующей в настоящее время санкционной политики в отношении нашей страны отсутствует возможность приобретения таких судов за рубежом, что обуславливает возросшую необходимость их расширенного производства на территории нашего государства, а также используя верфи Китая, Индии и других дружественных стран [11].

При этом есть все основания полагать, что к 2030 году число судов высокого арктического класса должно возрасти до 132 единиц [12].

Отечественные учёные вышли с инициативными предложениями по использованию подводных лодок для транспортировки энергоресурсов.

Идею подводных газозовов предложил и обосновал Институт Курчатова во взаимодействии с некоторыми производственными предприятиями. Основные положения проекта представляю собой с одной стороны достаточно очевидную, но, в то же время неожиданную креативную концепцию: мегаподводная лодка подо льдом Северного Ледовитого океана перевозит находящиеся в ней специальные криогенные резервуары со сжиженным природным газом.

Предположительно длина таких судов может достигать примерно 360 метров, ширина — около 70 метров, а осадка составит 12–14 метров. В случае реализации это будет один из самых гигантских глубоководных аппаратов, когда-либо построенных в мировой истории.

Внутри корпуса разместят мембранные танки для СПГ. Их общий объём может достигать 170–180 тысяч кубометров, что аналогично объёму современного надводного газозова ледового класса.

Главной энергетической установкой станут три ядерных реактора типа «Ритм-200». Каждый из них будет обеспечивать работу электродвигателя мощностью около 30 мегаватт.

Этот реактор уже используется на российских атомных ледоколах и считается одной из самых современных разработок в сфере морской ядерной энергетики. Тепловая мощность установки достигает 175 мегаватт, а в ее состав входят четыре парогенератора. За счет такой силовой установки подводный газозов сможет развивать скорость примерно 17 узлов или 31,5 км/час.

Данная идея подводных газозовов, несмотря на кажущуюся нереальность, смогла заинтересовать руководство нашей страны.

Президент Российской Федерации В.В. Путин отметил, что сначала эта концепция казалась слишком необычной, но после более детального изучения стало понятно, что она может иметь практический смысл.

Данные проектные исследования в настоящее время изучают такие крупнейшие отечественные энергетические компании, как «Газпром» и «Новатэк». Именно они сейчас занимаются развитием производства сжиженного природного газа в Арктике, а более скоростной и автономный транспортный маршрут может привести к реальному увеличению их экспортных возможностей [13].

3. Рациональное распределение маршрутов движения и совершенствование управления портовыми мощностями на основе современных инновационных телекоммуникационных технологий. Это направление развития СМП достигается:

- внедрением цифровых технологий в целях оптимизации и сокращения сроков таможенных процедур при оформлении перемещаемых товаров, тотальной цифровизации морских портовых сооружений для сортировки и учёта грузов (например, компьютерная программа «цифрового порта» даёт возможность практически без задержек принимать и систематизировать детальный массив информации в формате онлайн) [14];

- формированием российской информационно-телекоммуникационной транспортно-логистической платформы, которая позволит достичь сокращения объёма бумажного документооборота и преобразования всей документации преимущественно в цифровую плоскость [15];

- развитие навигационной инфраструктуры, внедрение последних отечественных разработок систем навигации, связи и мониторинга, создание арктической спутниковой группировки, которая призвана обеспечить гидрометеорологическое и навигационное сопровождение судоходства и оценивать изменения климата (например, в 2022 году «Росатом» запустил систему спутникового мониторинга ледовой обстановки, что повысило безопасность судоходства) [16];

4. Расширение межгосударственных связей с дружественными странами. Данная перспективная и востребованная в настоящее время область решения задач по развитию СМП предполагает:

- балансировку таможенных правил и стандартов и существующих соблюдаемых международных предписаний, которая снимет необязательные бюрократические барьеры во взаимоотношениях с дружественными иностранными партнёрами;

Идеологические предпосылки и френдшоринг – направление деятельности по формированию каналов доставки товаров преимущественно из дружественных стран в современном историческом периоде представляют собой особое значение в формировании мегарегиональных транспортных договоров. Солидарность государств и похожие подходы к пониманию международной обстановки являются основой взаимовыгодных торговых отношений при возрастании общественно-политических негативных процессов. Международная кооперация таких стран сводит к минимуму разногласия по регуляторным нормативам и стандартам качества, что закладывает прочный фундамент для выстраивания экономических векторов взаимодействия [17].

- продолжение укрепления сотрудничества по возведению новых портов и кораблестроительству с Китайской Народной Республикой, которое несомненно даст импульс росту тоннажа грузоперевозок по СМП и притянет инвестиции как минимум двух стран – России и Китая, а также вовлечение в орбиту совместных проектов и других дружественных Российской Федерации стран, прежде всего таких, как Северная Корея, Вьетнам и Индия, что позволит диверсифицировать логистические направления в рассматриваемой арктической зоне;

- оформление на законодательном уровне таких международных правовых норм для акватории СМП, которые встанут на защиту интересов России и других дружественных стран, участвующих в арктических проектах, от незаконного вмешательства иных недружественных государств;

- упрочение дислоцирования в арктическом секторе Вооружённых Сил Российской Федерации и, прежде всего, военно-морского флота, что естественным образом предопределяет надёжный контроль за функционированием соответствующих стратегических транспортных маршрутов и гарантирует безопасность отечественного судоходства по СМП;

– сохранение ведущей роли Российской Федерации в управлении СМП при деятельном ведении международных переговоров по регулированию доступа к арктическим морским путям дружественных государств [18].

Заключение

Правительство Российской Федерации уделяет особое внимание совершенствованию инфраструктурной базы Северного морского пути, учитывая его значение как первостепенного в современных условиях коммерческого логистического маршрута мирового уровня.

План развития Северного морского пути на период до 2035 года был утверждён распоряжением Правительства РФ от 1 августа 2022 г. N 2115-р.

Данным нормативным правовым актом запланировано возведение кораблей арктического класса и, прежде всего, головного ледокола проекта «Лидер». Кроме того, в нём заложено увеличение аварийного спасательного флота на 46 единиц. Аргументировано обоснована группировка спутников для российской арктической зоны, появление которой позволит более успешно проводить гидрометеорологическое, навигационное и климатическое обеспечение движения судов. В итоге документ содержит свыше 150 мероприятий с финансированием порядка 1,8 трлн рублей.

В 2025 году «Росатом» открыл постоянный транзитный маршрут, который даст увеличение международных перевозок к 2030 году до 30 миллионов тонн грузов. В части развития портовой инфраструктуры уже ведётся строительство четырёх терминалов в акватории Северного морского пути с общим объёмом инвестиций более 300 миллиардов рублей до 2030 года [5].

Безусловно, существуют и проблемные моменты в этой сфере. Один из них, - это износ действующих ледоколов, пять из которых, три атомных и два неатомных, запланированы к списанию до 2031 года. При этом им на замену придут вновь возводимые шесть ледоколов, которые запланированы к спуску на воду до 2030 года. Четыре из них будут построены за счёт внебюджетного финансирования [19]. Понятно, что количество грузовых перевозок будет только увеличиваться и к этому времени дефицит такого класса кораблей, особенно в восточной части СМП, может достигнуть критических значений, что потребует дополнительных мер реагирования. Другой не менее важной задачей остается реконструкция имеющихся и сооружение новых глубоководных портов на протяжении всего Северного морского пути.

Кроме того, санкционные ограничения требуют определённых корректировок при расширении арктического судостроения. Как мы уже отмечали, помимо ледоколов необходимо строительство специализированных судов для использования их в условиях суровых северных широт, среди которых танкеры, балкеры, суда снабжения, контейнеровозы, корабли портовой инфраструктуры. Сегодня их в наличии около тридцати. В стадии строительства находится чуть более 30 судов и около ста запланировано к постройке до 2030 года.

Данная морская трасса является глобальным связующим логистическим проектом в арктической зоне между Европой и Азией. При этом дополнительный ввод в эксплуатацию безэкипажных ледокольных судов на этом маршруте безусловно послужит триггером к революционным изменениям в повышении интенсивности грузопотока в связи с тем, что управляемое с помощью искусственного интеллекта судовое оборудование кардинальным образом меняет подходы к затратам и окупаемости СМП. Но это может быть возможным только при качественном технологическом рывке отечественной экономики [20].

Несмотря на перечисленные проблемы, сегодня со всей очевидностью становится абсолютно ясно, что инвестиционная привлекательность арктической российской зоны растёт, а СМП является самым востребованным и развивающимся

логистическим путём, всё больше притягивающим к себе мировые международные перевозки. В первую очередь, его прямо сейчас осваивает КНР, и планируют осваивать страны Юго-Восточной Азии, которые имеют определённые логистические препятствия для участия во внешнеэкономической торговле.

Северный морской путь в российской Арктике является перспективным и предельно значимым транспортным маршрутом, который обладает непреходящим логистическим потенциалом для выхода на новый качественный уровень международных торговых отношений и обеспечения экономической безопасности Российской Федерации. Рекорд грузопотока по Северному морскому пути, который будет только расти, обновляется ежегодно.

Осваивая направленные инвестиции, прежде всего отечественного капитала, и совершенствуя инфраструктурные проекты, СМП в режиме реального времени становится самым конкурентоспособным транснациональным логистическим маршрутом, связывающим страны и континенты и выводящим мировую торговлю в иное, более качественное измерение.

Список литературы

1. Шалова К. Северный морской путь для развития международной торговли / URL: <https://eurasianeconomic.org/special/author-column/document33398.phtml> (дата обращения 17.03.2026).
2. Замирская Е. Путь во льдах. Россия активно развивает Северный морской путь. Почему это важно для страны, людей и бизнеса? / URL: <https://lenta.ru/articles/2024/12/13/putvoldah/> (дата обращения 17.03.2026).
3. Саламатов В.Ю., Метелева Е.А., Проскурин А.В. Перспективы развития Северного морского пути в контексте восточной транспортной инфраструктуры и его интеграция с международными транспортными коридорами / БИЗНЕС. ОБЩЕСТВО. ВЛАСТЬ. 2025. №3 (57), С. 71.
4. Саламатов В.Ю., Метелева Е.А., Проскурин А.В. Интеграция Северного морского пути с международными транспортными коридорами / Российский внешнеэкономический вестник. 2025. №7, С. 20.
5. План развития Северного морского пути на период до 2035 года, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 августа 2022 г. № 2115-р / URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405010751/> (дата обращения 20.03.2026).
6. Госкорпорация «Росатом» ядерные технологии, атомная энергетика АЭС, ядерная медицина / URL: <https://www.rosatom.ru/production/logistics/fleet/> (дата обращения 20.03.2026).
7. Романова Я. Северному морскому пути может не хватить судов / Ведомости. Северо-Запад. 19 сентября 2023 года / URL: <https://spb.vedomosti.ru/technology/articles/2023/09/19/996037-severnomu-morskому-puti-sudov> (дата обращения 22.03.2026).
8. Львов П. Атом во благо: как Россия создала уникальный ледокольный флот / объясняем.рф. 15 августа 2025 года / URL: <https://объясняем.рф/articles/useful/kak-rossiya-sozdala-unikalnyy-ledokolnyy-flot/> (дата обращения 22.03.2026).
9. Игнатьева А. Развивая Севморпуть: к 2035 г. планируется расширить ледокольный флот РФ еще на 10 судов / ИА Neftegaz.RU. 6 февраля 2026 года / URL: <https://neftegaz.ru/news/nuclear/914780-razvivaya-sevmorput-k-2035-g-planiruetsya-rasshirit-ledokolnyy-flot-rf-eshche-na-10-sudov/> (дата обращения 22.03.2026).
10. Дятел Т., Скорлыгина Н. Ледосбор / Коммерсантъ. 18 декабря 2024 года / URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7382754> (дата обращения 23.03.2026).
11. Кузнецова М., Тихонов С. Суда да дела: Сколько танкеров и газозовов нужно России в Арктике / Российская газета – федеральный выпуск. 9 июня 2025 года №9664 / URL: https://rg.ru/2025/05/31/suda-da-dela-skolko-tankerov-i-gazovozov-nuzhno-rossii-v-arktike.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения 23.03.2026).
12. Новак А. Северный морской путь: дорога будущего / Энергетическая политика. 14 апреля 2023 года / URL: <https://energy-policy.ru/severnyj-morskoj-put-doroga-budushhego-2/business/2023/04/14/> (дата обращения 24.03.2026).

13. Россия – наша страна. «360 метров под водой и три ядерных реактора». Россия готовит необычный флот для Северного морского пути. 22 марта 2026 года / URL: <https://dzen.ru/a/abgYBNJT4BJx81FM> (дата обращения 25.03.2026).
14. Гельфонд Д.В., Будрина Е.В. Цифровые двойники как инструмент управления эффективностью морских грузовых портов // Human Progress. 2024. Том 10, Вып. 2. С. 10.
15. Постановление Правительства Российской Федерации от 03.07.2024 № 908 «О проведении на территории Российской Федерации эксперимента по созданию, апробации и внедрению информационной системы «Национальная цифровая транспортно-логистическая платформа» для оформления перевозок грузов» (вместе с «Положением о проведении на территории Российской Федерации эксперимента по созданию, апробации и внедрению информационной системы «Национальная цифровая транспортно-логистическая платформа» для оформления перевозок грузов») / URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/85453.html> (дата обращения 25.03.2026).
16. Привалова Л. Путь свободы: Перспективы и трудности развития Северного морского пути / Агентство нефтегазовой информации. 22 июля 2024 года / URL: <https://www.angi.ru/news/2917857-Путь%20свободы%3A%20Перспективы%20и%20трудности%20развития%20Северного%20морского%20пути/> (дата обращения 27.03.2026).
17. Саламатов В.Ю., Тангаева А.В., Жаркова А.А.. Мегарегиональные соглашения в условиях фрагментации мировой экономики: стратегии ЕС и Китая / Вестник Института экономики Российской академии наук. 2025. № 2. С. 175.
18. Соловьев Д., Нефедова Л. Северный морской путь: экономический потенциал, климатическая устойчивость и геополитическое партнерство России и Китая / Энергетическая политика. 9 сентября 2025 года / URL: <https://energy-policy.ru/severnij-morskoy-put-ekonomicheskij-potenczial-klimaticheskaya-ustojchivost-i-geopoliticheskoe-partnerstvo-rossii-i-kitaya/gaz/2025/09/09/> (дата обращения 30.03.2026).
19. Пашенкова М. К 2035 году атомному ледокольному флоту России будет не хватать двух судов / Комсомольская правда. 16 апреля 2025 года / URL: <https://www.murmansk.kp.ru/daily/27687/5076071/> (дата обращения 31.03.2026).
20. Чеботарев С.С. Чеботарев В.С. Бондарь И.В. Перспективы развития безэкипажного судоходства на водном транспорте: экономико-логистические аспекты применения инноваций // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Том 15. № 1А. С. 475.

References

1. Shalova K. The Northern Sea Route for the development of international trade / URL: <https://eurasianeconomic.org/special/author-column/document33398.phtml> (accessed 03/17/2026).
2. Zamirskaya E. The way in the ice. Russia is actively developing the Northern Sea Route. Why is this important for the country, people and business? / URL: <https://lenta.ru/articles/2024/12/13/putvoldah/> (accessed 03/17/2026).
3. Salamatov V.Yu., Meteleva E.A., Proskurin A.V. Prospects for the development of the Northern Sea Route in the context of eastern transport infrastructure and its integration with international transport corridors / BUSINESS. society. power. 2025. No. 3 (57), p. 71.
4. Salamatov V.Yu., Meteleva E.A., Proskurin A.V. Integration of the Northern Sea Route with international transport corridors / Russian Foreign Economic Bulletin. 2025. No. 7, p. 20.
5. The development Plan of the Northern Sea Route for the period up to 2035, approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated August 1, 2022 No. 2115-r / URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405010751/> (accessed 03/20/2026).
6. Rosatom State Corporation nuclear technologies, nuclear power engineering, nuclear medicine / URL: <https://www.rosatom.ru/production/logistics/fleet/> (date accessed 03/20/2026).
7. Romanova Ya. The Northern Sea Route may not have enough ships / Vedomosti. Northwest. September 19, 2023 / URL: <https://spb.vedomosti.ru/technology/articles/2023/09/19/996037-severnomu-morskomu-puti-sudov> (accessed 03/22/2026).
8. Lviv P. Atom for good: how Russia created a unique icebreaking fleet / we explain.Russian Federation. August 15, 2025 / URL: <https://объясняем .Russian>

- Federation/articles/useful/kak-rossiya-sozdala-unikalny-ledokolny-flot/ (accessed 03/22/2026).
9. Ignatieva A. Developing the Northern Sea Route: by 2035 it is planned to expand the icebreaking fleet of the Russian Federation by another 10 vessels / IA Neftegaz.RU . February 6, 2026 / URL:
 1. <https://neftgaz.ru/news/nuclear/914780-razvivaya-sevmorput-k-2035-g-planiruetsya-rasshirit-ledokolnyy-flot-rf-eshche-na-10-sudov/> (accessed 03/22/2026).
 10. Dyatel T., Skorlygina N. Ice collection / Kommersant. December 18, 2024 / URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7382754> (accessed 03/23/2026).
 11. Kuznetsova M., Tikhonov S. Courts and cases: How many tankers and gas carriers Russia needs in the Arctic / Rossiyskaya Gazeta – Federal issue. June 9, 2025, No. 9664 / URL: https://rg.ru/2025/05/31/suda-da-dela-skolko-tankerov-i-gazovozov-nuzhno-rossii-v-arktike.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (accessed 03/23/2026).
 12. Novak A. The Northern Sea Route: the road of the future / Energy Policy. April 14, 2023 / URL: <https://energy-policy.ru/severnyj-morskoj-put-doroga-budushhego-2/business/2023/04/14/> (accessed 03/24/2026).
 13. Russia is our country. «360 meters underwater and three nuclear reactors.» Russia is preparing an unusual fleet for the Northern Sea Route. March 22, 2026 / URL: <https://dzen.ru/a/abgYBNJT4BJx81FM> (accessed 03/25/2026).
 14. Gelfond D.V., Budrina E.V. Digital twins as a tool for managing the efficiency of sea cargo ports // Human Progress. 2024. Volume 10, Vol. 2. p. 10.
 15. Decree of the Government of the Russian Federation No. 908 dated 07/03/2024 «On Conducting an Experiment on the Creation, Testing and Implementation of the National Digital Transport and Logistics Platform Information System for Cargo Transportation on the Territory of the Russian Federation» (together with the «Regulations on Conducting an Experiment on the Creation, testing and Implementation of an Information System on the Territory of the Russian Federation» National Digital Transport and Logistics Platform «for cargo transportation clearance») / URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/85453.html> (date of request 25.03.2026).
 16. Privalova L. The Way of freedom: Prospects and difficulties of the development of the Northern Sea Route / Oil and Gas Information Agency. July 22, 2024 / URL: <https://www.angi.ru/news/2917857-Путь%20свободы%3A%20Перспективы%20и%20трудности%20развития%20Северного%20морского%20пути/> (accessed 03/27/2026).
 17. Salamatov V.Yu., Tangaeva A.V., Zharkova A.A. Mega-regional agreements in the context of fragmentation of the world economy: strategies of the EU and China / Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. 2025. № 2. P. 175.
 18. Solovyov D., Nefedova L. The Northern Sea Route: economic potential, climate stability and the geopolitical partnership of Russia and China / Energy Policy. September 9, 2025 / URL: <https://energy-policy.ru/severnyj-morskoj-put-ekonomicheskij-potenczial-klimaticheskaya-ustojchivost-i-geopoliticheskoe-partnerstvo-rossii-i-kitaya/gaz/2025/09/09/> (accessed 30.03.2026).
 19. Pashenkova M. By 2035, the Russian nuclear icebreaking fleet will lack two ships / Komsomolskaya Pravda. April 16, 2025 / URL: <https://www.murmansk.kp.ru/daily/27687/5076071/> (accessed 03/31/2026).
 20. Chebotarev S.S. Chebotarev V.S. Bondar I.V. Prospects for the development of unmanned navigation in water transport: economic and logistical aspects of the application of innovations // Economics: yesterday, today, tomorrow. 2025. Volume 15. No. 1A. p. 475.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Чеботарев Владислав Стефанович, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: vschebotarev@rambler.ru

Vladislav S. Chebotarev, Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher at the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova Street, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: vschebotarev@rambler.ru

Морозов Олег Леонидович, кандидат экономических наук, заместитель начальника по научной работе, Нижегородская академия МВД России, 603950, Бокс-268, Нижний Новгород, Анкудиновское шоссе, 3, e-mail: morozoole@yandex.ru

Дорожкин Артем Владиславович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и инструментальных методов в экономике института экономики, «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 603022, Нижний Новгород, пр.Гагарина, 23, e-mail: dorozhkin_av@unn.ru

Минеев Валерий Иванович, доктор экономических наук, профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: vlrmineev@gmail.com

Oleg L. Morozov, Candidate of Economic Sciences, Deputy Head for Scientific work, Nizhny Novgorod Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 603950, Box-268, Nizhny Novgorod, Ankudinovskoe highway, 3, e-mail: morozoole@yandex.ru

Artyom V. Dorozhkin, Candidate of Economic Sciences, 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, 603022, Nizhny Novgorod, 23 Gagarin Ave, e-mail: dorozhkin_av@unn.ru

Valery I. Mineev, Doctor of Economics, Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova Street, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: vlrmineev@gmail.com

Статья поступила в редакцию 10.04.2026; принята к публикации 18.05.2026;
опубликована онлайн 20.06.2026. Received 10.04.2026; published online 20.06.2026.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ, СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

WATER TRANSPORT OPERATION, WATERWAYS COMMUNICATONS AND HYDROGRAPHY

УДК 556:504.455

DOI: 10.37890/jwt.vi87.712

Экологические угрозы для озер Зеленодольского района республики Татарстан

З.Б. Акмалова

ORCID: 0009-0000-4371-1222

Н.М. Мингазова

ORCID: 0000-0002-8360-7005

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты инвентаризации озер Зеленодольского района Республики Татарстан и оценки экологических угроз, связанных с антропогенным преобразованием их водосборных бассейнов. На основе анализа космических снимков за 2014–2024 гг. и полевых исследований выявлена динамика сокращения озерного фонда: за десятилетие исчезло 57 водных объектов. Проведена морфометрическая и экологическая характеристика ряда озер, расположенных в зонах планируемой застройки, и выполнен прогноз изменения структуры землепользования их водосборов. Установлено, что увеличение доли застроенных территорий приведет к нарушению гидрологического режима, ухудшению качества воды, усилению эвтрофирования и снижению биоразнообразия, вплоть до возможного исчезновения отдельных водоемов. Наиболее уязвимыми являются малые озера, водосборы которых подвергаются интенсивной урбанизации. Обоснована необходимость профилактических и восстановительных мер, включая ограничение застройки в пределах водоохранных зон, для сохранения озерных экосистем и природной ценности территории.

Ключевые слова: малые озера, водосбор, морфометрические показатели, экологические угрозы, Республика Татарстан.

Environmental threats to lakes in the Zelenodolsk district of the Tatarstan republic

Zaliya B. Akmalova

ORCID: 0009-0000-4371-1222

Nafisa M. Mingazova

ORCID: 0000-0002-8360-7005

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Abstract. This article presents the results of the lakes inventory located in the Zelenodolsk District of the Republic of Tatarstan and an assessment of ecological threats associated with anthropogenic transformation of their catchment areas. Based on the analysis of satellite imagery from 2014–2024, and field surveys, a significant reduction in the lake fund was identified, with 57 water bodies disappearing over the past decade. Morphometric and ecological characteristics of selected lakes located in planned development zones were analyzed, and projected changes in catchment land use structure were evaluated. The results indicate that an increase in built-up areas will lead to disruption of hydrological regimes,

deterioration of water quality, intensified eutrophication, and loss of biodiversity, potentially resulting in the disappearance of individual lakes. Small lakes with heavily urbanized catchments are shown to be particularly vulnerable. The study substantiates the need for preventive and restoration measures, including restrictions on development within protected water zones, to preserve lake ecosystems and the natural value of the territory.

Keywords: small lakes, catchment area, morphometric indicators, environmental threats, Republic of Tatarstan.

1. Введение

В последние десятилетия идет активное антропогенное влияние, которое выражается в различных формах. Это и застройка водосбора под индивидуально-жилищное строительство (ИЖС), дороги, водозаборы в поселках из подземных вод, выпас скота, распашка земель и др. Все это приводит к сокращению озерного фонда и, соответственно, потере биоразнообразия и ценности территории.

Особую уязвимость в условиях урбанизации проявляют малые озера, состояние которых критически зависит от сохранности их водосборных бассейнов. Даже частичное преобразование естественных ландшафтов в селитебные территории запускает процессы деградации водоемов: заиление, эвтрофирование и усыхание [3].

К примеру, вследствие значительного антропогенного воздействия в Республике Татарстан уже к началу XX в. исчезло более 30% малых озер [1-4], известных по результатам инвентаризации озер в 1970-х гг. [8], и эта тенденция продолжается [5-7].

Целью исследования является выявление экологических угроз для озер Зеленодольского района Республики Татарстан, на основе инвентаризации водоемов, оценки состояния и экологических последствий для отдельных озер, водосборы которых подвергнутся преобразованию в ближайшие годы.

2. Методы

Исследовательская работа была выполнена в 2024–2025 гг. на базе кафедры природообустройства и водопользования, а также лаборатории оптимизации водных экосистем Казанского (Приволжского) федерального университета. В качестве исходных материалов использовались космические снимки за период 2014–2024 гг. и картографические данные, на основе которых проводился анализ динамики площади водного зеркала озёр. Дополнительным источником информации послужили результаты собственных полевых наблюдений.

Для каждого водоема зафиксированы морфометрические и физико-химические параметры, состав прибрежно-водной растительности. По космоснимкам установлены площадь, ширина и длина водоемов. С помощью ГИС-технологий (космические снимки, публичная кадастровая карта и др.) определялись границы и площадь водосборных бассейнов. Проведен количественный анализ современной структуры землепользования водосборов с выделением долей древесной, луговой растительности и антропогенно-нарушенных территорий. На основе открытых данных публичной кадастровой карты Росреестра и утвержденных схем территориального планирования муниципального района [9,10] были выделены участки с видом разрешенного использования «для индивидуального жилищного строительства» (ИЖС). Их суммарная площадь была принята за прогнозную долю «антропогенно-нарушенной территории» в будущем.

3. Результаты

3.1. Инвентаризация озёр Зеленодольского района и выявленные проблемы

На территории Зеленодольского района, прилегающего к Казани, в ходе инвентаризации по космоснимкам выявлено 278 озёр, общая площадь водного зеркала составляет 405 га. Типологически озера относятся к малым и очень малым озерам. В последние годы под застройку были отданы земли Большеключинского, Айшинского, Раифского и других поселений. Территории переведены в категорию земель населенных пунктов под ИЖС, что ставит под угрозу озера, попавшие в зону планируемой застройки.

По итогам инвентаризации была сформирована сводная таблица, включающая: наименование водного объекта, его местоположение, географические координаты, площадь акватории на 2014 и 2024 гг. В таблице 1 представлен пример такой инвентаризации для Раифского сельского поселения (СП) Зеленодольского района Республики Татарстан. Проведённый анализ показал существенное сокращение площади шести из двенадцати выявленных озёр. Кроме того, два наименее крупных водоёма с площадью менее 0,5 га в последние годы полностью исчезли.

Таблица 1

**Инвентаризации озёр по Раифскому СП Зеленодольского района
Республики Татарстан**

Название	Местоположение	Географические координаты		Площадь, га	
		Широта	Долгота	2014	2024
Озеро 1 (б/н)	с. Бело-Безводное, ул. Солнечная	55°55'41.00»С	48°46'00.59»В	0,86	0,71
Озеро 2 (Оз. Шатуниха)	0,2 км восточнее с. Бело-Безводное	55°55'46.43»С	48°46'30.98»В	2,03	1,88
Озеро 3 (б/н)	0,9 км восточнее с. Бело-Безводное	55°55'43.61»С	48°47'12.98»В	2,06	1,94
Озеро 4 (б/н)	0,1 км южнее с. Бело-Безводное	55°55'28.18»С	48°46'15.75»В	5,97	5,85
Озеро 5 (Оз. Бело- Безводное)	с. Бело-Безводное, ул. Озерная	55°55'26.49»С	48°45'49.25»В	0,82	0,73
Озеро 6 (Оз. Илантово)	0,7 км восточнее с. Бело-Безводное	55°55'17.38»С	48°47'11.97»В	8,91	6,15
Озеро 7 (Гнилое)	0,2 км восточнее с. Бело-Безводное	55°55'04.75»С	48°46'41.18»В	1,13	1,05
Примечание: б/н – без названия					

Современное состояние водных экосистем Зеленодольского района Республики Татарстан характеризуется значительной антропогенной нагрузкой. Воздействие хозяйственной деятельности проявляется в ухудшении качества воды, усилении процессов эвтрофирования, сокращении площади озёр и, в отдельных случаях, утрате

водоёмов. Анализ динамики озёрного фонда за период 2014–2024 гг. показал уменьшение числа водных объектов на 57 единиц. Максимальные потери отмечены в пределах Мамадыш-Акиловского СП, где зафиксировано исчезновение 14 озёр.

Анализ космических изображений территории Зеленодольского района за период 2014–2024 гг. показал устойчивую тенденцию к уменьшению площадей озёр на каждом этапе наблюдений. Данная динамика обусловлена сочетанием природных процессов и антропогенных факторов. Освоение территорий под жилую застройку и транспортную инфраструктуру приводит к сокращению площадей водосборов, а избыточное изъятие подземных вод способствует понижению уровня грунтовых вод, что отражается на состоянии озёрных экосистем.

В настоящее время для озёр Зеленодольского района характерны проблемы, связанные с хозяйственным освоением водосборных территорий, включая случаи перераспределения земель водоёмов под индивидуальное жилищное строительство. Так, например, в 2019 г. территория вокруг озера Черное и находящиеся вокруг водоемы Айшинского СП были переведены в категорию земель населенных пунктов для реализации проекта посёлка «Серебряное озеро».

3.2. Характеристика озёр и их проблем в Айшинском СП

Существенные экологические риски для озёр зафиксированы в пределах Айшинского СП, около пос. Ильинское, что связано с планируемым освоением водосборных территорий под индивидуальное жилищное строительство.

Здесь располагаются территории с озерно-болотными системами, а именно озёрами Проточное (местообитание охраняемого вида – орлана-белохвоста), Чёрное (карстовое), Бобровое (местообитание бобров), и Домрачево (массовое обитание водоплавающих птиц). Но в 2019 г. эти земли были переведены в категорию земель, предназначенных для жилой застройки (рис. 1).

Данные водные объекты питают озеро Ильинское, по сути являются одним гидрологическим объектом. Наиболее от застройки пострадает оз. Бобровое, и в 2025 г. уже начались попытки его осушения, что приводит к социальному напряжению.

Озеро Ильинское расположено в пределах Айшинского СП Зеленодольского района Республики Татарстан и входит в охранную зону Раифского участка ВКГБПЗ; на южном и юго-восточном берегах находится село Ильинское. Водоём относится к проточному типу, поскольку через него протекает река Сумка. Современная структура землепользования в границах водосбора характеризуется преобладанием древесно-кустарниковой растительности (46,7%), тогда как застроенные территории занимают около 9%. Луговые сообщества формируют примерно 16% площади водосбора, а болотные экосистемы — около 4%.

Согласно материалам публичной кадастровой карты, реализация генерального плана развития села Ильинское, предусматривающая строительство коттеджного посёлка, приведёт к трансформации структуры землепользования территории водосбора (рис.1).

Прогнозируется сокращение лесных территорий примерно на 5%, вследствие чего их доля составит около 41,2% площади водосборного бассейна озера Ильинское. Одновременно прогнозируется увеличение площади застроенных земель приблизительно в 2,5 раза — до уровня порядка 26%, что отражает усиление антропогенной трансформации прибрежной зоны.



Рис. 1. Генплан застройки озера и водно-болотных угодий около пос. Ильинское (по данным публичной кадастровой карты Росреестра)

3.3. Экологические угрозы для состояния озера около пос. Ивановский

Существенное увеличение площадей индивидуальной жилой застройки также предусмотрено в пределах Большеключинского СП Зеленодольского района Республики Татарстан [9,10], поблизости и непосредственно в водоохранной зоне водных объектов.

Озеро Черное, площадью 1,57 га, расположено в 500 м северо-западнее от пос. Ивановский Зеленодольского района РТ. С 2019 г. является памятником природы регионального значения. Озеро имеет овальную форму, имеет пояс водно-болотной растительности. Прозрачность воды по диску Секки до 1м,

Озеро Светлое, площадь. 4,28 га, расположено в южной части пос. Светлое озеро Зеленодольского района РТ, имеет овальную форму, зарастает водно-болотной растительностью. Окружено узкой полосой смешанного леса. С северной стороны располагаются дачные строения. С запада берега заболочены. Является местом гнездования и обитания многих видов птиц, в том числе лебедей.

Озеро Лесное 1 площадью 1,16 га, расположено в центральной части пос. Светлое озеро Зеленодольского района РТ. По происхождению старый пруд на ручье в овраге, имеет вытянутую форму. Прибрежные мелководья зарастают ивой белой и водно-болотной растительностью, степень зарастания высокая - 40%. С западной стороны располагаются жилые строения, с южной стороны проходит дорога.

Озеро Лесное 2 (пруд в начале оврага), площадью 1,32 га, расположено в северной части пос. Светлое озеро Зеленодольского района РТ, имеет круглую форму. Окружено смешанным лесом. Водно-болотной растительности немного.

Морфометрическая и морфологическая характеристика исследуемых озер представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика исследуемых озер (сентябрь 2025 г.)

Характеристика Озеро	Черное	Светлое	Лесное 1	Лесное 2
Площадь, га	1,57	4,28	1,16	1,32
Длина водоема, м	223	316	198	155
Максимальная ширина водоема, м	97	265	88	112
Цвет воды	Желтовато-коричневый	Желтоватый	Желтовато-коричневый	Зеленоватый
Прозрачность, м	До 1,0	До 1,5	До 0,5	До 3,0
Характер грунта	Илистый	Илисто-песчаный	Землистый	Песчаный
Запах грунта	Гнилостный	Болотистый	Без запаха	Без запаха
Степень зарастания, %	30	5	40	5
Температура воды, °С	11,3	14,2	17,2	12,4
Электропроводность воды, мкСм/см	0,28	0,13	0,24	0,24
Растворенный кислород, мг/л	6,2	9,2	3,63	3,94

Современное и прогнозируемое состояние территории водосборов исследуемых озер представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Структура землепользования водосборных бассейнов, % от общей площади

Озеро	Площадь водосбора, га	Древесная растительность, %		Луговая растительность, %		Антропогенно-нарушенная территория, %	
		Совр.	Прогноз	Совр.	Прогноз	Совр.	Прогноз
Черное	34,6	39	39	58	36*	2	22
Светлое	43,4	17	13	69	57*	12	30
Лесное 1	25,1	29	18	58	6*	11	76
Лесное 2	186,6	25	23	44	9*	29	68
Примечание: * – Прогнозная доля луговой растительности рассчитана с учетом полного освоения участков, отведенных под ИЖС, согласно кадастровым данным							

В результате расчетов по застройке водосборов очевидно, что доля застроенной территории для озера Черное увеличится с 2 до 22 %, что несовместимо с его охранным статусом ООПТ, для озера Светлое – с 12 до 30 %. Для оз. Лесное 1 – с 11 до 76 %, для оз. Лесное 2 – с 29 до 68 %.

Это приведет к ухудшению состояния водных объектов. Низкое содержание растворенного кислорода в озерах Лесное 1 и Лесное 2 (3.63-3,94 мг/л) уже сейчас указывает на напряженный кислородный режим. Биогенная нагрузка от застройки вызовет усиление дефицита кислорода, ухудшение качества воды и потерю биоразнообразия по гидробионтам и околотовной фауне.

4. Обсуждение

Анализ данных по инвентаризации озер Зеленодольского района РТ указывает на высокую скорость исчезновения озер. Только за последние 10 лет (2014-2024 гг.) в результате антропогенного воздействия в районе исчезло 57 водных объектов. Это больше, чем в среднем по другим районам Республики Татарстан. Воздействие связано с планами расширения города Казани как Казанской агломерации, в первую очередь в связи со строительством новых и расширением прежних территорий ИЖС, и строительством дорог.

Анализ экологических угроз и риски для водных объектов показывает, что размещение жилой застройки в непосредственной близости от водоёмов или в пределах их водосборных территорий сопряжено с неизбежным усилением антропогенного воздействия. Ожидается, что строительные работы будут сопровождаться изъятием и нарушением почвенного покрова, загрязнением поверхностных вод, трансформацией рельефа и изменением режима поверхностного стока, что в совокупности способно ухудшить гидрологические условия функционирования водоёмов. Кроме того, это приведет к исчезновению водоемов и снизит биоразнообразие территории, которая граничит с охранной зоной Волжско-Камского заповедника и входит в переходную зону биосферного резервата (для озер около пос. Ильинское).

Полученные данные о территории водосборов позволяют классифицировать экологические угрозы по следующим направлениям:

- 1) нарушение гидрологического режима (изменение баланса питания озер, сокращение инфильтрации и пополнения грунтовых вод и др.), вплоть до исчезновения;
- 2) ухудшение качества воды вследствие загрязнения и эвтрофирования вод (поступление взвешенных и загрязняющих веществ от строительства и удобрений с приусадебных участков);
- 3) ухудшение гидрологического режима и снижение биоразнообразия для переходной зоны биосферного резервата «Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник» (лишение мест обитания, экологических коридоров для животных и др.).

Соответственно, необходимы профилактические мероприятия, в том числе запретительного и ограничительного характера, на территории водосбора, и непосредственные меры восстановлению озерных экосистем и их ценности. Считаем, что необходим запрет на новую застройку водосборов в границах водоохранных зон.

Заключение

1. В Зеленодольском районе РТ на настоящее время по космоснимкам выявлено 278 озер общей площадью 405 га. За последние 10 лет (2014-2024 гг.) в результате антропогенного воздействия в районе исчезло 57 водных объектов. Что говорит о высокой степени деградации водных объектов.

2. Планы комплексной застройки территории в рамках развития Казанской агломерации предусматривают тотальное преобразование водосборных бассейнов малых озер около пос. Ильинское и пос. Ивановский, что переведет их из категории природных в категорию урбанизированных объектов и нарушениям водным экосистем.

3. Наиболее критические изменения ожидают озера Лесное 1 и Лесное 2, водосборы которых будут застроены на 76% и 68% соответственно. Это с высокой вероятностью приведет к их полному исчезновению в течение ближайшего десятилетия.

4. Экологические угрозы для озер заключаются в нарушении гидрологического режима и исчезновении озер, ухудшении качества воды и воздействии на гидрологический режим и биоразнообразие биосферного заповедника. Необходимы профилактические и восстановительные мероприятия, в первую очередь запрет на застройку водоохраных зон.

Благодарности: Сотрудникам и студентам кафедры природообустройства и водопользования КФУ, помогавшим в полевых исследованиях (доц. Набеевой Э.Г., ст. преп. Хузяшевой Д.Г., ст. преп. Назарову Н.Г., студ. Леушину А.Ю., студ. Кузнецовой В.В.) и консультациях (доц. Шигапову И.С., ст. преп. Зариповой Н.Р.)

Работа выполнена частично по договору 06/2025-Р от 04.08.2025 «Экспедиция «Плавучий университет Волжского бассейна».

Список литературы

1. Зиганшин И.И., Иванов Д.В., Хасанов Р.Р., Александрова А.Б. Мониторинг морфометрических характеристик особо охраняемых озер Предволжья Республики Татарстан // Российский журнал прикладной экологии. 2023. №3. С. 34-41.
2. Зиганшин И.И., Иванов Д.В., Хасанов Р.Р. Динамика морфометрических параметров Атабаевских озер Волжско-Камского заповедника // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVI Всероссийской научно.-практической конференции с международным участием. Киров, 2022. С. 85-89.
3. Мингазова Н.М. Антропогенные изменения и восстановление экосистем малых озер: на примере Среднего Поволжья Дисс. ... докт. биол. наук – Казань, 1999 г. Т. 1. 460 с. Т. 2. 260 с.
4. Водные объекты РТ. Справочник. Изд. 2-е дополненное и переработанное. – Казань: Изд. «Фолиант», 2018. 512 с.
5. Мингазова Н.М., Деревенская О.Ю., Палагушкина О.В. Инвентаризация и экологическая паспортизация водных объектов как способ сохранения и оптимизации их состояния // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – № 2(28). – С. 37-43.
6. Мингазова Н.М., Нуруллина А.Р. Инвентаризация водных объектов Лаишевского района Республики Татарстан и их экологические проблемы // Проблемы экологии Волжского бассейна. Труды 5-й всерос. научн. конф. 2020. С. 18 -24.
7. Набеева Э.Г., Мингазова Н.М., Шигапов И.С., Зарипова Н.Р., Шакирова Л.А., Павлова Л.Р. Геоэкологическая оценка состояния озера Архирейское Лаишевского района Республики Татарстан // Международный научно-исследовательский журнал. - № 4 (118). - 2022. - С. 24-28.
8. Озера Среднего Поволжья / Под ред. Сорокина И.Н., Петровой Р.С. – Л.: Наука, 1976. –234 с.
9. Новостной ресурс «Реальное время». – URL: <https://realnoevremya.ru/articles/192870-brend-tatarstana-okazalsya-pod-ugrozoj-zastroyki> (Дата обращения: 09.10.2023).
10. Официальный сайт «ПКС Росреестр». – URL: <https://pkk.rosreestr.ru> (Дата обращения: 09.10.2023).

References

1. Ziganshin I.I., Ivanov D.V., Khasanov R.R., Aleksandrova A.B. Monitoring morfometricheskikh kharakteristik osobo okhranyaemykh ozer Predvolzh'ya Respubliki Tatarstan // Rossiiskii zhurnal prikladnoi ehkologii. 2023. no3. P. 34-41 (In Russ).
2. Ziganshin I.I., Ivanov D.V., Khasanov R.R. Dinamika morfometricheskikh parametrov Atabaevskikh ozer Volzhsko-Kamskogo zapovednika // Ehkologiya rodnogo kraya: problemy i puti ikh resheniya: materialy XVI Vserossiiskoi nauchno.-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Kirov, 2022. P. 85-89. (In Russ).
3. Mingazova N.M. Antropogennye izmeneniya i vosstanovlenie ehkositsem malyykh ozer: na primere Srednego Povolzh'ya Diss. ... dokt. biol. nauk – Kazan', 1999 g. T. 1. 460 p. T. 2. 260 p. (In Russ).

4. Vodnye ob»ekty RT. Spravochnik. Izd. 2-e dopolnennoe i pererabotannoe. – Kazan': Izd. «Foliant», 2018. 512 p. (In Russ).
5. Mingazova N.M., Derevenskaya O.YU., Palagushkina O.V. Inventarizatsiya i ehkologicheskaya pasportizatsiya vodnykh ob»ektov kak sposob sokhraneniya i optimizatsii ikh sostoyaniya // Astrakhanskii vestnik ehkologicheskogo obrazovaniya. – 2014. – no 2(28). – P. 37-43. (In Russ).
6. Mingazova N.M., Nurullina A.R. Inventarizatsiya vodnykh ob»ektov Laishevskogo raiona Respubliki Tatarstan i ikh ehkologicheskie problemy // Problemy ehkologii Volzhskogo basseina. Trudy 5-i vseros. nauchn. konf. 2020. P. 18 -24. (In Russ).
7. Nabeeva E.H.G., Mingazova N.M., Shigapov I.S., Zaripova N.R., Shakirova L.A., Pavlova L.R. Geoehkologicheskaya otsenka sostoyaniya ozera Arkhiereiskoe Laishevskogo raiona Respubliki Tatarstan // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. - no 4 (118). - 2022. - P. 24-28. (In Russ).
8. Oзера Srednego Povolzh'ya / Pod red. Sorokina I.N., Petrovoi R.S. – L.: Nauka, 1976. –234 p. (In Russ).
9. Novostnoi resurs «Real'noe vremYA». – URL: <https://realnoevremya.ru/articles/192870-brend-tatarstana-okazalsya-pod-ugrozoy-zastroyki> (Data obrashcheniya: 09.10.2023). (In Russ).
10. Ofitsial'nyi sait «PKK RosreestR». – URL: <https://pkk.rosreestr.ru> (Data obrashcheniya: 09.10.2023). (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Акмалова Залия Булатовна, аспирант кафедры природообустройства и водопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет (ФГАОУ ВО «КФУ»), 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18, e-mail: z.akmlv@mail.ru,

Zaliya B. Akmalova, Postgraduate Student, Department of Environmental Management and Water Use, Kazan (Volga) Federal University (FGAOU VO «KFU»), 18, Kremlevskaya St., Kazan, 420008, e-mail: z.akmlv@mail.ru

Мингазова Нафиса Мансуровна, д.б.н., профессор, заведующая кафедрой природообустройства и водопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет (ФГАОУ ВО «КФУ»), 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18, e-mail: nmingas@mail.ru

Nafisa M. Mingazova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Environmental Management and Water Use, Kazan (Volga Region) Federal University (KFU), 18, Kremlevskaya St., Kazan, 420008, e-mail: nmingas@mail.ru

Статья поступила в редакцию 03.02.2026; принята к публикации 18.05.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 03.02.2026; published online 20.06.2026.

УДК 556.55

DOI: 10.37890/jwt.vi87.703

Генезис, морфометрические и гидрологические особенности озера Синявское Володарского муниципального округа Нижегородской области

А.Е. Асташин^{1,2}

ORCID: 0000-0003-2133-0888

О.Е. Ватина¹

ORCID: 0000-0003-1471-4103

В.М. Подковырина¹

ORCID: 0000-0002-9700-9671

Т.С. Нефедова¹

ORCID: 0009-0005-2961-9354

¹ *Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, г. Нижний Новгород, Россия*

² *Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Нижегородская область, 606340, Россия*

Аннотация. В статье представлены результаты батиметрической съемки озера Синявское, выполненной в рамках реализации программы лимнологических исследований Нижегородского регионального отделения Русского географического общества. Впервые получены и проанализированы данные о глубинах и рельефе дна озера Синявское. Выполнена физико-географическая характеристика окрестностей озера. На основе материалов полевых исследований с помощью современных геоинформационных систем построена цифровая батиметрическая карта озера. Установлены основные морфометрические и гидрологические параметры озера Синявское. В ходе комплексного анализа результатов батиметрической съемки, тематических карт, гидрологических и морфометрических характеристик и ландшафтных особенностей территории, окружающей озеро, определен генезис озёрной котловины. Установлено, что озеро Синявское имеет карстовое происхождение, это подтверждается комплексом специфических геолого-геоморфологических признаков. Результаты исследования обработаны с помощью геоинформационной системы QuantumGIS, что позволило эффективно интегрировать, анализировать и визуализировать пространственные данные. Использование ГИС обеспечило высокую точность пространственного анализа, выявление закономерностей и взаимосвязей между географическими объектами, а также упростило интерпретацию результатов за счёт наглядного картографического представления. Результаты проведённого исследования могут представлять интерес для профильных специалистов, учёных, студентов естественно-научных специальностей, природоохранных организаций и местных властей.

Ключевые слова: озеро Синявское, Володарский муниципальный округ, Нижегородская область, генезис озёрной котловины, морфометрические и гидрологические характеристики озера.

Genesis, morphometric and hydrological features of lake Sinyavskoye in the Volodarsk municipal district of the Nizhny Novgorod region

Andrey E. Astashin^{1,2}

ORCID: 0000-0003-2133-0888

Olga E. Vatina¹

ORCID: 0000-0003-1471-4103

Valeria M. Podkovyrina¹

ORCID: 0000-0002-9700-9671

Tatyana S.¹ Nefedova

ORCID: 0009-0005-2961-9354

¹ Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University (Minin University), Russia

² Nizhny Novgorod state engineering and economic university, Knyaginino, Russia

Abstract. The article presents the results of a bathymetric survey of the Lake Sinyavskoye, carried out as part of the limnological research program of the Nizhny Novgorod Regional Branch of the Russian Geographical Society. For the first time, data on the depths and relief of the bottom of Lake Sinyavskoye have been obtained and analyzed. The physico-geographical characteristics of the lake's surroundings have been performed. Based on field research materials, a digital bathymetric map of the lake has been developed using modern geoinformation systems. The main morphometric and hydrological parameters of Lake Sinyavskoye have been established. In the course of a comprehensive analysis of the bathymetric surveys results, thematic maps, hydrological and morphometric characteristics and landscape features of the territory, surrounding the lake, the genesis of the lake basin was determined. It has been established that Lake Sinyavskoye has a karst origin, which is confirmed by a complex of specific geological and geomorphological features. The results of the research were processed using the QuantumGIS geoinformation system, which made it possible to effectively integrate, analyze and visualize spatial data. The use of GIS has ensured high accuracy of spatial analysis, the identification of patterns and relationships between geographical objects, and simplified the results interpretation through a visual cartographic representation. The results of the conducted research may be of interest to profile specialists, scientists, students of natural science specialties, environmental organizations and local authorities.

Keywords: Sinyavskoye lake, Volodarsky municipal district, Nizhny Novgorod region, genesis, morphometric and hydrological characteristics.

Введение

Озёра являются важным элементом ландшафта, оказывая значительное влияние на функционирование экосистем и во многом определяя гидрологический режим ландшафта. Озёра служат средой обитания для разнообразных видов растений и животных, а также являются ценными водными ресурсами для региона. во всех регионах мира проводятся исследования строения озёрных котловин с целью установления их морфометрических характеристик [1-3]. Озёра выполняют важнейшую средообразующую роль в экосистемах [4], в силу чего часто становятся объектом изучения профильных специалистов [5].

В пределах Володарского муниципального округа Нижегородской области расположено большое количество озёр, однако их морфометрические и гидрологические характеристики остаются недостаточно изученными, что создает существенные пробелы в научных знаниях и затрудняет разработку эффективных мер охраны и рационального использования водных ресурсов.

Цель: установить происхождение, морфометрические и гидрологические особенности озера Синавское Володарского муниципального округа Нижегородской области.

Объект исследования: озеро Синавское.

Предмет исследования: генезис, морфологические и гидрологические особенности озера.

Научная новизна: выполнена физико-географическая характеристика окрестностей озера Синавское, осенью 2024 года проведены лимнологические

исследования и получены сведения о рельефе озёрной котловины, рассчитаны основные морфометрические и гидрологические характеристики, создана батиметрическая карта озера, установлен генезис озёрной котловины.

Материалы и методы

Исследование выполнено с применением следующих методов: экспедиционный (батиметрическая съёмка методом эхолотации), геоинформационный, анализ литературы и фондовых данных.

Результаты

Озеро Синявское расположено в юго-западной части Волжско-Окского междуречья Нижегородской области на территории Балахнинской низины в Володарском муниципальном округе Нижегородской области в 4 км на северо-запад от посёлка Мулино (рис. 1).



Рис. 1. Географическое положение озера Синявское

Дочетвертичные образования в окрестностях озера представлены отложениями верхнего отдела пермской системы (алевролиты, песчаники, пески, глины) [6] (рис. 2).

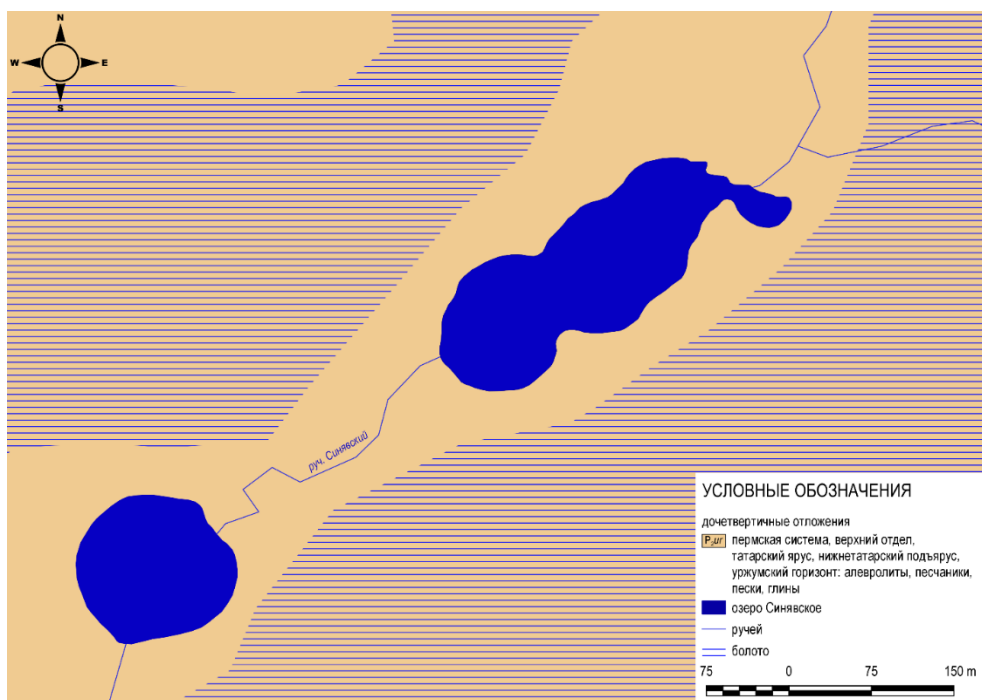


Рис. 2. Дочетвертичные отложения озера Синавское

Четвертичные образования представлены песками с прослоями суглинков современных аллювиальных отложений [7] (рис. 3).

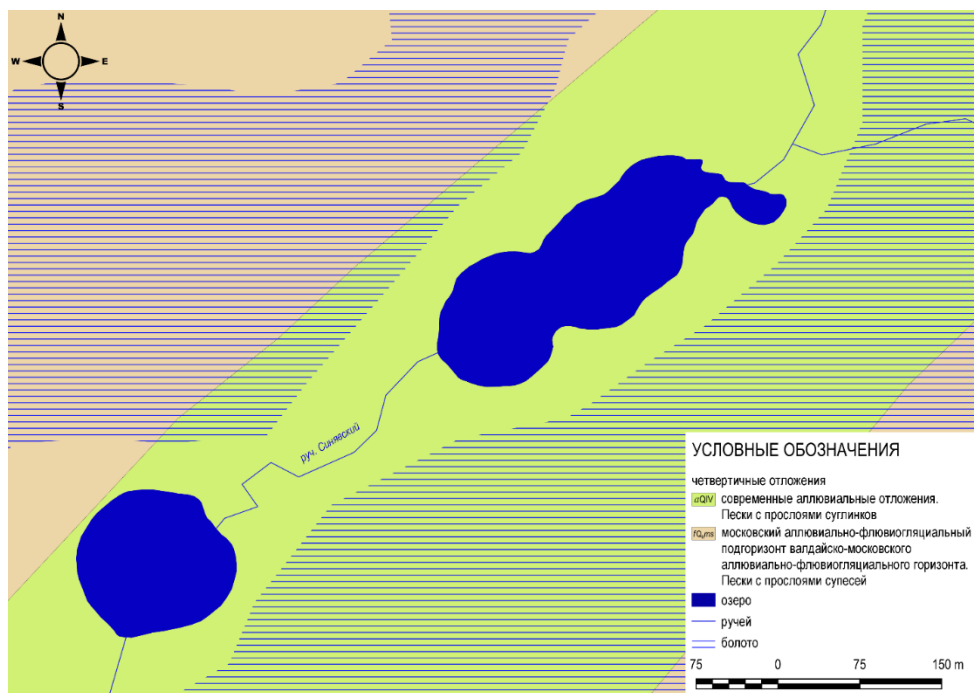


Рис. 3. Четвертичные отложения озера Синавское

В ходе анализа данных геологических скважин территории Володарского муниципального округа установлено, что карстующиеся породы под озером Синявское залегают на глубине 75-80 метров. III-IV – пониженной категории карстоопасности и провалообразования [8].

Изучаемое озеро лежит в пределах пологохолмистой равнины на пойме ручья Синявский (рис. 4), абсолютная высота поверхности воды над уровнем моря составляет 90 метров.

Территория Балахнинской низины богата болотами, малыми реками и, особенно, озёрами карстового происхождения [9, 10]. В окрестностях озера Синявское гидрографическая сеть представлена обширными болотными массивами и ручьём Синявский, который протекает через озеро, а затем впадает в реку Люлих.

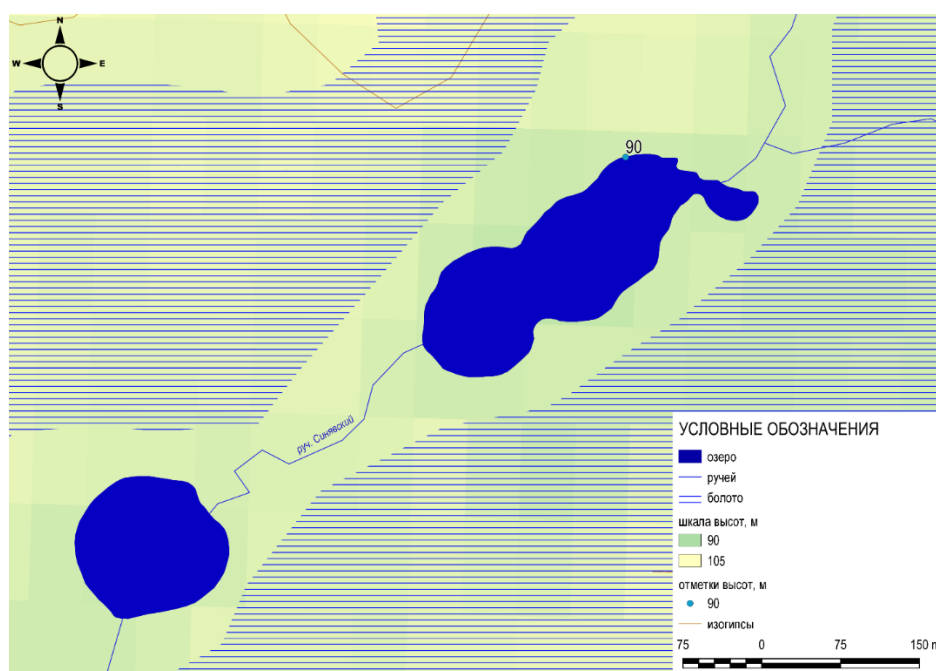


Рис. 4. Рельеф окрестностей озера Синявское

В окрестностях озера Синявское распространены слабо- и среднеподзолистые; дерново-среднеподзолистые; болотно-подзолистые; болотные почвы [11].

Растительность в окрестностях озера представлена сосняками, по периметру озера сплавина под сообществом сфагнового болота с миртом болотным, багульником болотным, клюквой обыкновенной. На мелководьях представлены сообщества кубышки жёлтой.

Согласно схеме ландшафтного районирования Нижегородской области, разработанной Ф.М. Баканиной, озеро находится в зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов (рис. 5) в Мещёрской провинции на территории Балахнинско-Сейминского ландшафтного района [12].

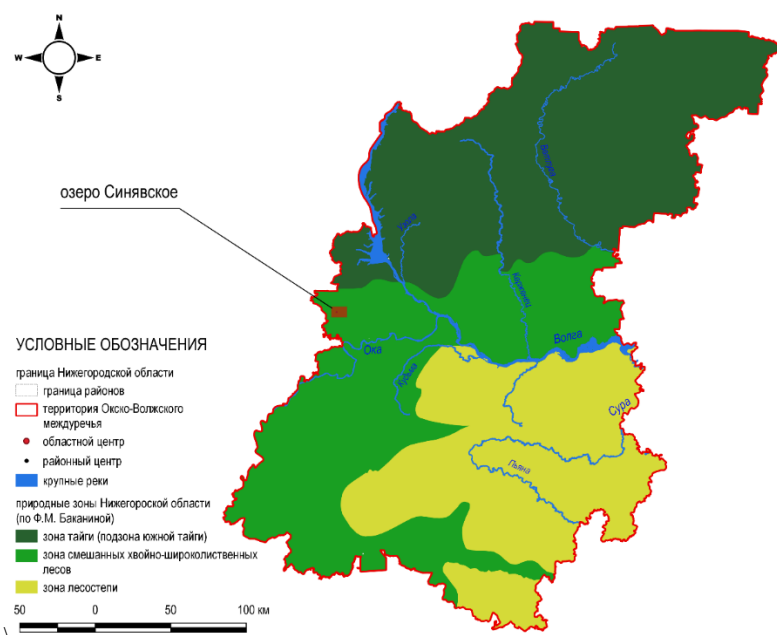


Рис. 5. Положение озера Синеваское на карте природных зон Нижегородской области (по Ф.М. Баканиной)

В осенний сезон 2024 года авторами было проведено исследование озера Синеваское, в ходе которого были выполнены измерения глубин с борта надувной лодки с помощью эхолота, что позволило получить точные данные о строении котловины озера. Полученные данные были обработаны и проанализированы с помощью специализированной геоинформационной системы QuantumGIS, что позволило создать детальную батиметрическую карту изучаемого озера (рис. 6).

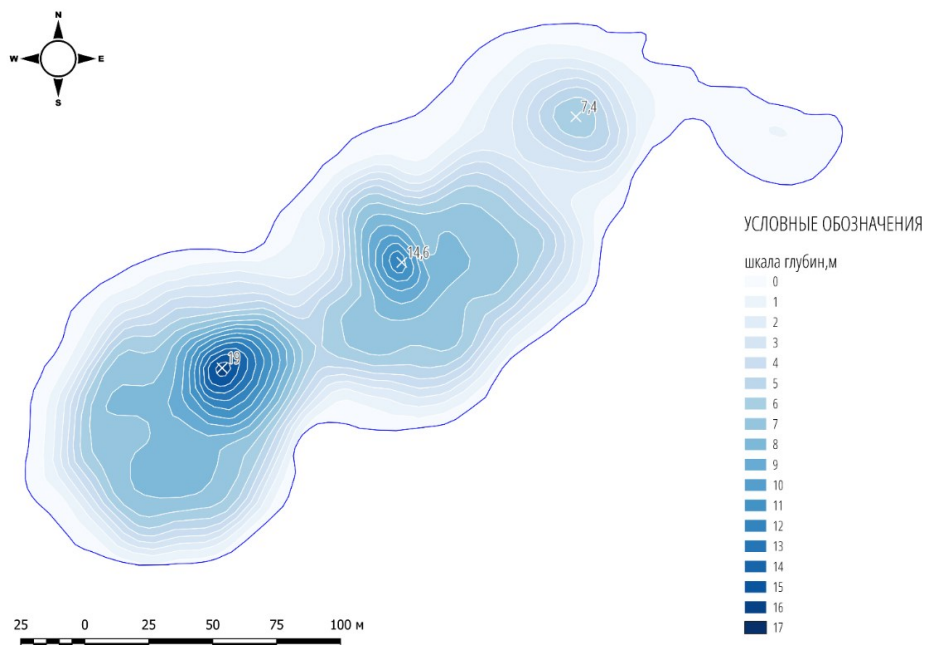


Рис. 6. Батиметрическая карта озера Синеваское

На основе этих данных выполнен расчёт основных морфометрических и гидрологических параметров, отражающих структурные особенности озера (табл. 1).

Таблица 1

**Основные морфометрические и гидрологические характеристики озера Синявское
Окско-Волжского междуречья Нижегородской области**

Площадь водной поверхности, м ²	Объем воды в озере, м ³	Длина береговой линии, м	Изрезанность береговой линии	Средняя глубина, м	Максимальная глубина, м	Максимальная длина, м	Максимальная ширина, м	Средняя ширина, м	Абсолютная высота поверхности воды над уровнем моря, м
28 344	125 792	888,13	1,4	4,4	19	366	180	77,4	90

Озеро вытянуто с северо-востока на юго-запад, имеет слаболопастную конфигурацию береговой линии, длина составляет 366 метров. Рельефе дна осложнён тремя ярко выраженными воронками глубиной 7,4 м, 14,6 м, а самая крупная и наиболее глубокая имеет глубину 19 м.

Обсуждение

Характер рельефа дна озера указывает на специфические геолого-геоморфологические процессы их образования, а именно – на его карстовое происхождение, о чём свидетельствует наличие ряда отчётливо выраженных воронок, характерной формы озёрной котловины и существенных глубин. Анализ геологических карт и карт карстовой напряжённости Нижегородской области, а также результаты лимнологических исследований указывают на активное проявление карстового процесса на изучаемой территории. Наличие карстовых форм рельефа на сопредельных территориях подтверждает гипотезу о карстовом генезисе озера Синявское. На территории Балахнинской низины нередко встречаются карстовые озёра, представляющие собой цепочки карстовых воронок [13], иногда они, сливаясь, образуют озёра вытянутой конфигурации [9], нередко с лопастной береговой линией.

Заключение

Полученные в ходе исследования данные могут быть использованы в целях организации охраны природных ресурсов, рационального использования озёр и сохранения биоразнообразия. Детализированные данные о морфометрических, гидрологических характеристиках и происхождении озёр является принципиально значимыми для развития географической науки и эффективного управления водными ресурсами Нижегородской области. Результаты исследования могут быть использованы администрацией Володарского муниципального округа при разработке программ природопользования; туроператорами и самостоятельными туристами, образовательными организациями.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках реализации гранта Русского географического общества, договор 06/2025-Р от 04.0.2025 «Экспедиция «Плавучий университет Волжского бассейна».

Список литературы

1. Zieliński A. Morphometric characteristics of the karst Jasne lake and the little unnamed lake in the area of the Golejowski Forest near Staszów. Contemporary research problems of Polish geographical studies – physical geography. Geographical Records. 2008, no. 37, pp. 56-61.
2. Yunginger R. et al. Morphometric characteristics of Lake Limboto as critical lake in Gorontalo Province, Indonesia // Jurnal Natural. 2024. Vol. 24, no. 2, pp. 99-106.
3. Dmitriyev P. S. et al. Use of geoinformation technologies in the study of cartometric and morphometric characteristics of lakes in the North Kazakhstan // InterCarto, InterGIS. 2022. Vol. 28. pp. 719-736.
4. Pi X. et al. Mapping global lake dynamics reveals the emerging roles of small lakes // Nature communications. 2022. Vol. 13. no. 1. pp. 5777.
5. Ren H. et al. Response of dissolved organic matter (DOM) and microbial community to submerged macrophytes restoration in lakes: a review // Environmental Research. 2023. Vol. 231. pp. 116185.
6. Геологическая карта и карта полезных ископаемых дочетвертичных образований: О-38-XXXI. Геологическая карта СССР. Геологическая карта четвертичных и дочетвертичных образований и полезных ископаемых. Мезенская серия, масштаб: 1:200000, серия: Мезенская. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.geokniga.org/maps/41023> (Дата обращения: 12.11.24).
7. Карта четвертичных отложений: О-38-XXXI. Геологическая карта четвертичных отложений, масштаб: 1:200 000, составлена: Средне-Волжское геологическое управление, 1979 г., авторы: С.В. Алехин, О.Н. Шаталова; редактор: Т.Е. Горбаткина [Электронный ресурс]. URL: http://www.geokarta.ru/list_200.php?idlist=O-38-XXXI&idlist_d=Q&gen=1&g=1 (дата обращения: 05.04.2022).
8. Схема развития опасных карстово-суффозионных процессов Нижегородской области, масштаб: 1: 1 000 000, отв. исп.: Толмачев В.В., Гантов В.А., составил: Максимова О.Р., чертил: Виноградова Е.Н. [Электронный ресурс]. URL: <https://law.rufox.ru/images/8563/42FDC285D082B5B8BF8F4028CD38FAF6.gif> (дата обращения: 15.09.2022).
9. Асташин А.Е. Морфометрические и гидрологические характеристики озера Инженерное Володарского района Нижегородской области / А.Е. Асташин, А.А. Огурцов, О.Е. Ватина Т.С. Нефедова, В.М. Подковырина // Проблемы экологии Волжского бассейна: Труды 9-й всероссийской научной конференции, Нижний Новгород, 03–04 декабря 2024 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2024. – С. 24.
10. Асташин А.Е. Озёра Большое Мартышево и Малое Мартышево Володарского района Нижегородской области: морфометрические и гидрологические характеристики / А.Е. Асташин, О.Е. Ватина, М.Н. Пашкин, О.Н. Пашкин, М.А. Дудина, М.М. Бадьин // Орфановские чтения – 2020: сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Нижний Новгород, 17 декабря 2020 года / Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина. – Нижний Новгород: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина». – 2021. – С. 37-43.
11. Романов В.А. Почвенная карта Горьковской области / Романов В.А., Сунцов. Н.А., Перевозкин В.С. // масштаб 1:400000, составлена по материалам: «Волгогипрозем». – 1978 г.
12. Баканина Ф.М. Ландшафтное районирование Нижегородской области как основа рационального природопользования / Ф.М. Баканина, А.В. Пожаров, А.А. Юртаев // Великие реки 2003: генеральные доклады, тезисы докладов Международного конгресса. Н. Новгород: ЮНЕСКО. – 2003. – С. 288-290.

13. Astashin A., Pashkin M., Badin M., Pashkin O., Vatina O., Podkovyrina V., Nefedova T. Morphometric features and genesis of the lake basins of the natural monument «Lakes Svetlye, Lake Elovoe and the surrounding swampy massifs» of the Oka-Volga interfluvium within the Nizhny Novgorod region // *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*. 2025. Vol. 23. no. 2. pp. 1063-1073.

References

1. Zieliński A. Morphometric characteristics of the karst Jasne lake and the little unnamed lake in the area of the Golejowskie Forest near Staszów. Contemporary research problems of Polish geographical studies – physical geography. *Geographical Records*. 2008, no. 37, pp. 56-61.
2. Yunginger R. et al. Morphometric characteristics of Lake Limboto as critical lake in Gorontalo Province, Indonesia // *Jurnal Natural*. 2024. Vol. 24, no. 2, pp. 99-106.
3. Dmitriyev P. S. et al. Use of geoinformation technologies in the study of cartometric and morphometric characteristics of lakes in the North Kazakhstan // *InterCarto, InterGIS*. 2022. Vol. 28. pp. 719-736.
4. Pi X. et al. Mapping global lake dynamics reveals the emerging roles of small lakes // *Nature communications*. 2022. Vol. 13. no. 1. pp. 5777.
5. Ren H. et al. Response of dissolved organic matter (DOM) and microbial community to submerged macrophytes restoration in lakes: a review // *Environmental Research*. 2023. Vol. 231. pp. 116185.
6. Nikitin S.N., Borozdina Z.I., T.E. Gorbatkina (Eds.) Karta dochetvertichnykh otlozhenij: O-38-XXXI. Geologicheskaya karta chetvertichnykh otlozhenij, m-ba: 1:200 000 (Map of pre-quaternary formations: O-38-XXXI. Geological map of pre-quaternary deposits on a scale: 1:200 000) Territorial Geological Department of Central Districts, 1979 [Electronic data]. Access way: URL: http://www.geolkarta.ru/list_200.php?idlist=O-38-XXXI (accessed: 05.04.2022).
7. Alekhin S.V., Shatalova O.N., Gorbatkina T.E. (Eds.) Karta chetvertichnykh otlozhenij: O-38-XXXI. Geologicheskaya karta chetvertichnykh otlozhenij, m-ba: 1:200 000 (Map of Quaternary deposits: O-38-XXXI. Geological map of Quaternary deposits on a scale 1:200 000) Middle Volga Geological Department, 1979. [Electronic data]. Access way: http://www.geolkarta.ru/list_200.php?idlist=O-38-XXXI&idlist_d=Q&gen=1&g=1 (date of reference: 05.04.2022).
8. Tolmachev V.V., Gantov V.A., compiled by: Maximova O.R., drawn by: Vinogradova E.N. Scheme of development of dangerous karst-suffusion processes in the Nizhny Novgorod region, scale: 1: 1 000 000. Available at: URL: <https://law.rufox.ru/images/8563/42FDC285D082B5B8BF8F4028CD38FAF6.gif> (accessed 15.09.2022).
9. Astashin A.E., Ogurcov A.A., Vatina O.E. Nefedova T.S., Podkovyrina V.M. Morfometricheskie i gidrologicheskie harakteristiki ozera Inzhenernoe Volodarskogo rajona Nizhegorodskoj oblasti [Morphometric and hydrological characteristics of Lake Engineering in the Volodarsky district of the Nizhny Novgorod region], *Problemy ekologii Volzhskogo bassejna: Trudy 9-j vsrossijskoj nauchnoj konferencii, Nizhnij Novgorod, 03–04 dekabrya 2024 goda* [Problems of ecology of the Volga basin: Proceedings of the 9th All-Russian Scientific Conference, Nizhny Novgorod, December 03-04, 2024]. Nizhny Novgorod, Volga State University of Water Transport, 2024, p. 24.
10. Astashin A.E., Vatina O.E., Pashkin M.N., Pashkin O.N., Dudina M.A., Bad'in M.M. Ozyora Bol'shoe Martyshevo i Maloe Martyshevo Volodarskogo rajona Nizhegorodskoj oblasti: morfometricheskie i gidrologicheskie harakteristiki [Bolshoe Martyshevo and Maloe Martyshevo lakes of the Volodarsky district of the Nizhny Novgorod region: morphometric and hydrological characteristics] *Orfanovskie chteniya – 2020: sbornik statej po materialam Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Nizhnij Novgorod, 17 dekabrya 2020 goda* [Orphanov Readings 2020: a collection of articles based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Nizhny Novgorod, December 17, 2020], Nizhny Novgorod, Kozma Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, 2021, pp. 37-43.
11. Soil map of the Gorky region. Scale 1:400 000 / Romanov V.A., Suntsov N.A., Perevozin V.S., 1978.

12. Bakanina F. M. Pozharov A.V., Yurtaev A. A. Landshaftnoe rajonirovanie Nizhegorodskoj oblasti kak osnova racional'nogo prirodopol'zovaniya [Landscape zoning of the Nizhny Novgorod region as the basis of rational nature management]. Velikie reki 2003: general'nye doklady, tezisy dokladov Mezhdunarodnogo kongressa [Great Rivers 2003: general reports, abstracts of the International Congress], Nizhny Novgorod: UNESCO, 2003, pp. 288-290.
13. Astashin A., Pashkin M., Badin M., Pashkin O., Vatina O., Podkovyrina V., Nefedova T. Morphometric features and genesis of the lake basins of the natural monument «Lakes Svetlye, Lake Elovoe and the surrounding swampy massif» of the Oka-Volga interfluvium within the Nizhny Novgorod region // Pakistan Journal of Life and Social Sciences. 2025. Vol. 23. no. 2. pp. 1063-1073.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Асташин Андрей Евгеньевич, к.г.н.,
доцент кафедры географии, географического
и геоэкологического образования,
Нижегородский государственный
университет им. К. Минина (ФГБОУ НГПУ
им. К. Минина), г. Нижний Новгород,
Ульянова 1, 603000, e-mail:
astashinFizGeo@yandex.ru

Andrej E. Astashin, Candidate of
Geographical Sciences, Associate Professor of
the Department of Geography, Geographical
and Geoecological Education, Kozma Minin
Nizhny Novgorod State Pedagogical
University (Minin University), Ulyanova 1,
Nizhny Novgorod, Russia, 603000

Ватина Ольга Евгеньевна, аспирант
кафедры географии, географического и
университет им. К. Минина (ФГБОУ НГПУ
им. К. Минина), г. Нижний Новгород,
Ульянова 1, 603000, e-mail:
vatinaol@yandex.ru

Ol'ga E. Vatina, Postgraduate student of the
Department of Geography, Geographical and
Geoecological Education, Kozma Minin
Nizhny Novgorod State Pedagogical
University (Minin University), Nizhny
Novgorod, Ulyanova 1, 603000

Подковырина Валерия Михайловна,
магистрант кафедры географии,
географического и геоэкологического
образования, Нижегородский
государственный университет им. К. Минина
(ФГБОУ НГПУ им. К. Минина), г. Нижний
Новгород, Ульянова 1, e-mail:
valeria5mvl@gmail.com , 603000

Valeria M. Podkovyrina, Master's student of
the Department of Geography, Geographical
and Geoecological Education, Kozma Minin
Nizhny Novgorod State Pedagogical
University (Minin University), Ulyanova 1,
Nizhny Novgorod, Russia, 603000

Нефедова Татьяна Сергеевна, бакалавр
кафедры географии, географического и
геоэкологического образования,
Нижегородский государственный
университет им. К. Минина (ФГБОУ НГПУ
им. К. Минина), г. Нижний Новгород,
Ульянова 1, 603000, e-mail:
tatana_nefedova3036@mail.ru

Tatyana S. Nefedova, Bachelor of Geography,
Geographical and Geoecological Education
Department, Kozma Minin Nizhny Novgorod
State Pedagogical University (Minin
University), Nizhny Novgorod, Ulyanova 1,
603000

Статья поступила в редакцию 27.01.2026; принята к публикации 27.02.2026;
опубликована онлайн 20.06.2026. Received 27.01.2026; published online 20.06.2026.

УДК 556.535.2

DOI: 10.37890/jwt.vi87.704

Анализ уровня режима реки Таз для оптимизации эксплуатации водных путей

Н.А. Волкова

ORCID: 0000-0002-9272-4713

Г.Ю. Дмитриев

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Актуальной задачей водного транспорта Арктической зоны является повышение безопасности и эффективности эксплуатации судоходных путей, что зависит от точности прогнозирования гидрологического режима. Целью исследования стал анализ уровня режима для разработки методики прогнозирования максимальных уровней воды в замыкающем створе реки Таз (с. Красноселькуп), имеющей важное значение для навигации в этом регионе. В работе применен комплексный подход, включающий разведочный статистический анализ, оценку стационарности временного ряда, вероятностную оценку экстремальных уровней и сравнительный анализ эффективности различных прогнозных моделей. Исследование выполнено на основе 50-летнего ряда наблюдений (1976–2025 гг.). Результаты анализа показали стационарность ряда при отсутствии статистически значимого тренда. Сравнительная оценка классической модели ARIMA и ряда алгоритмов машинного обучения (линейная регрессия, случайный лес, градиентный бустинг, нейронная сеть) выявила преимущество модели ARIMA(0,1,1). Модель машинного обучения Random Forest показала наилучший результат среди ML-методов, но ее прогнозная сила ($R^2 = -0.0098$) оказалась неудовлетворительной. Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная модель и рассчитанные уровни паводков различной повторяемости (например, 10-летний паводок – 1051.2 см) могут быть интегрированы в систему поддержки принятия решений для оптимизации планирования навигации, оценки рисков и проектирования гидротехнических сооружений на реке Таз. Результаты подтверждают целесообразность применения классических статистических методов для прогнозирования относительно коротких стационарных гидрологических рядов в условиях ограниченности данных.

Ключевые слова: уровень воды, река Таз, прогнозирование, временные ряды, ARIMA-модель, машинное обучение, стационарность, экстремальные уровни, водный транспорт, эксплуатация водных путей.

Analysis of the water level regime of the Taz river for optimization of waterway operation

Nadezhda A. Volkova

ORCID: 0000-0002-9272-4713

George Yu. Dmitriev

Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Abstract. Improving the safety and efficiency of shipping routes is a pressing issue for water transport in the Arctic zone, which depends on the accuracy of hydrological regime forecasting. This study is aimed to analyze the water level regime to develop a methodology for forecasting maximum water levels at the outlet of the Taz River (Krasnoselkup village), which is essential for navigation in this region. The study applied a comprehensive approach, including exploratory statistical analysis, a time series stationarity assessment, a probabilistic assessment of extreme levels, and a comparative analysis of the effectiveness of various forecast models. The study was based on a 50-year observation series (1976–2025). The

results demonstrated stationarity of the series in the absence of a statistically significant trend. A comparative evaluation of the classical ARIMA model and a number of machine learning algorithms (linear regression, random forest, gradient boosting, and neural network) revealed the superiority of the ARIMA (0,1,1) model. The Random Forest machine learning model demonstrated the best performance among ML methods, but its predictive power ($R^2 = -0.0098$) was unsatisfactory. The practical significance of this work lies in the fact that the developed model and the calculated flood levels of varying frequency (e.g., a 10-year flood of 1051.2 cm) can be integrated into a decision support system for optimizing navigation planning, risk assessment, and the design of hydraulic structures on the Taz River. The results confirm the feasibility of using classical statistical methods for forecasting relatively short stationary hydrological series in data-limited conditions.

Keywords: water level, Taz River, forecasting, time series, ARIMA model, machine learning, stationarity, extreme levels, water transport, waterway operation.

Введение

Безопасная и эффективная эксплуатация водных путей является важным фактором для развития речного транспорта, логистики и экономики приречных регионов. Одним из основных гидрологических параметров, определяющих эти показатели, выступает уровеньный режим водотока. Динамика уровней воды, особенно её экстремальные проявления (максимальные и минимальные уровни), напрямую влияет на судоходные условия: гарантированные габариты судового хода, возможность проводки судов различной осадки, безопасность швартовки у причалов, а также на сроки и продолжительность навигационного периода. Неточный или несвоевременный прогноз уровней может привести к значительным экономическим убыткам, вызванным простоями флота, повреждениями судов и гидротехнических сооружений, срывами графиков доставки грузов. [1]

В условиях наблюдаемых климатических изменений, проявляющихся в увеличении частоты и интенсивности аномальных гидрометеорологических явлений, задача достоверного прогнозирования уровеньного режима приобретает стратегическое значение. Для северных рек, таких как Таз, эти изменения могут быть выражены особенно ярко ввиду трансформации режима таяния многолетней мерзлоты, снежного покрова и ледовых явлений [2]. В связи с этим разработка и внедрение современных методов прогнозирования становятся необходимым элементом системы управления воднотранспортным комплексом, направленной на минимизацию рисков и адаптацию к изменяющимся условиям. [3-11]

Анализ и прогнозирование гидрологических временных рядов, к которым относятся и ряды уровней воды, традиционно опирается на два основных методологических подхода: детерминистический (физико-математический) и стохастический (статистический).

– Детерминистические (процессно-ориентированные) модели основываются на математическом описании физических процессов формирования стока (гидрологические модели типа HBV, SWAT, MIKE SHE). Они требуют обширных входных данных (метеорология, морфометрия бассейна, характеристики почв и растительности) и высокой степени параметризации, что зачастую ограничивает их оперативное применение, особенно для рек с недостаточной изученностью и скудной сетью наблюдений.

– Стохастические (эмпирико-статистические) модели рассматривают гидрологический ряд как реализацию случайного процесса, выявляя и формализуя его внутренние статистические закономерности. К классическим методам этой группы относятся модели семейства ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average – авторегрессионное интегрированное скользящее среднее), которые учитывают тренд, сезонность и автокорреляцию в данных.

В последнее десятилетие бурное развитие методов машинного обучения (Machine Learning, ML) открыло новые возможности для анализа временных рядов. Алгоритмы, такие как градиентный бустинг (XGBoost, LightGBM, CatBoost), случайный лес (Random Forest) и рекуррентные нейронные сети (RNN, LSTM), демонстрируют высокую эффективность в задачах прогнозирования за счёт способности выявлять сложные нелинейные зависимости и взаимодействия в данных без строгих предположений об их распределении. Однако их сравнительная эффективность по отношению к классическим статистическим методам применительно к прогнозу уровней воды в конкретных, слабо изученных районах, требует специального исследования.

Река Таз, являясь одной из крупных водных артерий Западной Сибири, играет важную роль в транспортном обеспечении труднодоступных районов. Существующие подходы к прогнозу уровней воды на этом участке зачастую носят эмпирический или упрощённый характер и могут не в полной мере учитывать современную динамику гидрометеорологических факторов.

Следовательно, возникает научно-практическая проблема, заключающаяся в несоответствии существующего уровня точности и надёжности прогнозов уровня воды в замыкающем створе реки Таз – с. Красноселькуп – растущим требованиям к эффективности и безопасности эксплуатации водных путей. Разрешение этой проблемы возможно через комплексное применение современных методов анализа данных, включая как апробированные статистические подходы (ARIMA), так и перспективные алгоритмы машинного обучения, с последующей объективной оценкой их пригодности для условий данной конкретной реки.

Целью исследования является повышение точности долгосрочного прогнозирования максимальных уровней воды в замыкающем створе реки Таз путём разработки и сравнительного анализа адаптированных моделей на основе методов анализа временных рядов и машинного обучения.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

1. Собрать, систематизировать и выполнить предобработку многолетних рядов данных по уровням воды в замыкающем створе реки Таз.
2. Провести детальный статистический и структурный анализ временных рядов для выявления трендов, сезонности, цикличности и оценки стационарности.
3. Построить, обучить и верифицировать прогнозные модели на основе классического метода ARIMA.
4. Разработать, обучить и оценить альтернативные прогнозные модели с использованием современных алгоритмов машинного обучения (градиентный бустинг).
5. Провести сравнительный анализ точности и устойчивости всех построенных моделей на тестовой выборке и выбрать оптимальную.
6. На основе выбранной модели сформировать прогноз и разработать практические рекомендации для служб эксплуатации водных путей.

Научная новизна работы заключается в комплексном применении и сравнительном анализе эффективности моделей ARIMA и алгоритмов машинного обучения для прогнозирования уровней воды именно в замыкающем створе реки Таз; разработке адаптированной методики предобработки и анализа гидрологических рядов для условий севера Западной Сибири с учётом специфики их формирования; получении новых количественных оценок вклада различных компонент (тренд, сезонность) в изменчивость уровня реки Таз и выявлении наиболее значимых для прогноза лагов.

Практическая значимость исследования состоит в следующем:

- Разработанная модель может быть использована ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» и диспетчерскими управлениями речного транспорта для долгосрочного планирования судоходства на реке Таз.

– Предложенная методика обладает потенциалом для трансфера на другие реки Арктической зоны Российской Федерации со схожими гидрологическими условиями.

Материалы и методы

Объектом исследования является временной ряд максимальных уровней воды в замыкающем створе реки Таз – с. Красноселькуп. Данный пункт является основным для оценки общего уровня режима реки, влияющего на условия судоходства на её нижнем участке.

В качестве исходных данных использован архивный ряд максимальных годовых уровней воды (H , см) за 50-летний период непрерывных наблюдений с 1976 по 2025 год включительно. Данные предоставлены [12-13] и прошли первичную верификацию в рамках государственной наблюдательной сети.

Первым этапом работы являлась проверка качества данных и их предобработка:

- проверка на полноту, т.е. автоматически проверялось отсутствие пропущенных значений в ряду;

- визуальный и статистический анализ. Для первичной оценки ряда построены графики временного ряда и его гистограмма распределения. Рассчитаны основные описательные статистики: среднее, медиана, стандартное отклонение, минимум, максимум, квартили, коэффициенты асимметрии и эксцесса;

- анализ тренда. Для выявления долгосрочной направленной изменчивости рассчитан линейный тренд методом наименьших квадратов. Его статистическая значимость оценивалась с помощью коэффициента корреляции и соответствующего p -value;

- тест на нормальность. Гипотеза о нормальности распределения уровней проверялась с помощью критерия Шапиро-Уилка.

- Поскольку методы прогнозирования ARIMA требуют стационарности ряда, проведен комплексный анализ:

- расширенный тест Дики-Фуллера (Augmented Dickey-Fuller test, ADF) проверяет нулевую гипотезу о наличии единичного корня (нестационарность). Ряд считается стационарным при p -value < 0.05 ;

- тест Квайтговски-Филипса-Шмидта-Шина (KPSS test) проверяет нулевую гипотезу о стационарности ряда вокруг детерминированного тренда. Стационарность подтверждается при p -value > 0.05 .

Совместное использование ADF и KPSS тестов позволяет получить надежный вывод о свойстве стационарности ряда и необходимости его дифференцирования.

В работе использованы следующие методы моделирования и прогнозирования.

1. Модели ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). Для построения прогнозной модели использована методология Бокса-Дженкинса.

- идентификация модели произведена на основе анализа автокорреляционной (ACF) и частной автокорреляционной (PACF) функций стационарного ряда, а также с помощью автоматического перебора (auto-ARIMA) определялись потенциальные порядки модели: p (авторегрессия), d (дифференцирование), q (скользящее среднее);

- параметры выбранных моделей оценивались методом максимального правдоподобия;

- качество подобранных моделей сравнивалось на основе информационных критериев Акаике (AIC) и Байеса (BIC), предпочтение отдавалось моделям с минимальными значениями. Также проводился анализ остатков модели на предмет отсутствия автокорреляции (тест Льюинга-Бокса) и нормальности распределения;

2. Методы машинного обучения. Для сравнительного анализа применены алгоритмы, эффективные в задачах регрессии временных рядов.

Исходный ряд преобразован в формат обучения с учителем. В качестве признаков использовались значения уровня за k предыдущих лет (окно или лаг), где k подбиралось экспериментально. Целевой переменной являлось значение уровня в следующий год.

Модели и их настройка:

- Линейная регрессия (Linear Regression) – базовый линейный метод.
- Гребневая регрессия (Ridge Regression) – линейная модель с L2-регуляризацией для борьбы с переобучением.
- Случайный лес (Random Forest) – ансамблевый метод на основе решающих деревьев.
- Градиентный бустинг (Gradient Boosting) – ансамблевый алгоритм последовательного построения деревьев.
- Многослойный перцептрон (MLP) – простейшая архитектура искусственной нейронной сети.

Данные разделены на обучающую (первые 40 наблюдений) и тестовую (последние 10 наблюдений) выборки для оценки способности моделей к обобщению. Гиперпараметры моделей настраивались с использованием перекрестной проверки на обучающей выборке.

Для оценки навигационных рисков выполнен вероятностный анализ экстремальных значений. Выделение экстремумов проводилось на основе пороговых значений, заданных 90-м и 10-м процентилями эмпирического распределения. Для расчета уровней воды заданной обеспеченности использовалось аналитическое выравнивание эмпирической кривой распределения с использованием теоретического распределения [кривой Пирсона III типа или обобщенного экстремального распределения (GEV)]. На основе выбранного распределения рассчитаны уровни для половодий с периодами повторяемости 2, 5, 10, 20, 50 и 100 лет.

Для сравнения точности прогнозных моделей использовался следующий набор метрик:

- коэффициент детерминации (R^2) – доля дисперсии зависимой переменной, объясненная моделью;
- корень из среднеквадратической ошибки (Root Mean Square Error, RMSE)
- среднеквадратическое отклонение предсказаний от фактических значений. Штрафует за большие ошибки;
- средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE) – средняя величина абсолютных ошибок. Более устойчива к выбросам.

В качестве итоговой оптимальной модели выбиралась та, которая демонстрировала наилучший баланс этих метрик на тестовой выборке.

Все вычисления и визуализации выполнены в среде Python 3.10. Использовались следующие библиотеки: pandas, numpy для работы с данными; matplotlib, seaborn для визуализации; statsmodels для реализации ARIMA-моделирования и статистических тестов; scikit-learn для реализации алгоритмов машинного обучения и расчета метрик; scipy для выполнения статистических тестов. Автоматический подбор параметров ARIMA осуществлялся с помощью функции auto_arima из библиотеки pmdarima.

Результаты

В качестве исходных данных для анализа использован временной ряд максимальных годовых уровней воды (H , см) в створе реки Таз – с. Красноселькуп за период с 1976 по 2025 год, включающий 50 последовательных наблюдений (рис. 1). Первичная проверка данных показала отсутствие пропущенных значений. Статистическое описание ряда представлено в таблице 1.

Таблица 1

Основные статистические характеристики временного ряда максимальных уровней воды
р. Таз – с. Красноселькуп (1976-2025 гг.)

Показатель	Значение	Единица измерения
Объем выборки (n)	50	лет
Среднее арифметическое (μ)	1006	см
Медиана (Me)	1014	см
Стандартное отклонение (σ)	49.5	см
Коэффициент вариации (Cv)	0.049 (4.9%)	-
Минимум (Hmin)	878	см
Максимум (Hmax)	1136	см
Размах (R)	258	см

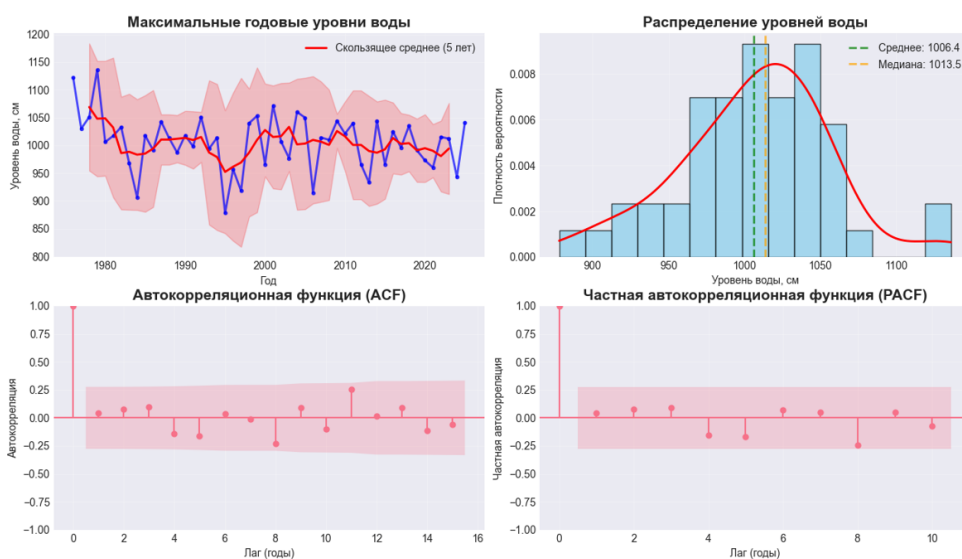


Рис. 1. Результаты разведочного анализа данных

Визуальный анализ ряда (рис. 1) не выявил выраженных циклических колебаний, однако наблюдается общая тенденция к снижению средних значений. Результаты теста Шапиро-Уилка ($p\text{-value} = 0.2573$) позволили не отвергнуть нулевую гипотезу о нормальности распределения уровней. Оценка линейного тренда методом МНК показала слабый отрицательный наклон (-0.716 см/год), однако его статистическая значимость не подтверждена ($p\text{-value} = 0.1459$).

Для корректного применения моделей ARIMA проведен комплексный анализ стационарности ряда. Результаты расширенного теста Дики-Фуллера (ADF) и теста Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина (KPSS) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты тестов на стационарность временного ряда уровней воды

Тест	Нулевая гипотеза (H_0)	Статистика теста	p-value	Вывод
ADF	Ряд имеет единичный корень (нестационарен)	-6.9268	0.0000	Отвергается H_0 . Ряд стационарен.
KPSS	Ряд стационарен вокруг детерминированного тренда	0.2454	> 0.10	Не отвергается H_0 . Ряд стационарен.

Оба теста согласованно подтвердили стационарность исследуемого временного ряда. Это означает, что его статистические свойства (среднее, дисперсия) не меняются во времени, и применение дифференцирования (параметр d в ARIMA) не требуется.

Для оценки навигационных рисков выполнен анализ экстремальных значений ряда (рис. 2-3). В качестве пороговых приняты 90-й и 10-й процентиля (1051 см и 942 см соответственно). Идентифицировано по 5 лет с экстремально высокими и экстремально низкими уровнями. К экстремально низким относятся года: 2013 (933 см), 1997 (918 см), 2006 (915 см), 1984 (906 см), 1995 (878 см). К экстремально высоким относятся: 1999 (1053 см), 2004 (1060 см), 2001 (1072 см), 1976 (1122 см), 1979 (1136 см).



Рис. 2. Временной ряд с выделением экстремумов

Автоматический перебор параметров с минимизацией информационных критериев Акаике (AIC) и Байеса (BIC) определил ARIMA(0,1,1) в качестве оптимальной модели. Данная конфигурация ($p=0$, $d=1$, $q=1$) указывает на то, что для получения стационарного ряда потребовалось однократное дифференцирование, а его поведение лучше всего описывается моделью скользящего среднего первого порядка. Модель продемонстрировала наименьшие значения AIC (529.76) и BIC (533.54) среди 18 протестированных конфигураций.

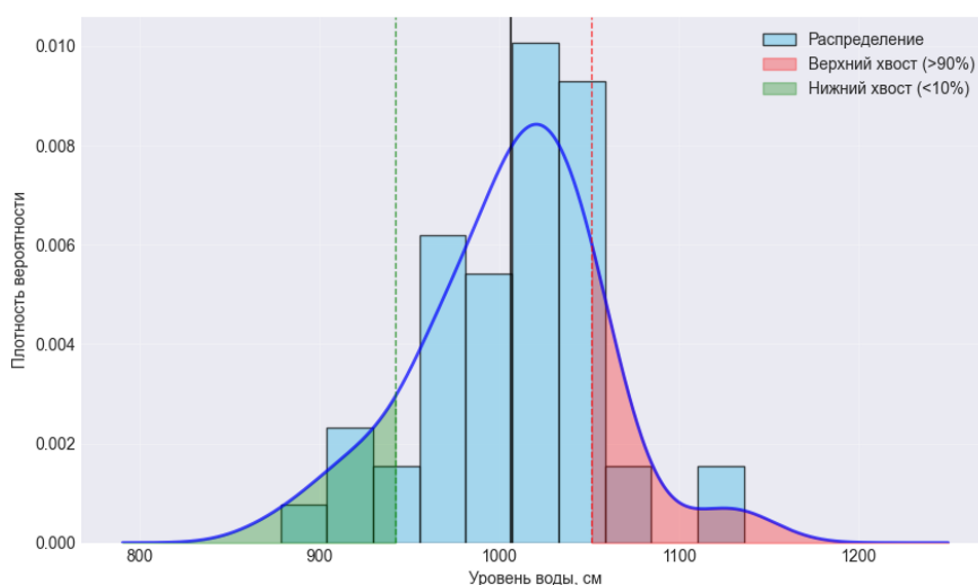


Рис. 3. Распределение с выделением экстремальных значений

Модель ARIMA(0,1,1) использована для построения точечного прогноза и 95%-х доверительных интервалов на 3 года вперед (2026-2028 гг.). Согласно прогнозу, ожидаемый уровень стабилизируется около значения 999.6 см (рис. 1). Ширина доверительного интервала закономерно увеличивается с ростом горизонта прогнозирования, отражая нарастающую неопределенность.

В качестве альтернативного подхода обучены и протестированы пять регрессионных моделей машинного обучения с использованием окна из 5 предыдущих лет в качестве признаков. Результаты оценки моделей на тестовой выборке представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты сравнительной оценки прогнозных моделей

Модель	Коэффициент детерминации (R^2)	Среднеквадратическая ошибка (RMSE), см	Средняя абсолютная ошибка (MAE), см
Random Forest	-0.0098	31.46	26.05
Linear Regression	-0.0876	32.65	27.98
Ridge Regression	-0.0876	32.65	27.98
Gradient Boosting	-1.0790	45.14	37.82
MLP Neural Network	-6.9745	88.41	79.95

Примечание. Отрицательные значения R^2 свидетельствуют о том, что предсказания модели хуже, чем простое использование среднего значения выборки.

Как видно из таблицы 3, все модели машинного обучения показали низкую эффективность на тестовых данных, демонстрируя отрицательный коэффициент детерминации R^2 . Наилучший, хотя и неудовлетворительный, результат показала модель Random Forest (RMSE = 31.46 см). Это указывает на то, что для данного конкретного ряда, характеризующегося стационарностью и отсутствием выраженных сложных нелинейных паттернов, простые линейные методы (ARIMA) оказались более адекватными, чем рассматриваемые алгоритмы машинного обучения в предложенной конфигурации.

Итоговый прогноз на ближайшие 10 лет, полученный по оптимальной модели ARIMA(0,1,1), представлен в таблице 4.

Таблица 4

**Прогноз максимальных годовых уровней воды по модели ARIMA(0,1,1)
на период 2026-2028 гг.**

Год	Точечный прогноз, см	Нижняя граница 95% ДИ, см	Верхняя граница 95% ДИ, см
2026	999.6	899.8	1099.3
2027	999.6	899.4	1099.7
2028	999.6	899.1	1100.1

Обсуждение

Анализ 50-летнего ряда максимальных уровней воды в створе р. Таз – с. Красноселькуп выявил его основные статистические и динамические особенности. Подтвержденная стационарность ряда (по результатам ADF и KPSS тестов) указывает на отсутствие структурных изменений в процессе формирования экстремальных уровней на исследуемом интервале. Это важный вывод, позволяющий применять классические методы анализа временных рядов без необходимости учета сложных нестационарных компонент. Обнаруженный слабый негативный тренд (-0.716 см/год), статистически незначимый на 5%-ном уровне, может быть индикатором долгосрочной климатической динамики в бассейне (изменения в режиме осадков, температуре, снеготаянии), однако для его подтверждения и интерпретации требуются дополнительные исследования с привлечением более длинных рядов и метеорологических данных. Относительно низкий коэффициент вариации (4.9%) характеризует умеренную изменчивость экстремальных уровней, что потенциально благоприятно для планирования судоходства, однако наличие ярко выраженных экстремумов (например, 1136 см в 1979 г. против 878 см в 2013 г.) подчеркивает необходимость учета вероятностных характеристик для оценки рисков.

Сравнительный анализ эффективности моделей ARIMA и машинного обучения дал четкий результат в пользу классического статистического подхода.

Модель ARIMA(0,1,1) продемонстрировала адекватность для данного ряда. Ее преимуществами являются: 1) прозрачная интерпретируемость параметров; 2) надежная статистическая основа, включающая формальные тесты и диагностику; 3) способность генерировать вероятностные прогнозы с доверительными интервалами; 4) эффективность работы с относительно короткими рядами. Недостаток – предположение о линейной зависимости в преобразованных данных, что может не улавливать сложные нелинейности.

Методы машинного обучения (Random Forest, Gradient Boosting и др.) в представленной конфигурации показали низкую прогнозную силу ($R^2 < 0$). Это можно объяснить следующими причинами: 1) недостаточным для сложных алгоритмов объемом обучающих данных (50 наблюдений); 2) отсутствием в модели значимых внешних предикторов (метеопараметров), что ограничило прогнозный потенциал алгоритмов, настроенных на выявление сложных взаимосвязей; 3) относительно простой, близкой к стационарной структуре ряда, где избыточная сложность ML-моделей приводит к переобучению на шум. Соответственно, для данной конкретной задачи – прогнозирования короткого стационарного гидрологического ряда без дополнительных признаков – простота и статистическая обоснованность ARIMA оказались более предпочтительными, чем гибкость машинного обучения.

Эффективность модели ARIMA(0,1,1) обусловлена ее соответствием свойствам исходных данных. Параметр $d=1$ указывает на то, что ряд стал стационарным после одного дифференцирования, что согласуется с выявленным слабым трендом. Параметр $q=1$ (порядок скользящего среднего) указывает на то, что текущее значение ряда зависит от случайной составляющей одного предыдущего шага, что характерно для процессов, где воздействие случайных факторов (погодные аномалии) имеет

кратковременную «память». Нулевое значение ρ (авторегрессия) предполагает, что зависимость от собственных прошлых значений уровня, сверх учета тренда и случайного шума, статистически незначима. Следовательно, модель идентифицировала структуру ряда как процесс, в котором ежегодное изменение уровня является случайной величиной, зависящей от случайного воздействия предыдущего года.

Полученные результаты согласуются с выводами ряда исследований, посвященных прогнозированию гидрологических рядов [3-5]. Многие авторы отмечают высокую эффективность моделей ARIMA для прогноза уровней и расходов воды на реках с устойчивым гидрологическим режимом. С другой стороны, опыт моделирования на реках с выраженной нестационарностью (например, под сильным антропогенным воздействием или в условиях быстрых климатических изменений) или с наличием большого массива дополнительных данных демонстрирует преимущество гибридных моделей и алгоритмов машинного обучения. Случай реки Таз занимает промежуточное положение: ряд стационарен, но потенциально содержит слабый климатический тренд, что делает ARIMA адекватным, но, возможно, не предельно точным инструментом в долгосрочной перспективе.

Прогноз, построенный моделью ARIMA, содержит информацию о неопределенности, выраженную в виде 95% доверительных интервалов. Модель предсказывает не конкретное значение уровня, а чрезвычайно широкий диапазон его возможных значений. Например, прогноз на ближайший 2026 год ($999.6 \pm \sim 100$ см) фактически указывает лишь на то, что с 95%-ной вероятностью уровень может оказаться в интервале от 900 до 1100 см, что перекрывает почти весь наблюдаемый исторический размах. С оперативной точки зрения такой прогноз не может служить основой для принятия решений по регулированию судоходства, определению гарантированных глубин или планированию гидротехнических работ.

Выявленная низкая точность точечного прогноза и чрезмерная ширина доверительных интервалов являются ключевым ограничением практического применения чистой модели ARIMA, построенной исключительно на исторических значениях уровней. Для получения прогноза с приемлемой для эксплуатации точностью (с RMSE, например, менее 15-20 см) необходимо выйти за рамки унимодального подхода. Требуется разработка мультифакторных моделей, которые будут учитывать физические драйверы формирования уровня воды. В качестве предикторов должны рассматриваться метеорологические данные за предшествующие сезоны (суммы осадков в бассейне, температура воздуха, снегозапасы), а также крупномасштабные климатические индексы, влияющие на гидрологический режим региона. Интеграция этих данных с помощью методов машинного обучения (градиентный бустинг, нейронные сети) или гидродинамического моделирования позволит уменьшить неопределенность прогноза, сузив доверительные интервалы и повысив точность точечных оценок.

Границы применимости представленной модели ARIMA(0,1,1) лежат в области преимущественно исследовательского и оценочного применения, например, для верификации других моделей или предварительной качественной оценки тренда. Для целей оперативного управления водным путем она не может быть использована напрямую и служит демонстрацией метода и отправной точкой для создания более совершенных прогнозных систем.

Заключение

Проведенное исследование позволило получить следующие принципиальные выводы о максимальных годовых уровнях воды в замыкающем створе реки Таз и методах их прогнозирования.

Анализ 50-летнего ряда наблюдений (1976-2025 гг.) показал, что максимальные годовые уровни воды характеризуются средним значением 1006.4 см, медианой

1013.5 см и умеренной изменчивостью (коэффициент вариации 4.9%). Статистически значимый тренд не выявлен, что свидетельствует об относительной устойчивости режима экстремальных уровней на исследуемом временном интервале.

Комплексный анализ стационарности (тесты ADF и KPSS) подтвердил, что исследуемый ряд является стационарным, что является благоприятным условием для применения классических методов анализа временных рядов.

В результате сравнительного анализа установлено, что для прогнозирования данного ряда оптимальной является классическая статистическая модель ARIMA(0,1,1), демонстрирующая удовлетворительные результаты. Алгоритмы машинного обучения (Random Forest, Gradient Boosting и др.), примененные в конфигурации без внешних предикторов и на ограниченной выборке, не показали прогнозной эффективности, уступая модели ARIMA.

Разработанная прогнозная модель ARIMA(0,1,1) позволила получить выводы о статистической структуре ряда уровней реки Таз и обладает методологической и исследовательской ценностью. Она подтвердила стационарность ряда, отсутствие значимого тренда и обеспечила базовый прогнозный сценарий. Рассчитанные на ее основе уровни половодий различной повторяемости (например, 10-летний – 1051.2 см) формируют статистическую базу для долгосрочной оценки гидрологических рисков при проектировании и реконструкции береговых и гидротехнических сооружений.

Однако, в контексте непосредственного оперативного применения для управления судоходством, модель демонстрирует серьезные ограничения. Чрезмерно широкие доверительные интервалы прогноза (например, ± 100 см на 2026 г.) делают его непригодным для решения конкретных эксплуатационных задач, таких как точное определение гарантированных глубин фарватера, расчет оптимальной осадки и загрузки судов или составление детальных графиков навигации. Прогноз, указывающий лишь на вероятный диапазон от 900 до 1100 см, по сути констатирует неопределенность, а не предоставляет необходимую для диспетчеризации точную количественную оценку.

Следовательно, прямое внедрение данной модели в систему оперативного планирования водного транспорта не представляется целесообразным. Ее основная практическая роль видится в качестве научно-методического фундамента для разработки более точных прогнозных систем, инструмента верификации будущих, более сложных моделей, и компонента системы долгосрочного стратегического планирования и оценки рисков, где требования к точности ниже, а важность понимания диапазона возможных сценариев выше.

Для перехода к научно обоснованному оперативному управлению необходима разработка мультифакторных моделей (с привлечением метеоданных и методов машинного обучения), способных обеспечить точность, удовлетворяющую требованиям судоходной практики.

Список литературы

1. Харлампьева, Н. К. Арктическая устьевая гидрология: история исследования / Н. К. Харлампьева, М. В. Третьяков, В. В. Иванов // География и краеведение в Якутии и регионах России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения Г.Н. Максимова, Якутск, 22–23 марта 2024 года. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2024. – С. 115-120. – EDN GUMXFY.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность, т. 15, вып. 3. Л., Гидрометеиздат, 1964.
3. Волкова, Н. А. Анализ многолетних колебаний уровня воды реки Пур для обеспечения безопасности судоходства / Н. А. Волкова // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2025. – № 2(54). – С. 6-22. – DOI 10.61260/2307-7476-2025-2-6-22.

4. Волкова, Н.А. Комплексный подход к снижению аварийности на внутренних водных путях арктического региона России / Н. А. Волкова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2025. – Т. 22, № 3. – С. 761-775. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-3-761-775.
5. Волкова, Н.А. Методика долгосрочного прогнозирования максимальных уровней воды реки Таз / Н.А. Волкова, К.В. Ромашова // Техносферная безопасность в Арктике : Сборник материалов в рамках VIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21 марта 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, 2025. – С. 223-226. – EDN RFVHDX.
6. Tariq S. et al. Deep quantum-transformer networks for multimodal beam prediction in isac systems //IEEE Internet of Things Journal. – 2024. – Т. 11. – №. 18. – С. 29387-29401.
7. Lin H. et al. Diformer: A difference transformer network for remote sensing change detection //IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2024. – Т. 21. – С. 1-5.
8. Никитин С.Д., Мамонтов А.И. О сжатии нейросетей с архитектурой «Трансформер» //Измерение, контроль, информатизация: материалы XXVI Между-народной научно-технической конференции (23 мая 2025 г., г. Барнаул)/Под ред. ЛИ Сучковой.– Барнаул: Изд-во АлГТУ, 2025.–216 с.–URL: https://journal.altstu.ru/konf_2025/2025_1/143/.–Текст: электронный. – 2025. – С. 12.
9. Ключовкин Г.К. Нейронные сети против классических ML-моделей: в каких случаях стоит усложнять архитектуру //Актуальные исследования. – 2024. – №. 37 (219).
10. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5998–6008.,
11. Fabiano N. et al. How to optimize the systematic review process using AI tools //JCPP advances. – 2024. – Т. 4. – №. 2. – С. e12234.
12. Гидрологический ежегодник, т. 6, вып. 0-9. Л., Гидрометеиздат, 1936-2012.
13. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения 01.09.2025)

References

1. Kharlampieva, N. K. Arctic estuarine hydrology: history of research / N. K. Kharlampieva, M. V. Tretyakov, V. V. Ivanov // Geography and local history in Yakutia and regions of Russia: Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 85th anniversary of the birth of G.N. Maksimova, Yakutsk, March 22–23, 2024. – Yakutsk: NEFU Publishing House, 2024. – P. 115-120. – EDN GUMXFY.
2. Surface water resources of the USSR. Hydrological knowledge, vol. 15, no. 3. L., Gidrometeoizdat, 1964.
3. Volkova, N. A. Analysis of long-term fluctuations in the Pur River water level to ensure navigation safety / N. A. Volkova // Natural and man-made risks (physical, mathematical and applied aspects). - 2025. - No. 2 (54). - Pp. 6-22. - DOI 10.61260/2307-7476-2025-2-6-22.
4. Volkova, N. A. An integrated approach to reducing accidents on inland waterways of the Arctic region of Russia / N. A. Volkova // Bulletin of the St. Petersburg University of Transport. - 2025. - Vol. 22, No. 3. - Pp. 761-775. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-3-761-775.
5. Volkova, N.A. Methodology for long-term forecasting of maximum water levels of the Taz River / N.A. Volkova, K.V. Romashova // Technosphere Safety in the Arctic: Collection of materials within the framework of the VIII International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, March 21, 2025. – St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia named after Hero of the Russian Federation, General of the Army E.N. Zinichev, 2025. – pp. 223-226. – EDN RFVHDX.
6. Tariq S. et al. Deep quantum-transformer networks for multimodal beam prediction in isac systems // IEEE Internet of Things Journal. – 2024. – Vol. 11. – No. 18. – P. 29387-29401.

7. Lin H. et al. Difformer: A difference transformer network for remote sensing change detection // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2024. – Vol. 21. – P. 1-5.
8. Nikitin S.D., Mamontov A.I. On the compression of neural networks with the «Transformer» architecture // Measurement, control, informatization: Proceedings of the 26th International scientific and technical conference (May 23, 2025, Barnaul) / Ed. L. I. Suchkova. – Barnaul: Publishing house of Altai State Technical University, 2025.–216 p. – URL: https://journal.altstu.ru/konf_2025/2025_1/143/.–Text: electronic. – 2025. – P. 12.
9. Klyukovkin G.K. Neural networks versus classical ML models: when is it worth complicating the architecture // Current research. – 2024. – No. 37 (219).
10. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems, 30, 5998–6008.
11. Fabiano N. et al. How to optimize the systematic review process using AI tools // JCPP advances. – 2024. – Vol. 4. – No. 2. – P. e12234.
12. Hydrological Yearbook, Vol. 6, Issues 0-9. L., Gidrometeoizdat, 1936-2012.
13. Automated Information System for State Monitoring of Water Bodies [Electronic resource]: Access mode: <https://gmvo.skniivh.ru> (date of access 09/01/2025)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Волкова Надежда Александровна, к.ф.-м.н., доцент кафедры водно-технических изысканий Российского государственного гидрометеорологического университета (192007, Россия, Санкт-Петербург, Воронежская улица, дом 79); с.н.с., Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, e-mail: navolkova@aari.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9272-4713>, SPIN-код: 3807-0526

Nadezhda A. Volkova, PhD, Associate Professor, Department of Water-Engineering Surveys, Russian State Hydrometeorological University (192007, Russia, St. Petersburg, Voronezhskaya Street, Building 79); Senior Researcher, Arctic and Antarctic Research Institute, e-mail: navolkova@aari.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9272-4713>, SPIN: 3807-0526

Дмитриев Георгий Юрьевич, аспирант, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, e-mail: dmit-egor@yandex.ru

Georgy Yu. Dmitriev, graduate student, Arctic and Antarctic Research Institute, e-mail: dmit-egor@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15.01.2026; принята к публикации 20.04.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 15.01.2026; published online 20.06.2026.

УДК656.6

DOI: 10.37890/jwt.vi87.709

Трансформация морского страхования как способа повышения безопасности судоходства в условиях санкций и эскалации военных конфликтов

О.Л. Домнина

ORCID: 0000-0002-9098-313X

И.А. Горохова

ORCID: 0009-0008-5265-8249

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

Аннотация. Одним из инструментов повышения безопасности морского судоходства является институт морского страхования. Данная статья представляет собой углубленное исследование феноменов, сопутствующих трансформации рынка морского страхования в условиях санкционного давления и эскалации военных рисков. Анализируются несколько блоков информации. Во-первых, это влияние санкций, наложенных на РФ, на управление риском в морском судоходстве и феномен «теневой флота» как системный ответ на страховые ограничения. Во-вторых, с учетом сравнительного опыта Ирана и России и экспертных оценок страховых компаний выполняется сценарное прогнозирование российской траектории развития страховых услуг в сфере морского судоходства. В-третьих, исследуется влияние эскалации военных рисков на систему управления рисками в морском судоходстве и выявляются проблемы, связанные с несовершенством российского законодательства. В-четвертых, обобщая выполненные исследования формулируются предложения альтернативных инструментов управления риском: секьюритизация как потенциальная замена западному перестрахованию; создание перестраховочного пула БРИКС; создание российского клуба взаимного страхования (P&I); использование гарантий правительства с одновременным страхованием этих гарантий; создание национальной страховой компании. Изучаются плюсы и минусы каждого из предложенных инструментов.

Ключевые слова: безопасность морского судоходства, теневой флот, морское страхование, санкции, страховая хрупкость, сценарное прогнозирование, эскалация военных рисков.

The transformation of marine insurance as a way to improve the safety of navigation under conditions of sanctions and escalating military conflicts

Olga L. Domnina

ORCID: 0000-0002-9098-313X

Irina A. Gorokhova

ORCID: 0009-0008-5265-8249

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract: One of the tools for improving the safety of maritime navigation is the Marine Insurance Institute. This article is an in-depth study of the phenomena accompanying the transformation of the marine insurance market under conditions of sanctions pressure and escalation of military risks. Several blocks of information are analyzed. Firstly, it is the impact of sanctions imposed on the Russian Federation, on risk management in maritime navigation and the phenomenon of the «shadow fleet» as a systemic response to insurance restrictions. Secondly, considering the comparative experience of Iran and Russia and the

expert assessments of insurance companies, scenario forecasting of the Russian strategy for the development of insurance services in the field of maritime navigation is carried out. Thirdly, the impact of the escalation of military risks on the maritime risk management system is investigated and problems related to the imperfection of Russian legislation are identified. Fourth, summarizing the research carried out, proposals for alternative risk management tools are formulated: securitization as a potential replacement for Western reinsurance; creation of the BRICS reinsurance pool; creation of the Russian Mutual Insurance Club (P&I); use of government guarantees with one-time insurance of these guarantees; creation of a national insurance company. The pros and cons of each of the proposed tools are being studied.

Keywords: maritime safety, shadow fleet, marine insurance, sanctions, insurance fragility, scenario forecasting, escalation of military risks.

Введение

Устойчивость работы морского транспорта напрямую зависит от доступности и адекватности страхового покрытия, что непосредственно связано с безопасностью судоходства. После 2022 года российское судоходство столкнулось с серьезными проблемами, связанными с введением санкционных ограничений на российский экспорт и эскалацией военных конфликтов в акваториях, используемых для международной торговли [1].

При этом среди санкций необходимо учитывать: 19 пакетов санкций ЕС (включающий в числе прочего запреты на доступ в порты ЕС, на погрузо-разгрузочные работы, бункеровку, смену экипажа, страхование) и санкции США, распространяющиеся в числе прочего на российский энергетический сектор (внесение в него как предприятий этого сектора, так и страховых компаний, танкеров, оказание нефтесервисных услуг). В ответ на отказ западных перестраховщиков от сотрудничества с РФ, ключевым перестраховщиком для судовладельцев стала Российская национальная перестраховочная компания (РНПК) [2]. Она принимает риски, от которых отказались западные партнеры, включая страхование российского танкерного флота.

Вместе с тем, существующие исследования, связанные с изменением различных аспектов морского страхования [1, 2, 3, 4, 5] в основном сосредоточены отказе работы с российскими судовладельцами и росте тарифов на страховые услуги. Однако, отдельные аспекты санкционного влияния на риски морского судоходства остаются вне поля зрения. Например, страховые практики использования «теневых флотов»; анализ альтернативных механизмов переноса риска; сопоставление с опытом Ирана при страховании рисков в условиях санкций. Кроме того, отсутствует анализ правовых пробелов в Кодексе торгового мореплавания РФ (КТМ РФ) и сценарное прогнозирование.

Поэтому цель данного исследования — восполнить указанные пробелы, предложив комплексный анализ указанных аспектов трансформации морского страхования. В рамках достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ влияния санкций, наложенных на РФ, на управление рисками в морском судоходстве;
- провести анализ влияния эскалации военных конфликтов на управление рисками в морском судоходстве;
- выполнить сравнительный анализ страхового опыта Ирана (2012–2020) и России (2022–2026 годы);
- выполнить сценарное прогнозирование развития морского страхования в РФ до 2030 года;
- разработать предложения по развитию альтернативных инструментах управления риском для российского морского судоходства.

Материалы и методы

Исследование базируется на методах сопоставления Российского и Иранского опыта, анализе использования теневого флота для обхода санкций, методе экспертных оценок. Эмпирическую базу составили: отчет аналитического агентства [6], данные СМИ, а также интервью с представителями отдельных страховых компаний, в том числе в рамках VI Международной конференции «Риски в морском страховании: лучшие практики, российский и международный опыт».

Анализ влияния санкций, наложенных на РФ, на управление рисками в морском судоходстве

При рассмотрении влияния санкций на российское морское судоходство необходимо учитывать санкции ЕС, США, Великобритании. В ответ на отказ западных страховщиков и перестраховщиков от сотрудничества с РФ, ключевым перестраховщиком в том числе в морском судоходстве стали российские страховые компании и Российская национальная перестраховочная компания (РНПК). При этом существенно выросла доля судов, подпадающих под понятие «теневое флота», под которым понимается совокупность морских судов (преимущественно танкеров), эксплуатируемых с использованием непрозрачных структур собственности (номинальных владельцев в офшорных юрисдикциях и др.), регистрации под «удобными» флагами (Габон, Коморские Острова, Панама, Либерия, Монголия) и практик, направленных на сокрытие реального маршрута, собственника и характера груза. К таким практикам относятся: систематические манипуляции с автоматической идентификационной системой AIS (отключение, подмена данных, ретрансляция ложных координат); передачи груза по варианту «судно-судно» в открытом море вне зоны портового контроля; частая смена названий судов и флагов.

Согласно аналитическому отчету Kpler [6], количество судов, идентифицируемых как часть глобального теневого флота, выросло со 102 единиц в 2022 году до 647 единиц к началу 2026 года. Из них 183 судна были внесены в санкционные списки США (10 января 2025 года) и ЕС (24 февраля 2025 года) по основаниям, связанным с транспортировкой российской нефти в обход «потолка цен».

Ключевая особенность работы такого флота - отсутствие стандартного страхования гражданской ответственности судовладельца (P&I). Вместо этого используются три основные схемы:

1. Корпоративное самострахование, когда судовладелец (часто зарегистрированный в офшорной зоне) создает внутренний резервный фонд, размещая на депозите сумму, эквивалентную потенциальным убыткам (обычно не более 10-20 млн. долл. США, тогда как стандартный полис покрывает до 1 млрд долл. США). Юридически это оформляется как договор между двумя аффилированными офшорными компаниями.

2. Страхование через посредников в «третьих» странах. Например, ряд страховщиков в Турции, ОАЭ, Китае и Гонконге предлагают ограниченное покрытие с лимитом ответственности до 1 млн. долл. США, которое является минимальным требованием для захода в порты согласно Международной конвенции о гражданской ответственности за ущерб от загрязнения нефтью (CLC 1992). Такой полис не покрывает военные риски и риски экологических катастроф в полном объеме.

3. Полное отсутствие страхового покрытия. Такая практика характерна для судов, зарегистрированных в юрисдикциях некоторых островных государств Тихого океана. В этом случае суда не допускаются в порты стран - членов Международной морской организации (ИМО), но осуществляют рейсы между портами, где этот контроль не осуществляется.

В итоге, наличие теневого флота приводит к тому, что операторы теневого флота не несут затрат на страховые премии, экономя до 5-7% от стоимости фрахта и

предлагая более низкие тарифы на перевозку. Добросовестные судовладельцы, соблюдающие все требования по страхованию, оказываются в заведомо невыгодном положении. В ответ страховщики вкачают в полисы включаются оговорки о праве страховщика расторгнуть договор при выявлении фактов манипуляции AIS, смены флага без уведомления или связей с офшорными структурами, аффилированными с «теневым флотом».

Поэтому важную роль в принятии решений о фрахтовании и выходе в рейс играют различные факторы, сочетание которых можно обозначить как «страховая хрупкость». Под этим термином будем понимать состояние, при котором формальное наличие страхового полиса не гарантирует своевременного урегулирования убытка из-за комбинации юридических, санкционных, репутационных и других ограничений. Элементами такой хрупкости могут быть:

- отказы портов во входе даже при наличии полиса, если страховщик внесен в санкционные списки (например, порт Шанхай в 2025 году отказал судну, застрахованному в компании, аффилированной с Ираном, несмотря на формальное отсутствие запрета со стороны китайского законодательства);
- задержки в урегулировании убытков на срок более 12 месяцев, обусловленные необходимостью получения санкционных разрешений от управления по контролю за иностранными активами Министерства финансов США (OFAC) или Минфина Великобритании;
- отказ экипажа от выхода в рейс в зону, квалифицированную Международной федерацией работников транспорта (ITF) как зону повышенного риска, если контракт не предусматривает дополнительных компенсаций и права на репатриацию;
- снижение кредитного рейтинга судовладельца из-за ассоциации с подсанкционными маршрутами, что затрудняет получение финансирования.

Указанные факторы могут усугубляться «репутационными» рисками, под которые попадают судовладельцы, осуществившие рейс в зону военного конфликта или с использованием «теневого» флота, и впоследствии сталкивающиеся с отказами в страховании от крупных западных страховщиков, даже если формально уже не нарушали санкции, или же с согласием на страхование, но с увеличением тарифов на 15-25% от базовой премии.

Сравнительный анализ: страховой опыт Ирана (2012-2020) и России (2022-2026)

Для прогнозирования дальнейшей эволюции российского рынка морского страхования целесообразно обратиться к опыту Ирана, который находился под секторальными санкциями США и ЕС в 2012–2020 гг. [5, 7, 8, 9]. Сравнительный анализ представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика страховых адаптаций:
Иран (2012-2020) и Россия (2022–2026)**

Параметр	Иран (2012-2020 годы)	Россия (2022-2026 годы)
Основной национальный страховщик (P&I)	Kish P&I Club (создан в 2011 г.)	РНПК (перестраховщик) + Ингосстрах, АльфаСтрахование (прямые страховщики)
Национальный перестраховщик	Iran Reinsurance Company (Irani Re)	РНПК (капитал увеличен с 37 до 750 млрд руб.)
Признание полисов третьими странами	Китай (полное признание с 2014 г.), Индия (частичное, до 2019 г.), Турция (эпизодически)	Китай (де-факто с 2023 г., де-юре с 2025 г.), Индия (официальное признание с 2025 г.), Турция (признание с 2023 г.)
Использование теневого флота	Активно (в районе Малаккского пролива, у побережья Омана)	Активно (в Балтийском море, у побережья Греции, в Оманском заливе)
Механизмы расчетов страховых премий	Рубли, юани, рупии, турецкие лиры, бартерные схемы	Рубли, юани, рупии, дирхамы ОАЭ, экспериментально — криптовалюты
Доля убытков, урегулированных без западного перестрахования (на пике санкций)	Около 70% (к 2020 г.)	Около 85% (оценка на 2026 г.)
Темп роста тарифов относительно докризисного уровня	+60% (к 2018 г.)	+50% (к 2026 г., оценка)

Анализ табл.1 показал, что:

– полное замещение западного перестрахования национальным у Ирана заняло около 5–7 лет. Россия, благодаря более высокому стартовому капиталу РНПК и более решительным действиям регулятора, сократила этот лаг до 3–4 лет;

– Иранский опыт показывает, что наличие национального страховщика недостаточно; критическое значение имеет политическая воля стран-импортеров (Китай, Индия, Турция) признавать иранские полисы. Для России этот этап был пройден в 2025 году, в котором произошло расширение списка одобренных страховщиков Индией, и де-факто признание Китаем.

– даже после полного замещения тарифы на страхование остаются на 40–60% выше докризисного уровня из-за узкого пула перестраховщиков;

– национальный перестраховщик (Irani Re) оказался не готов к одновременному наступлению нескольких крупных страховых случаев (например, двух разливов нефти в 2018–2019 гг.), что потребовало докапитализации из бюджета. РНПК с капиталом 750 млрд руб. потенциально более устойчива, но также подвержена риску кумуляции.

На основе выявленных трендов и экспертных оценок представителей страховых компаний и научного сообщества (АльфаСтрахование, Ингосстрах, ТТП РФ и научных кругов) построены три сценария.

Наиболее вероятный. Он заключается в консервации текущих тенденций. Его особенностями являются:

- продолжение санкционного режима без существенного смягчения (западные страны не снимают ограничения, но и не вводят новых масштабных пакетов, влияющих на морское страхование);
- основным перестраховщиком морских рисков остается РНПК, основные страховые компании – действующие сейчас на рынке. В совокупности они покрывают более 90% рисков российского флота;
- признание российских полисов ограничено дружественными странами (Китай, Индия, Иран, Турция, ОАЭ, страны ЕАЭС, страны Африки, входящие в Африканский союз);
- тарифы на страхование остаются на 30–50% выше докризисного уровня (2020–2021 гг.) из-за узкого пула перестраховщиков и отсутствия конкуренции;
- теневой флот продолжает существовать, но с ужесточением контроля со стороны ИМО (введение обязательной верификации AIS, создание «белых списков» судов с надлежащим страхованием).

Оптимистичный сценарий, включающий создание страховой и перестраховочной защиты в рамках БРИКС. Этот прогноз опирается на прогнозы главы Минфина Антона Силуанова [10] и выступления главы Всероссийского союза страховщиков (ВСС) Евгения Уфимцева [11]. Такой сценарий опирается на:

- создание перестраховочного пула БРИКС с участием Китая, Индии, Бразилии, ЮАР, ОАЭ, Ирана, Египта и Эфиопии;
 - внедрение система трансграничных платежей «БРИКС Пэй» для оплаты страховых премий и урегулирования убытков (расчеты в национальных валютах через специальный клиринговый механизм);
 - признание российских полисов среди стран Глобального Юга и Юго-Восточной Азии (включая Вьетнам, Индонезию, Малайзию, Таиланд);
 - постепенное снижение тарифов до уровня 2021 года или ниже за счет эффекта масштаба и диверсификации пула рисков;
 - распространение иных инструментов страховой защиты.
- Сценарий пессимистичный по которому прогнозируется дальнейшая эскалация как военных, так и санкционных по отношению к России рисков. Он включает:
- полную блокировку российских судов в портах ЕС, США, Великобритании, Японии, Южной Кореи, Сингапура, Австралии, Канады;
 - расширение вторичных санкций против страховщиков и перевозчиков из Китая и Индии (с угрозой отключения от долларовой системы для банков, обслуживающих сделки с российскими страховыми компаниями), что вынуждает Китай и Индию сократить признание российских полисов;
 - отказ РНПК от покрытия военных рисков из-за исчерпания капитала после двух-трех крупных убытков (например, с ущербом более 500 млрд. руб.);
 - переход к государственному субсидированию страхования за счет средств федерального бюджета и возврат к практике самострахования советского образца с созданием централизованного страхового фонда при Минтрансе РФ;
 - резкое сокращение морского экспорта РФ (на 40–60%) с переориентацией на другие виды транспорта (трубопроводный и железнодорожный в направлении Китая и Центральной Азии).

Оценка вероятностей развития этих сценариев по экспертной оценке представителей морского и страхового бизнеса: наиболее вероятный сценарий с вероятностью 0,65, оптимистичный – с вероятностью 0,2, пессимистичный с вероятностью 0,15.

Анализ влияния эскалации военных рисков на систему управление рисками в морском судоходстве

Из рассмотрения правовой основы страхования согласно статьям 964 и 270 Кодекса торгового мореплавания РФ [12, 13] вытекает, что военные риски являются стандартным исключением из покрытия.

Вместе с тем, наблюдается рост военных рисков. Об этом свидетельствуют следующие факты:

- 16.02.2022 Лондонский объединенный военный комитет по страхованию морских военных рисков включил в список зон повышенной военной опасности украинские и российские воды в Черном и Азовском морях;
- 04.04.2022 в этот список были добавлены все воды РФ;
- 03.03.2026 в список зон повышенной военной опасности были добавлены: Бахрейн, Джибути, Кувейт, Оман, Катар;
- тогда же РНПК выдала нотис по прекращении страхования военных рисков в Персидском заливе включая Оманский залив.
- только за 2026 в регионе Персидского залива по состоянию на 15.04.2026 было зафиксировано 63 случая, связанных с военными рисками.

Некоторые страховые компании могут на добровольной основе включать военные риски в страховое покрытие за дополнительную плату. Вместе с тем, согласно Постановлению Пленума РФ от 18.05.2023 №11 «О практике рассмотрения судами уголовных дел о преступлениях против военной службы» вытекает, что «военными являются действия, которые ведет РФ в военное время по отражению военного нападения на РФ другого государства или группы государств, а также в случае необходимости выполнения международных договоров РФ» [9]. Согласно например, судебной коллегии по экономическим спорам верховного суда РФ от 03.02.2025 года значится, что «...состояние войны в РФ не объявлялось. Военных действий, как они определены в постановлении Пленума Верховного Суда РФ, в Белгородской области не велось...» [9]. Это говорит, что даже при наличии дополнительного полиса страхования военных рисков, достаточно сложно бывает в суде доказать, что повреждение судна произошло по причине наступления военного риска. В тоже время в международных судах, слово «война» зачастую трактуется здравым смыслом [9].

В результате комбинации отмены покрытия военных рисков и значительного роста страховых премий (до 20-кратного увеличения) приводит к фактической остановке транзита экономическими, а не военными методами. Страховой рынок, по сути, выполняет превентивную функцию, блокируя действия судовладельцев.

Анализ нормативных документов позволил выявить ряд дополнительных проблем, требующих решения на законодательном уровне (табл. 2).

Таблица 2

Предложения по минимизации проблем, вызванных несовершенством законодательства при страховании военных рисков в морском судоходстве

№	Наименование проблемы	Характеристика проблемы	Направление ее решения
1	Отсутствие легального определения «военных рисков» в российском законодательстве	Закрытый перечень событий, относящихся к военным рискам, отсутствует. Это порождает судебные споры о том, подлежат ли возмещению убытки от: • пиратства (в КТМ РФ пиратство регулируется отдельно, но его связь со страховым покрытием не определена); • террористических рисков (недостаточность механизмов компенсации и сложности с выявлением виновных лиц); • военных рисков (т.к. согласно нормативным документам относится объявлению войны и ведению ее на определенной территории).	Дополнить ст. 263 КТМ РФ пунктом 3 следующего содержания: «Под военными рисками в целях морского страхования понимаются: военные действия, маневры и иные военные мероприятия; гражданские войны и массовые беспорядки; акты терроризма и пиратства; захват судна, задержание, реквизиция, арест по политическим мотивам; минирование акваторий; применение оружия массового поражения. Указанный перечень может быть расширен по соглашению сторон договора страхования».
2	Отсутствие механизма взаимного признания полисов с иностранными государствами.	КТМ РФ не содержит норм, регулирующих признание российских страховых полисов портовыми властями иностранных государств. Это создает правовую неопределенность для судовладельцев при заходе в порты дружественных стран (Китай, Индия, Турция, ОАЭ), которые формально не обязаны признавать российское страховое покрытие.	Разработать типовое межправительственное соглашение о взаимном признании страхового покрытия ответственности судовладельцев и военных рисков. Включить в КТМ РФ отдельную главу «Международное признание страхования».
3.	Неопределенность арбитражной юрисдикции для споров по страховым случаям в зонах военных конфликтов.	Традиционные арбитражные оговорки, ведущие в Лондонский морской арбитраж (LMAA), стали рискованными из-за санкций (российские страховщики и судовладельцы не могут получить юридические услуги от британских фирм, а арбитражное решение может быть не исполнено из-за блокировки счетов).	Стимулировать использование альтернативных арбитражных институтов: • Международного коммерческого арбитражного суда (МКАС) при Торгово-промышленной палате РФ; • Китайской морской арбитражной комиссии (СМАС, Пекин), которая признается в 60 странах — участницах Нью-Йоркской конвенции 1958 г.; • Арбитражного центра БРИКС (проект, представленный Минюстом России в октябре 2025 года).

Описанные в табл. 2 предложения позволят получать выплаты в случае повреждения судна из-за военных рисков.

Предложение альтернативных инструментов управления риском

В условиях, когда традиционное перестрахование на западном рынке недоступно (или стоит слишком дорого), возникает потребность в предложении альтернативных инструментах управления риском. Наиболее перспективным для российского рынка являются следующие.

Во-первых, это секьюритизация и катастрофические облигации (CAT bonds, catastrophe bonds) [14]. Применительно к страхованию «теневое» флота это может выглядеть следующим образом. Страховщик (цедент) учреждает специальную компанию, которая выпускает облигации на рынке капитала. Инвесторы (например, суверенные фонды, пенсионные фонды, страховые компании) приобретают данные облигации, получая повышенный купонный доход (обычно + 5-10%). В договоре облигационного займа фиксируется триггерное событие (например, потеря танкера в результате военных действий в Ормузском проливе, разлив нефти объемом более 10 000 тонн, общая авария с убытком свыше 50 млн долл. США). Если триггерное событие не наступает в течение срока обращения облигаций (обычно 3-5 лет), инвесторы получают номинальную стоимость обратно вместе с купонным доходом. Если триггерное событие наступает, выплата основной суммы долга инвесторам откладывается или частично/полностью направляется на покрытие убытков страхователя. По состоянию на 2026 год российский рынок находится на стадии концептуальной проработки такого варианта: Российская национальная перестраховочная компания (РНПК) совместно с Банком России и Минфином РФ изучает возможность пилотного выпуска CAT bonds для покрытия рисков Северного морского пути (риски ледового сжатия, аварий в Арктике). Ожидается, что первый выпуск может состояться в 2027-2028 гг. при условии внесения необходимых законодательных изменений.

Во-вторых, это создание перестраховочного пула БРИКС [10]. Речь о создании такого перестраховочного пула ведется с 2024 года. По словам министра финансов РФ Антона Силуанова, такая компания позволит выстроить систему страхования товаров, грузов и услуг, не зависящую от политических решений. По мнению некоторых экспертов, страховой рынок в странах БРИКС обладает потенциалом для укрепления экономической интеграции и обеспечения устойчивого развития объединения. При этом система должна работать на основе современных технологий. Российский Минфин работает уже над созданием депозитарной системы BRICS Clear, основанной на технологии распределенного реестра, которая может стать элементом работы такого пула. Таким образом, создание перестраховочного пула БРИКС — это с одной стороны, шаг к большей независимости и устойчивости для стран-участников, но, с другой стороны, требующий тщательной проработки, инвестиций и преодоления ряда технических, регуляторных и политических вызовов.

В-третьих, это может быть создание российского клуба взаимного страхования (P&I) судовладельцев. Предпосылками создания такого клуба являются: несоответствие роста премий и выплат (страховые выплаты составляют от 20 до 40% страховых премий по каско страхованию и около 10-11% при страховании гражданской ответственности), длительное урегулирование убытков и ограничения и исключения страхования военных рисков страховыми компаниями). Такой институт страхования широко используется за рубежом (на него приходится около 90% страхования тоннажа) [15], но отсутствует в России.

В-четвертых, это может быть использование гарантий правительства с возможностью их компенсации бюджету российскими страховыми компаниями. Такие предложения были сделаны от судоходных компаний в рамках VI

Международной конференции «Риски в морском страховании: лучшие практики, российский и международный опыт»

В-пятых, в проекте Стратегии развития Северного морского пути и Трансарктического транспортного коридора до 2050 года предусмотрено создание национальной страховой компании для экспортирующих сырье судов. Ожидается, что полисы будут признаны Китаем, Индией, Турцией и другими странами-партнерами на основании межправительственных соглашений [16].

Сравнение данных инструментов представлено в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительная характеристика предлагаемых инструментов управления морских рисков, альтернативных обычному страхованию в условиях санкционной политики и эскалации военных рисков

Инструмент	Преимущества	Ограничения и барьеры
секьюритизация и катастрофические облигации (CAT bonds)	облигации могут быть номинированы в рублях, юанях, индийских рупиях или дирхамах ОАЭ, что позволяет полностью обойти долларовую и евровую инфраструктуру (SWIFT, клиринг через DTC/Euroclear); инвесторами могут выступать суверенные фонды дружественных стран (Китайская инвестиционная корпорация CIC, Фонд Абу-Даби ADIA, Катарский инвестиционный орган QIA), которые не находятся под вторичными санкциями США (на текущий момент); CAT bonds не требуют участия западных перестраховщиков (Lloyd's, Munich Re, Swiss Re) и не подпадают под их ограничения.	сложность структурирования: необходима высокая квалификация андеррайтеров, актуариев и юристов, владеющих инструментами секьюритизации; высокие транзакционные издержки (юридическое и финансовое структурирование, регистрация, рейтингование) — от 500 тыс. до 2 млн долл. США на одну эмиссию, что экономически оправдано только для пула рисков объемом от 100 млн долл. США; отсутствие в российском законодательстве понятия «страховые ценные бумаги» и специального режима для CAT bonds.
создание перестраховочного пула БРИКС	снижение зависимости от западных страховщиков; снижение рисков, связанных с введением санкций со стороны других стран; развитие торговли и инвестиций между странами-участницами; создания условий, более подходящих для специфики стран-участников; вероятность снижения расходов на страхование грузов и других рисков, так как ранее значительная часть премий направлялась западным компаниям.	существенные финансовые ресурсы на создание; если компания не будет достаточно капитализирована, это может привести к проблемам с выплатами по страховым случаям; недоверие к новой системе со стороны ее участников, особенно в начале её работы; возможность оказаться неконкурентоспособной по сравнению с западными компаниями; различия в уровне экономического развития стран-участниц, что может затруднять принятие коллективных решений, наиболее выгодных для всех участников объединения.

Инструмент	Преимущества	Ограничения и барьеры
создание российского клуба взаимного страхования (P&I) судовладельцев	требуется меньший уставной капитал, чем при создании страховой компании; формируется гарантийный фонд; формируется фонд превентивных мероприятий; допускается принятие решений судовладельцами; более низкие сроки выплаты в среднем около 30 дней против 150 дней у страховых компаний); авансирование убытков; освобождение от налогов.	необходимость внесения законодательных изменений; нужен лидер, который был бы преисполнен энтузиазма и смог увлечь людей этой идеей; готовность самих владельцев судов действовать сообща и оказывать друг другу взаимную поддержку.
использование гарантий правительства с одновременным страхованием этих гарантий в страховых компаниях	гарантии компенсации рисков для судовладельцев; возможность заходов в некоторые зарубежные порты в условиях санкционных ограничений и военных рисков.;	необходимость внесения законодательных изменений; потребуется достаточная капитализация; требуется формирования гарантийного фонда за счет бюджета; вероятность отсутствия покрытия со стороны страховых компаний из-за попадания риска в разряд исключений из покрытия.
создание национальной страховой компании (НСК)	снижение зависимости от западных страховщиков; снижение рисков, связанных с введением санкций со стороны других стран; НСК может подавать в арбитражные суды стран, которые препятствуют обеспечению судоходства.	признание полисов российской национальной страховой компании на международном уровне остается под вопросом; российской организации прежде всего потребуется получить признание от дружественных государств-партнеров; потребуется достаточная капитализация и поддержка со стороны властей.

Как видно из табл.3. каждый из представленных альтернативных инструментов управления морскими рисками в текущих условиях имеет свои преимущества и недостатки. Все они требуют более детальной проработки и обоснования.

Заключение

Проведенное исследование дополнительных аспектов трансформации морского страхования позволяет сделать несколько теоретических и практических выводов.

1. Теневой флот не является временным явлением. Опыт Ирана (2012–2020) и текущая динамика (рост с 102 до 647 судов за 4 года) свидетельствуют о том, что теневой флот становится одним из элементов судоходства. Для России это означает необходимость разработки правового режима для легализации части операций теневого флота (например, через создание «зеленых коридоров» под эгидой БРИКС+).

2. Правовые коллизии КТМ РФ должны быть устранены в кратчайшие сроки. Отсутствие легального определения военных рисков, механизма взаимного признания создает неопределенность, которая капитализируется в виде повышенных тарифов (на

10–15% выше необходимого) и отсутствие уверенности судовладельцев в получении компенсации ущерба.

3. «Страховая хрупкость» требует новых методов оценки рисков. Традиционные актуарные модели, основанные на частоте и тяжести убытков, не учитывают репутационные и санкционные риски. Необходима разработка интегрального индекса страховой хрупкости, включающего формальные (санкционный статус, наличие военного риска) и неформальные (репутация перевозчика, история манипуляций AIS, юрисдикция флага) индикаторы.

4. Иранский опыт показывает, что признание полисов — это политический, а не технический вопрос. Даже самый надежный национальный страховщик не будет признан иностранным портом без соответствующего межправительственного соглашения. Для России это означает необходимость активизации двусторонних переговоров с Китаем, Индией, Турцией, ОАЭ, Вьетнамом, Индонезией и другими странами Глобального Юга.

5. Альтернативные инструменты управления морскими рисками требуют проработки и законодательной подготовки, что является основой перспективных исследований в этой сфере. Поэтому приоритетом на 2026 год должно стать внесение изменений в КТМ, Федеральный закон «О рынке ценных бумаг» и другие нормативные документы.

6. Наиболее вероятным является базовый сценарий консервации текущих тенденций, что требует разработки альтернативных инструментов управления морскими рисками.

Список литературы

1. Домнина, О. Л. Влияние санкций на перевозку грузов / О. Л. Домнина // Транспорт. Горизонты развития : Труды 2-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 07–09 июня 2022 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2022. – С. 9
2. Сайт Российской национальной перестраховочной компании. URL: <https://rnrc.ru/press-center/public/rnpk-sohranyet-zaschitu/> (дата обращения: 08.04.2026)
3. Цветкова, Д. Д. Оценка влияния антироссийских санкций на деятельность предприятий морского транспорта / Д. Д. Цветкова, О. М. Прошина, Э. А. Лешедько. - Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2024. — № 11 (510). — С. 300-303
4. Бойко Г. О санкционных рисках судовладельцев/ - URL: https://zakon.ru/blog/2025/05/13/o_sankcionnyh_riskah_sudovladelcev (дата обращения 11.04.2026)
5. Домнина, О. Л. Современные тенденции и актуальные проблемы морского страхования в условиях геополитической нестабильности / О. Л. Домнина // Стратегии развития страхования: конкуренция, технологии, клиентоцентричность : сборник трудов XXVI Международной научно-практической конференции: в 2-х томах , Нижний Новгород, 02–03 октября 2025 года. – Нижний Новгород: Печатная мастерская Радонеж, 2025. – С. 107-112.
6. Kpler. The turning tides Maritime risk and compliance insights 2025-2026/ https://translate.yandex.ru/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F&source_lang=en&target_lang=ru&text=The%20turning%20tides%20Maritime%20risk%20and%20compliance%20insights%202025-2026 (дата обращения 11.04.2026)
7. Противодействие внешнеэкономическому давлению: опыт иранских санкций. /Кожанов Н.А., СПб, 2015. URL: https://eusp.org/sites/default/files/archive/centres/ENERPO_RC/Reports/2015_Kozhanov.pdf?ysclid=mok0fuhqz1842423213 (дата обращения: 08.04.2026)
8. Светлана Бик. Финансы катастроф/ Коммерсантъ от 07.06.2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6745606?ysclid=mo8j5t934380226663> (дата обращения: 08.04.2026)
9. Карчевов А. Правовые последствия включения судна в санкционные списки США и ЕС // Морское право и страхование. - 2025. - № 3.- С. 45–52.

10. Алимпеев Д. Перспективы создания перестраховочного пула БРИКС // Финансы и кредит. — 2025. — № 18. — С. 34–41.
11. Renaissance_Insurance. URL: https://www.tbank.ru/invest/social/profile/Renaissance_Insurance/c9e8caf9-68c6-4993-a824-e8904993b10d/?ysclid=moh1gis7o7864299273&author=profile (дата обращения: 08.04.2026)
12. «Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации» от 30.04.1999 N 81-ФЗ (ред. от 31.07.2025)
13. Макаров Р. Морское страхование военных рисков на примере эскалации боевых действий в Персидском заливе/ URL: https://zakon.ru/blog/2026/03/03/morskoe_strahovanie_voennyh_riskov_na_primere_eskala_cii_boevyh_dejstvij_v_persidskom_zalive (дата обращения: 08.04.2026)
14. Солдатова А.О. Перестрахование страховых рисков через выпуск катастрофических облигаций (CatBonds) // Банковские услуги. 2023. № 10. С. 9–18. DOI: 10.36992/2075-19152023_10_9
15. Для создания российского P&I клуба нужен лидер, исполненный энтузиазма. URL: <https://zen.ru/a/ZenZyDT9wzKNSI-p?ysclid=moh4nljg6i9798943> (дата обращения: 08.04.2026)
16. Вихров П. С судами и следованием: власти готовят создание национальной страховой компании // Известия. — 22 октября 2025. — URL: <https://iz.ru/1976337> (дата обращения: 08.04.2026)

References

1. Domnina, O. L. The impact of sanctions on the transportation of goods / O. L. Domnina // Transport. Horizons of Development : Proceedings of the 2nd International Scientific and Industrial Forum, Nizhny Novgorod, June 07-09, 2022. Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2022. p. 9
2. Website of the Russian National Reinsurance Company. URL: <https://nrnc.ru/press-center/public/rnpk-sohranyet-zaschitu/> (date of request: 04/08/2026)
3. Tsvetkova, D. D. Assessment of the impact of anti-Russian sanctions on the activities of maritime transport enterprises / D. D. Tsvetkova, O. M. Proshina, E. A. Leshedko. - Text: direct // Young scientist. — 2024. — № 11 (510). — Pp. 300-303
4. Boyko G. About the sanctions risks of shipowners/ - URL: https://zakon.ru/blog/2025/05/13/o_sankcionnyh_riskah_sudovladelcev (accessed 04/11/2026)
5. Domnina, O. L. Modern trends and actual problems of marine insurance in conditions of geopolitical instability / O. L. Domnina // Insurance development strategies: competition, technology, client-centricity : Proceedings of the XXVI International Scientific and Practical Conference: in 2 volumes, Nizhny Novgorod, October 02-03, 2025. Nizhny Novgorod: Radonezh Printing Workshop, 2025, pp. 107-112.
6. Kpler. The turning tides Maritime risk and compliance insights 2025-2026/ https://translate.yandex.ru/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F&source_lang=en&target_lang=ru&text=The%20turning%20tides%20Maritime%20risk%20and%20compliance%20insights%202025-2026 (accessed 04/11/2026)
7. Countering foreign economic pressure: the experience of the Iranian sanctions. /Kozhanov N.A., St. Petersburg, 2015. URL: https://eusp.org/sites/default/files/archive/centres/ENERPO_RC/Reports/2015_Kozhanov.pdf?ysclid=mok0fuhqz1842423213 (date of request: 04/08/2026)
8. Svetlana Bik. Disaster Finance/ Kommersant dated 06/07/2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6745606?ysclid=mo8j5t934380226663> (date of access: 04/08/2026)
9. Karchemov A. Legal consequences of including a vessel in the US and EU sanctions lists // Maritime Law and Insurance. - 2025. - No. 3.- pp. 45-52.
10. Alimpeev D. Prospects of creating a BRICS reinsurance pool // Finance and Credit. — 2025. — No. 18. — pp. 34-41.
11. Renaissance_Insurance. URL: https://www.tbank.ru/invest/social/profile/Renaissance_Insurance/c9e8caf9-68c6-4993-a824-e8904993b10d/?ysclid=moh1gis7o7864299273&author=profile

- a824-e8904993b10d/?ysclid=moh1gis7o7864299273&author=profile (accessed: 04/08/2026)
12. «Code of Merchant Shipping of the Russian Federation» dated 04/30/1999 N 81-FZ (as amended on 07/31/2025)
 13. Makarov R. Marine insurance of military risks on the example of the escalation of hostilities in the Persian Gulf/ URL: https://zakon.ru/blog/2026/03/03/morskoe_strahovanie_voennyh_riskov_na_primere_escalacii_boevyh_dejstvij_v_persidskom_zalive (date of request: 04/08/2026)
 14. Soldatova A.O. Reinsurance of insurance risks through the issue of catastrophic bonds (CatBonds) // Banking services. 2023. No. 10. pp. 9-18. DOI: 10.36992/2075-19152023_10_9
 15. To create a Russian P&I club, you need an enthusiastic leader. URL: <https://dzen.ru/a/ZcnZyDT9wzKNSI-p?ysclid=moh4nljg6i9798943> (date of reference: 04/08/2026)
 16. Vikhrov P. With the courts and the investigation: the authorities are preparing the creation of a national insurance company // Izvestia. — October 22, 2025. — URL: <https://iz.ru/1976337> (date of notification: 04/08/2026)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Домнина Ольга Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: o-domnina@yandex.ru

Горохова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: paleya@mail.ru

Olga L. Domnina, Ph.D.(Eng), assistant professor, Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterovst., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: o-domnina@yandex.ru

Irina A. Gorokhova, Ph.D.(Eng), Associate Professor of the Department of Transport Management, Volga State University of Water Transport, Nesterovst., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: paleya@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22.04.2026; принята к публикации 25.05.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 22.02.2026; published online 20.06.2026.

УДК 656.62; 629.122

DOI: 10.37890/jwt.vi87.710

Обзор методов расчёта сопротивления воды движению судов на мелководье

А.Ю. Платов¹

ORCID: 0000-0002-4589-0348

А.С. Прокопенко²

ORCID: 0009-0004-1722-71374

¹*Нижегородский архитектурно-строительный университет, г. Н. Новгород, Россия*

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

Аннотация. Расчёт сопротивления судна при движении на мелководье требуется при решении самых разных прикладных задач. Побуждением для написания данного обзора является разработка имитационной модели работы речного флота, для которой существенное значение имеет задача определения ходового времени рейса судна-состава. С начала 20-го века был создан ряд методов для учёта влияния мелководья на сопротивление воды при движении водоизмещающих судов, использующих разные подходы. Методы, созданные зарубежными исследователями в последние двадцать лет, не получили освещения в отечественной литературе. При этом в зарубежной литературе почти неизвестны отечественные разработки. Поэтому представляет интерес сопоставление всех сколько-нибудь значимых для практики методов. В статье рассмотрено 16 основных методов, причём показано, что все эти методы можно привести к единой форме пересчёта. Описание методов сгруппировано по трём периодам: период до 60-х годов 20-го века, период второй половины 20-го века и период 21-го века. При этом для передовых методов каждого периода можно выделить ведущий методический принцип построения: на основе полуэмпирических идей, на основе численного и аналитического моделирования двумерного обтекания и на основе конечно-разностного моделирования трёхмерного обтекания.

Ключевые слова: сопротивление судна, сопротивление на мелкой воде, мелководье, метод Шлихтинга, метод Карпова, метод Рейвена, поток вытеснения, коэффициент сопротивления трения, коэффициент формы, коэффициент волнового сопротивления.

The overview of methods for ship's resistance in shallow water

Alexander J. Platov¹

ORCID: 0000-0002-4589-0348

Andrej S. Prokopenko²

ORCID: 0009-0004-1722-71374

¹*Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia*

²*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The calculation of ship's resistance in shallow water is required for solving a wide variety of applied problems. The motivation for this review is to develop a simulation model of the operation of the river fleet, for which the task of determining the moving time of a ship or convoy is essential. Since the beginning of the 20th century, a number of methods have been developed and different approaches have been used. The methods created by foreign researchers during the last twenty years have not received coverage in the domestic literature. At the same time, domestic development results are almost unknown in foreign literature. Therefore, it is of interest to compare all the methods that are of any significance for practice. The article discusses 16 main methods, and shows that all these methods can be reduced to a single form of calculation. The methods are grouped into three periods: the period up to the

60s of the 20th century, the period of the second half of the 20th century and the period of the 21st century. At the same time, for the advanced methods of each period, we can distinguish the leading methodological principle of construction: based on semi-empirical ideas, based on numerical and analytical modeling of two-dimensional flow, and based on finite-difference modeling of three-dimensional flow.

Keywords: ship resistance, shallow water resistance, shallow water, Schlichting method, Karpov method, Raven method, displacement flow, coefficient of friction resistance, coefficient of shape, coefficient of wave resistance.

Введение

Необходимость в вычислении сопротивления воды движению судна возникает при решении задач эксплуатационного обоснования судов, проектирования судов, а также при решении задач рейсового планирования работы речного флота. Другое, пока менее распространённая задача – построение имитационных моделей работы флота для текущего планирования работы флота, а также для моделирования в составе управленческих тренажёров. В подобных задачах востребованы упрощённые, инженерные методы расчёта сопротивления. Поэтому развитие таких методов является актуальной задачей.

Для вычисления сопротивления судов внутреннего плавания особую актуальность имеют методы расчёта сопротивления воды на мелководье. Ограниченность экспериментального материала, а также сложность гидродинамических явлений до сих пор не позволяет уверенно определить предпочтительный способ расчёта такого сопротивления.

Согласно рекомендациям конференции опытов бассейнов (ИТТС) влияние мелководья начинается при условиях $Fh = \sqrt{gh} > 0,5$ или при $h_T = h/T < 0,4$, где h – глубина водного пути, T – осадка судна, g – ускорение свободного падения [1]. Мелководье влияет не только на сопротивление судна, но и на работу движителей. Кроме того, для многих рек и даже водохранилищ с относительно большой шириной зеркала воды ширина фарватера небольшая и потому судно при движении испытывает также и влияние стеснённости водного пути. Совместное влияние всех этих факторов не позволяет разделить в натурных экспериментах поведение корпуса и движителей. Модельные же эксперименты при этом могут противоречить натурным. Состояние конечно-разностных методов так же пока не всегда позволяет получать удовлетворительную количественную картину явлений. Поэтому задача уточнения влияния мелководья остаётся до сих пор нерешённой.

В последнее время благодаря применению конечно-разностного моделирования были сформулированы новые идеи по построению расчёта влияния мелководья, а также появился ряд новых методов. Однако практические преимущества новых методов по сравнению со старыми не установлены.

Общий принцип вычисления сопротивления на мелководье

Как правило, существующие инженерные методы расчёта сопротивления на мелководье основаны на пересчёте величины сопротивления для глубокой воды, причём пересчёту подвергается либо общее сопротивление R_T , либо одна или несколько её компонент:

$$R_T = R_F + R_{VP} + R_W = R_V + R_W = R_F + R_R,$$

где под R_F , R_{VP} , R_W , R_V и R_R обозначены сопротивления трения, формы, а также волновое, вязкостное и остаточное соответственно.

Пересчёт может осуществляться тремя способами. Во-первых, может пересчитываться коэффициент сопротивления у некоторой компоненты сопротивления, что приводит к замене выражения R на выражение типа $R_h = kR$. Во-вторых, может пересчитываться скорость, то есть выражение $R(v)$ меняется на

выражение типа $R_h(v) = R(v_h)$, где v - заданная скорость судна на мелкой воде, v_h - пересчитанная скорость судна. Третий тип корректировки сочетает первые два.

Все существующие методы можно свести к указанным способам, поэтому общая формула пересчёта может быть записана в виде:

$$R_T(v) = k_1 R_F(v_1) + k_2 R_{VP}(v_2) + k_3 R_W(v_3),$$

где k_i – коэффициенты пересчёта соответствующих компонент сопротивления, а v_i – пересчитанные расчётные скорости.

Принципы, лежащие в основе получения коэффициентов и расчётных скоростей, различные. Кроме того, не все методы пересчёта непосредственно применимы для конкретных методов расчёта сопротивления. Например, для метода расчёта сопротивления, в котором рассчитывается только остаточное сопротивление, нельзя использовать пересчёт с отдельным коэффициентом k_2 .

Методы пересчёта первой половины 20-го века

Судя по [2], первым практически ориентированным методом расчёта сопротивления на мелкой воде был, разработанный, видимо, в 1926 г. метод Геберса (Fr. Gebers). Он основан на корректировке метода того же автора для глубокой воды и сводится к изменению коэффициента сопротивления трения:

$$R_h = (f S_b + f_d S_d + \varphi A_M) v^{2,25},$$

где f – коэффициент сопротивления трения корпуса на глубокой воде, f_d – коэффициент сопротивления трения корпуса на мелкой воде, φ – коэффициент остаточного сопротивления, S_b – площадь смоченной поверхности бортов, S_d – площадь смоченной поверхности днища, A_M – площадь сечения мидель-шпангоута. Коэффициент f_d при этом рассчитывается в зависимости от расстояния от днища судна до дна водоёма.

Как можно видеть, в методе Геберса используется идея увеличения коэффициента трения из-за изменения пограничного слоя между днищем судна и дном водоёма, однако такое изменение было дано не в критериальной форме и потому не может быть использовано вне тех условий, которые изучал Ф. Геберс.

Несмотря на свою архаичность, метод цитируется в зарубежной литературе, в частности, в современной [3]. В отечественной литературе метод Геберса без упоминания автора приведён также в [4].

Большую известность имеет метод О. Шлихтинга (O. Schlichting), разработанный в 1932 г. [5]. В методе Шлихтинга были предложены две идеи, которые до сих пор воспроизводятся в большом числе публикаций.

Первая идея состоит в том, что сопротивление трения увеличивается из-за уменьшения гидравлического сечения потока, что приводит к росту локальной скорости обтекания. Иначе говоря, сопротивление трения должно рассчитываться при скорости

$$v_1 = v + \Delta v,$$

где Δv – величина так называемого потока вытеснения. Для определения потока вытеснения на основе модельных испытаний О. Шлихтингом была построена эмпирическая кривая в зависимости от отношения $\sqrt{A_M}/h$, которая приведена в левой части рис. 1.

Вторая идея состоит в том, что волновое сопротивление на мелкой воде равно волновому сопротивлению на глубокой воде, если длины поперечных волн, порождаемых при движении судна, одинаковы. То есть сопротивление на мелкой воде при скорости v будет равно сопротивлению на глубокой воде, но при скорости v_h

$$v_2 = v + \Delta v + \Delta c,$$

где Δc – снижение скорости волн на мелкой воде.

Таким образом, метод Шлихтинга соответствует формуле:

$$R_h(v) = R_F(v_1) + R_R(v_2).$$

Снижение скорости волн вычисляется на основании известных соотношений из линейной теории поверхностных волн. С помощью специально написанной программы был получен график в том же виде, что и предложенный О. Шлихтингом, который приведён в правой части рис. 1.

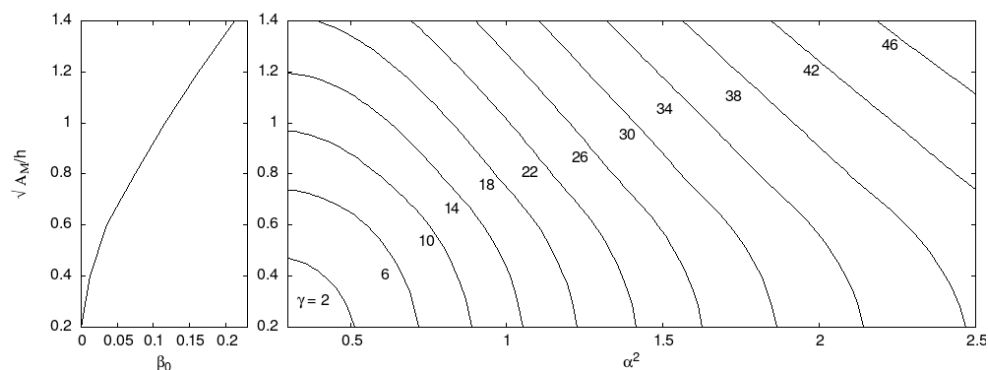


Рис. 1. Графики поправок в методе О. Шлихтинга.

Обозначено: $\alpha = v_h/\sqrt{gh}$, $\beta_0 = \Delta v/v$, $\gamma = (\Delta c + \Delta v)/v_h$

Метод основан на испытаниях всего трёх моделей судов специфических обводов (два лёгких и один тяжёлый крейсера), однако специфика судов должна проявляться только в вязкостной компоненте сопротивления. В [5] отмечается, что в методе Шлихтинга пренебрегается тем, что высота волны в трёхмерном случае ведёт себя независимо от длины волны, а потому второе допущение Шлихтинга является очень сильным упрощением.

Развитием идеи Шлихтинга был предложенный в 1938 г. на основе испытаний быстроходных судов метод И.В. Гирса [6]. Пересчёт скоростей в этом методе осуществляется аналогично методу Шлихтинга, но поправки вычисляются по другим эмпирическим графикам, которые приведены на рис. 2.

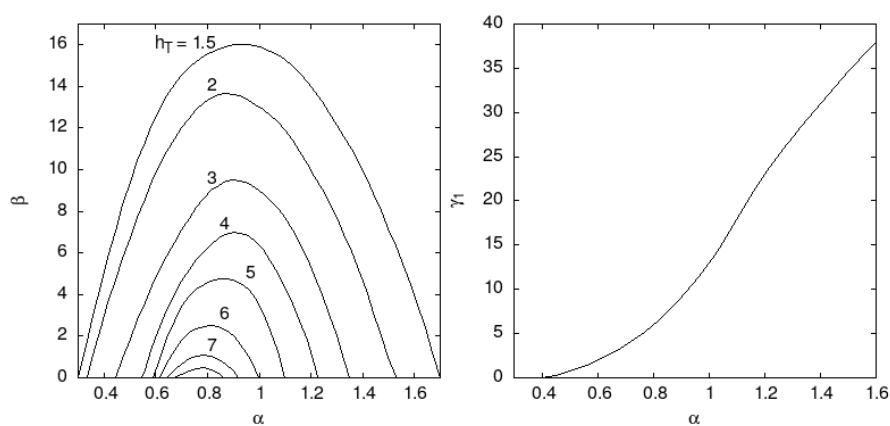


Рис. 2. Графики поправок в методе Гирса

Обозначено: $\alpha = v_h/\sqrt{gh}$, $\beta = \Delta v/v_h$ и $\gamma_1 = 1 - \sqrt{th 1/\alpha^2}$

Позднее графики рис. 2 были продолжены в область сверхкритических скоростей и Ю.В. Афанасьевым, поэтому чаще всего употребляется название метод Гирса-Афанасьева. Упомянутые графики можно найти в [4]. Можно заметить, что именно в области сверхкритических скоростей отмечалась низкая точность данного метода [7].

В 1945 г. был разработан известный метод А.Б. Карпова [8], также развивающий подход Шлихтинга. Метод излагается в литературе в двух вариантах. В первом варианте МК [8; 9; 10] представляет собой набор графиков функций α и β в виде изолиний в плоскости $Fh - h_T$. Как было установлено нами (это потребовало разработать нетривиальную программу), эти графики в области скоростей $Fh \leq 1,0$ представляют собой просто пересчёт функций метода Гирса в новых координатах. Рассчитанные с помощью метода Гирса графики приведены на рис. 3 и можно убедиться, что они совпадают с графиками метода Карпова, приведёнными в [8; 9; 10]. Заметим, что дополнительно к МГА А.Б. Карповым рассчитаны графики для сверхкритической области, построенные им по опытным данным, которые на рис. 3 не приводятся.

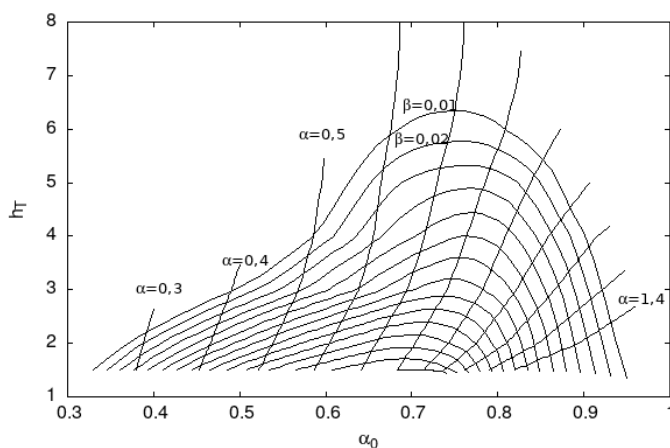


Рис. 3. Графики функций $\alpha_0 = v/\sqrt{gh}$, $\alpha = v_h/\sqrt{gh}$ и $\beta = \Delta v/v_h$ метода А.Б. Карпова, рассчитанные с помощью метода Гирса

Во втором варианте метода Карпова, приведённом впервые в [11] (соответствующий раздел в книге [11] написан А.В. Карповым) графики (см. рис 4) позволяют непосредственно корректировать скорости для сопротивления трения и остаточного сопротивления. Однако и для этого варианта также можно установить, что он в докритической области является во многом производным от метода Гирса.

Второй вариант метода Карпова, вероятно, имеет наибольшую известность в отечественной литературе и один из всего двух, судя по обзорам [12; 13; 14], отечественных методов, известных в литературе зарубежной (второй метод – это метод Апухтина, разработанный для скоростных судов и потому здесь не рассматриваемый).

Можно заметить, что в методах Карпова и Гирса сопротивление трения зависит от числа Фруда по глубине Fh , что не соответствует физике явлений.

Метод В.В. Звонкова (1956) [9] основан на вычислении роста местного потока скоростей. То есть принципиально метод основан на выражении.

$$R_h(v) = R_F(v_0) + R_R(v_0),$$

где $v_0 = v + \Delta v$ – скорость обтекания сжатым потоком непосредственно у его смоченной поверхности.

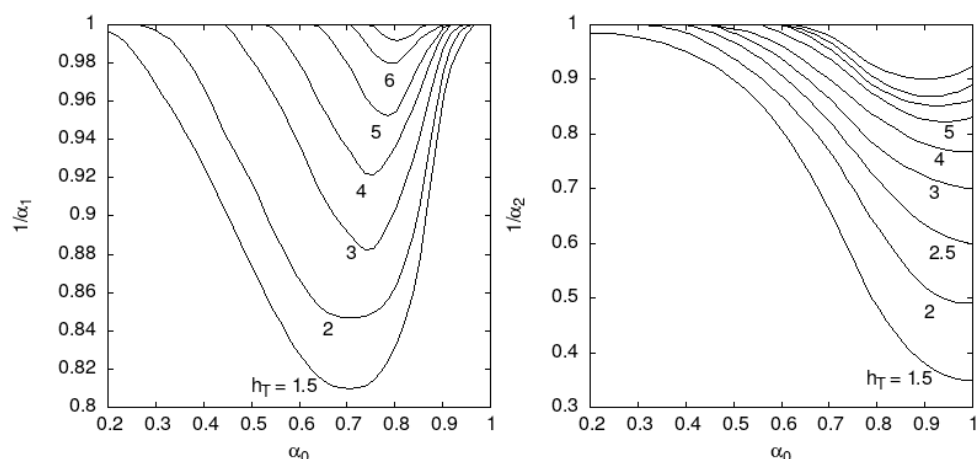


Рис. 4. Графики функций метода А.Б. Карпова,
 $\alpha_0 = v/\sqrt{gh}$, $\alpha_1 = v/(v + \Delta v)$, $\alpha_2 = v/(v + \Delta v + \Delta c)$

Относительное приращение потока, равное $v_0/v = (v + \Delta v)/v$ задано набором графиков, зависящих от h_T и F_h (рис. 5).

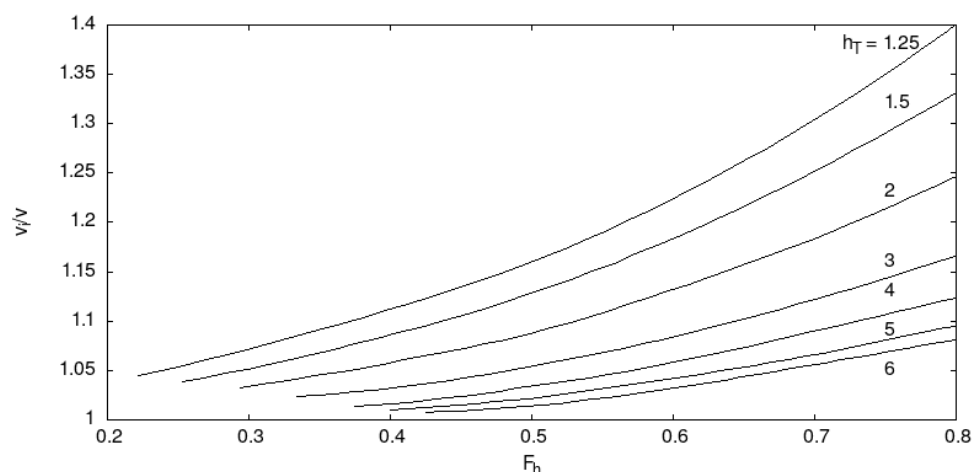


Рис. 5. Относительное увеличение скорости обтекания в методе В.В. Звонкова

В отличие от методов на базе идеи Шлихтинга, волновое сопротивление в методе Звонкова не корректируется. Это соответствует тому, что при умеренных значениях числа F_h волновое сопротивление изменяется мало. Как отмечает сам автор метода, графики построены на недостаточном числе опытных данных.

Методы пересчёта второй половины 20-го века

В этот период кроме чисто эмпирических и полуэмпирических подходов для создания методов пересчёта сопротивления на мелководе стали привлекаться результаты численного моделирования двумерных потоков, а также аналитические решения схематических моделей обтекания. Это позволило углубить понимание гидродинамики на мелкой воде, а также предложить принципиально новые методы пересчёта.

В 1963-1968 гг. на основе модельных испытаний в ГИИВТе, ЛИВТе и НИИВТе С.Н. Рудиным с участием Ю.Н. Кузьменко, А.М. Полунина и В.Г. Павленко был разработан новый метод, который основан на формуле [15]:

$$R_h(v) = k_F R_F(v) + k_V R_V(v) + k_W R_W(v),$$

где k_F – коэффициент пересчёта сопротивления трения (а также и формы), k_W – коэффициент увеличения волнового сопротивления, определяемые по выражениям

$$k_F = \left(1 - \frac{\sqrt{\delta}}{h_T}\right)^{0,58} \frac{1-0,5(\sqrt{\delta}+0,75)/h_T}{1-0,75/h_T}, \quad k_W = \left(1 - \frac{1}{h_T}\right)^{-(0,1+1,65/h_T)}.$$

где δ – коэффициент полноты водоизмещения.

Первый коэффициент определён на основе решения плоской задачи вязкого течения между двумя пластинами, в которой учёт трёхмерности осуществлялся за счёт коэффициента растекания, равного отношению расхода жидкости под днищем на мелкой воде к такому же расходу на глубокой воде. Коэффициент растекания выведен на основе расчётов потенциального обтекания трёхосных эллипсоидов в ограниченном потоке.

Коэффициент пересчёта волнового сопротивления был выведен на основании модельных испытаний, чем утверждалось, что волновое сопротивление на мелкой и глубокой воде пропорциональны.

Позже был опубликован другой вариант данного метода, в котором вместо корректировки коэффициента сопротивления трения использовался единый множитель для всего вязкостного сопротивления

$$k_V = \left(1 - \frac{1}{h_T}\right)^{-0,62(1-0,1/h_T)},$$

поэтому метод выражался формулой

$$R_h(v) = k_V R_V(v) + k_W R_W(v).$$

Другой метод, разработанный Е.М. Сироткиным в НИИВТ в конце 80-х, выражается формулой [16]:

$$R_h(v) = R_F(v)k_F + R_R(v)k_W,$$

где $k_F = \left(1 - \frac{1}{h_T}\right)^b$, $b = (6,63 + 0,884L_B) \frac{\lg \text{Re}}{\lg \text{Re} - 3,35} B_T 10^{-3}$, $v_W = k_W v$,

$$k_W = \left\{1 - \frac{0,618}{h_T^{1,644} [2,06 - 11,6(\delta - 0,4)^3]^{0,333}} \left\{1 + \left[0,314 + \frac{3,59}{h_T} - \frac{5,5}{h_T^2} \ln \frac{B_T}{6}\right]\right\}\right\}^{-1}.$$

В основе расчёта остаточного сопротивления используется гипотеза О.Шлихтинга, которая использовалась для обработки данных модельных испытаний, а для расчёта сопротивления трения применяется корректировка коэффициента трения, которая выведена С.Н. Коротковым с помощью двумерных разностных моделей течений жидкости в ограниченном потоке в ряде статей в трудах НИИВТ в 1979-1988 гг.

В 1982 г. на основе систематических испытаний моделей судов с разными обводами Е.Ф. Сахно были разработаны диаграммы, с помощью которых пересчитывается коэффициент остаточного сопротивления [17]. Коэффициент трения при этом остаётся неизменным.

Кроме описанных методов в отечественной литературе данного периода [18] приводились также сугубо эмпирические регрессии, с помощью одного коэффициента корректирующие коэффициент общего сопротивления, то есть выражаемые формулой:

$$R_h(v) = k_T R(v).$$

К этим методам относятся метод К.Н. Шимко, в котором $k_T = 1 + 5,5 F_h^2/h_T^2$, а также метод В.А. Лесюкова, для которого $k_T = 1 + 1,5 /h_T^2$.

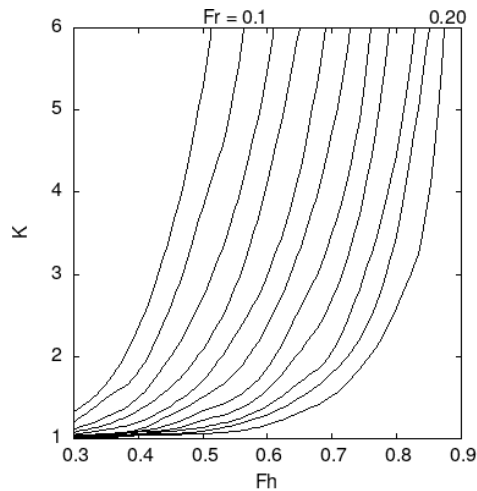


Рис. 6. Коэффициент пересчёта $K = R_{Rh}/R_R$ в методе Е.Ф. Сахно

Из зарубежной литературы можно узнать также о нескольких простых методах данного типа [19]. В частности, некоторую известность имеет формула Хоу (1976) для вычисления сопротивления барж на мелкой воде. Коэффициент влияния мелководья в этой формуле встроен в общую регрессионную формулу для сопротивления. То же можно сказать и о методе авторов работы [19].

Из [20] можно узнать об ещё одном упрощённом методе, разработанном в голландском институте MARIN. Согласно этому методу

$$k_T = R_h/R = 0,125 + 0,875 \left(k_1 + 0,4 \frac{B}{T} k_2 \right),$$

где B , T – ширина и осадка корпуса судна, $k_1 = 1 + 0,97 \exp(-2,74(h_T - 1))$, $k_2 = 0,75 \exp(-4,875(h_T - 1))$. Можно отметить некритериальную форму коэффициентов.

В [20] перечисляются ещё несколько простых методов пересчёта, в том числе модификация метода Геберса, однако эти формулы методов не приводятся, а литература, в которой они описаны, недоступна.

Для учёта влияния мелководья на скорость предлагались также простые формулы, в которых определялось снижение скорости на мелкой воде v_h :

$$v_h = k_h v, \quad (11)$$

где k_h – коэффициент снижения скорости.

В западной литературе упоминается практически одна формула Н. Lackenby [21]:

$$k_h = 1 - 0,1242 \left(\frac{A_M}{h^2} - 0,05 \right) - 1 + \left(\operatorname{th} \frac{1}{F_h^2} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Метод Х. Лакенби до сих пор рекомендуется к использованию в актуальных материалах ИТТС [22]. В [20] предполагается, что метод MARIN разработан на основе метода Лакенби, так как имеет очень близкие результаты, причём, видимо, оценки влияние мелкой воды по этим двум методам завышены.

В отечественной литературе можно найти несколько подобных методов, из которых самым известным будет метод Л.И. Фомкинского, данный в виде графиков [23]. Нами получена следующая аппроксимация этих графиков

$$k_h = \left(1 + 5,5 \frac{F_h^2}{h_T^{1,632}}\right)^{-0,322}.$$

Очень близкое выражение использовалось в [24]. Также Л.И. Фомкинским предлагалась формула на основе использования критериев подобия для решения задач обоснования судов [25]:

$$h_h = 1/\sqrt{1 - 2\Pi^2}, \quad \Pi = Fh \left(\frac{7B}{L}\right)^{0,25} / \sqrt{h_T}.$$

Другие формулы предлагались также К.Н. Шимко [26]

$$k_h = h^3(h^3 + 0,015v^2T^2)^{-1},$$

а также В.А. Пискуновым [27] на основе испытаний, проведённых в ГИИВТе в 1975-1981 гг.:

$$k_h = \frac{h_T^{0,308T+1,225}}{h_T^{0,308T+1,225} + 0,867 - 0,507T}.$$

Формулы типа (11) можно использовать для расчёта эквивалентной скорости на глубокой воде и тем самым рассчитывать сопротивление на мелководе. Разумеется, это заведомо нестрогий способ, так как снижение скорости может состояться при постоянной частоте вращения винтов, при постоянной цикловой подаче топлива, при постоянной мощности, причём для одного и того же судна по-разному в зависимости от числа Фруда по глубине.

Судя по обзорам из [11; 12; 13], после создания метода Лакенби вплоть до 2001 г. за рубежом не было построено ни одного метода расчёта сопротивления на мелководе. Однако существенным дополнением к существующим гипотезам о сопротивлении на мелководе стала работа А. Миллварда, предложившего в 1989 г. на основе модельных испытаний метод корректировки форм-фактора на мелкой воде [28]:

$$k_F = k_{F\infty} + 0,644h_T^{-1,72},$$

где $k_{F\infty}$ и k_F – форм-фактор на глубокой и мелкой воде соответственно.

Как утверждается в [29], формула Миллварда показала хорошее соответствие с результатами конечно-разностного моделирования.

В 2001 г. был предложен метод Т. Цзяна (Т. Jiang) [30]. В этом методе на основании испытаний двух моделей судов внутреннего плавания постулируется, что сопротивление на мелководе будет выражаться функцией на глубокой воде, если использовать вместо заданной скорости расчётную, зависящую от величины просадки судна. Иначе говоря, метод Цзяна работает по формуле, аналогичной методу Звонкова, но в которой скорость местного обтекания, называемая в данном методе эффективной скоростью, вычисляется по выражению

$$v_0 = \sqrt{v^2 + 2gz_M/(1 - z_M/h)},$$

z_M – величина просадки на миделе.

В [20] утверждается, что метод Цзяна в дальнейшем не развивался, а имеющиеся данные показывают, что метод занижает величину сопротивления.

Методы пересчёта начала 21-го века

К началу 21-го века возможности вычислительной техники достигли уровня, при котором стало возможным решать трёхмерные задачи обтекания, что привело к появлению новых идей по построению методов учёта стеснённого потока. Однако при этом можно заметить, что в [31] на основе сравнения конечно-разностных результатов с модельными испытаниями утверждается, что при хорошем совпадении расчётов и опыта на глубокой воде, на мелкой воде имеются значительные расхождения.

Поэтому непосредственное использование конечно-разностного моделирования пока не даёт возможности строить методы расчёта, но позволяет изучать картину обтекания на качественно ином уровне.

На основе конечно-разностных экспериментов в 2016 г. был предложен метод Рейвена (H. Raven). Последний его вариант описан в [32]. Метод рекомендуется к использованию в материалах ИТТС [22].

Согласно методу Рейвена общее сопротивление на мелкой воде R_T вычисляется по выражению

$$R_h(v) = R_F(v)k_s + R_V(v)k_Vk_s + R_W(v)k_s,$$

где $k_V = 1 + 0,57/h_T^{1,79}$ – корректирующий коэффициент сопротивления формы, а $k_s = (1 + \delta)^{\frac{2}{3}}$ – корректировка из-за увеличения водоизмещения в результате просадки судна, δ – относительное увеличение водоизмещения, определяемое по выражению

$$\delta = \min \left\{ \frac{A_W z_M}{\nabla}; 0,05 \right\},$$

где A_W – площадь ватерлинии, ∇ – объёмное водоизмещение судна.

Для вычисления величины просадки предлагается следующее выражение:

$$\frac{z_M}{L} = \max \left\{ 1,46 \frac{\nabla}{L^3} \left[\frac{F_h^2}{\sqrt{1 - F_h^2}} - \frac{F_{hD}^2}{\sqrt{1 - F_{hD}^2}} \right]; 0 \right\}$$

где $F_{hD}^2 = v/\sqrt{0,3gL}$.

Волновое сопротивление для чисел $Fh \leq 0,65$ считается неизменным. Это же неравенство ограничивает область применимости всего метода. Кроме этого, область применимости метода определяется ещё неравенством $h_T \geq 2$.

Хотя корректировка компонентов сопротивления предлагалась и ранее, но физическое обоснование было только в методе Сироткина и Рудина. В методе Рейвена корректировка k_V связывается с изменением форм-фактора на мелкой воде.

Следует при этом заметить, что непосредственное вычисление форм-фактора на мелкой воде с помощью конечно-разностных моделей невозможно, так как форм-фактор вычисляется из решения задачи обтекания дублированной модели, которую имеет смысл решать только в безграничном потоке. Для вычисления форм-фактора на мелкой воде при конечно-разностном моделировании из полного сопротивления вычитается сопротивление трения и предполагается, что волновое сопротивление при этом не изменилось существенно в отличие от случая глубокой воды, что может означать внесение неизвестной погрешности. Так проводились вычисления в [29]. Но обычно форм-фактор на мелкой воде вычислялся с помощью метода Прохаски [33]. Так было сделано в [14; 28; 32]. Легко, однако, показать, что для судов в большой полнотой ($\delta \geq 0,8$) метод Прохаски неоднозначен, поэтому результаты корректировки форм-фактора также не могут пока считаться универсальными.

В 2019 г. был предложен метод К. Цзена (Q. Zeng), также основанный на численных экспериментах [14]. В этом методе вводится новая идея о зависимости форм-фактора k от числа Рейнольдса, а также применяется идея о влиянии стеснённого потока на коэффициент сопротивления трения c_F , которые корректируются по выражениям:

$$\frac{1+k}{(1+k)_\infty} = \left(a_1 + a_2/(\lg Re + a_3)^{a_4} (1 + a_5 h_T^{a_6}) \right), \frac{c_F}{c_{F\infty}} = 1 + \frac{c_1}{\lg Re + c_2} h_T^{c_3},$$

где $c_1, c_2, c_3, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ – коэффициенты, зависящие от параметров корпуса судна.

В другом варианте метода Цзена корректировка коэффициента трения осуществляется только для обтекания днища, в то время как площадь бортов

увеличивается. Так вводится понятие эффективной осадки судна, при которой обтекание обычного потока равно обтеканию стеснённым потоком для исходного судна. Форм-фактор в этом варианте берётся по Миллварду.

Коэффициент волнового сопротивления корректируется по выражению:

$$k_W = \frac{c_W}{c_{W\infty}} = 1 + b_1 \lg Re - b_2 \exp(b_3 F_h^2),$$

где b_1, b_2, b_3 – коэффициенты, зависящие от корпуса судна.

То есть волновое сопротивление рассматривается в методе Цзена как зависящее не только от числа Фруда по глубине, но и от числа Рейнольдса, причем при $F_h < 0,54$ и $6 < \lg Re < 7,4$ принимается, что $k_W = 1$.

В работе [14] также показано, что пересчёт форм-фактора на условия мелкой воды по методам Миллварда и Рейвена даёт очень близкие результаты для испытанных в этой работе судов трёх типов. Тут можно заметить, что метод Цзена построен только для этих трёх типов судов и в части волнового сопротивления не обобщён на суда иных типов.

На базе методов Рейвена и Цзена также предложен гибридный метод [34], в котором от второго метода заимствуется влияние просадки. При этом волновое сопротивление не корректируется, так как метод предназначается для малых скоростей.

Выводы

В настоящее время в распространённых источниках описано коло 20 более или менее обоснованных методов пересчёта. Несмотря на появление новых методов, на старые продолжают ссылаться. Новые идеи, такие как коррекция коэффициента сопротивления формы или коэффициента сопротивления трения, не получили пока общепризнанного решения. При этом проверка этих идей прямыми модельными испытаниями невозможна. Новые методы разработаны на базе модельных испытаний или численных расчётов единичных судов и потому степень общности таких методов неясна.

Таким образом, простое описание существующих методов не позволяет предпочесть какой-то наилучший, пригодный для решения задач имитационного моделирования работы флота. Поэтому требуется анализ методов расчёта сопротивления на мелководье, что будет сделано в следующих статьях.

Список литературы

1. Recommended procedures and guidelines-captive model test // Proceedings of the 28th International Towing Tank Conference, pages 7.5–02–06–02, 2007. - URL: <https://www.itc.info/media/11866/75-02-06-02.pdf> (дата обращения 18.03.2026)
2. Звонков В.В. Судовые тяговые расчёты. М.: Гострансиздат, 1932 г. – 320 с.
3. Van Koningsveld M. Verheij H.J., Taneja P., De Vriend H.J. Ports and Waterways – Navigating the changing world. Delft, 2023. DOI: 10.5074/T.2021.004.
4. Павленко Г.Е. Сопротивление воды движению судов. М.: Морской транспорт, 1956. – 508 с.
5. Schlichting O. Schiffswiderstand auf beschränkter Wassertiefe; Widerstand von Seeschiffen auf flachem Wasser. Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft (STG), volume 35, pages 127-148. Springer Verlag, Berlin. 1934. (Английский перевод статьи в Schlichting O. Ship's Resistance in Water of Limited Depth. US Experimental Model Basin, Washington. Translation N. 56. Januar, 1940.). - URL: <https://dome.mit.edu/handle/1721.3/51252>. (дата обращения 18.03.2026)
6. Report of Resistance Comitee. Proceedings of 11th ITTC, 1966. <https://itc.info/media/2707/report-of-resistance-committee.pdf> (дата обращения 18.03.2026)
7. Гире И.В. Влияние мелководья на сопротивление судов Труды ВНИТОСС Т.3, вып. 1., 1938. – с. 62-63.

8. Басин А.М., Веледницкий И.О., Ляховицкий А.Г. Гидродинамика судов на мелководье / Л.: Судостроение, 1976 г. – 320 с.
9. Карпов А.В. Расчет сопротивления судов в стесненном водоёме Труды ГИИ. Т. 4 вып. 2. 1945.
10. Звонков, В.В. Судовые тяговые расчёты. – М.: Речной транспорт, 1956. - 324 с.
11. Апухтин П.А., Войткунский Я.И.. Сопротивление воды движению судов. Л.: МАШГИЗ, 1953. – 356 с.
12. Тихомиров Н.А. Ходкость судна / М.: Речной транспорт, 1959. – 200 с.
13. Harvald Sv. Aa. Resistance and Propulsion of Ships. John Wiley & Sons, 1983. P. 362.
14. Latorre R., Luthra G., Tang K. Improvement of Inland waterway Vessel and Barge Tow Performance 1982 Report No 249, September 2022. Report number: 249. Affiliation: University of Michigan.
https://www.researchgate.net/publication/363539478_Improvement_of_Inland_waterway_Vessel_and_Barge_Tow_Performance_1982_Report_No_249 (дата обращения 18.03.2026)
15. Zeng, Q. A method to improve the prediction of ship resistance in shallow water. Dissertation or the purpose of obtaining the degree of doctor at Delft University of Technology, 2019.
<https://doi.org/10.4233/uuid:d4d8524a-fedc-4949-a953-f5848a1634bb>.
16. Анфимов В.Н., Ваганов Г.И., Павленко В.Г. Судовые тяговые расчёты / М.: Транспорт, 1970. – 244 с.
17. Ходкость и управляемость судов: Учебник для вузов / Под ред. В.Г. Павленко. М.: Транспорт, 1991. 397 с.
18. Справочник по теории корабля. Т.1. Л.: Судостроение, 1985. – 768 с.
19. Басин, А.М. Гидродинамика судов / А.М. Басин, В.Н. Анфимов. - Ленинград: Речной транспорт, 1961. — 684 с.
20. Skupień E, Prokopowicz J. Methods of calculating ship resistance on limited waterways // Polish Maritime Research, 4(84), 2014 Vol. 21. pp. 12-17. DOI: 10.2478/pomr-2014-0036.
21. Rotteveel E. Investigation of inland ship resistance, propulsion and manoeuvring using literature study and potential flow calculations. Master Thesis. Delft University of Technology, 2013. DOI:10.1007/s00773-018-0578-7.
22. Lackenby H. The Effect of Shallow Water on Ship Speed. – The Shipbuilder and Marine Enginebuilder, September 1963, p. 13-19. DOI: 10.1111/j.1559-3584.1964.tb04413.x.
23. ITTC Recommended Procedure 7.5-04-01-01.1. Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials, 2017. URL: <https://www.ittc.info/media/8372/index.pdf> (дата обращения 18.03.2026)
24. Временная инструкция по планированию и нормированию расхода топлива для судов речного флота. – Москва: Речной транспорт, 1961. — 112 с.
25. Методическое руководство по разработке графика движения флота с применением электронных вычислительных машин. – М.: Транспорт. – 1970. – 176 с.
26. Фомкинский, Л.И. Методика тяговых расчётов при обосновании судов речного флота / Л.И. Фомкинский // Труды / ЦНИИЭВТ. — Москва, 1972. — Вып. 86. — 185 с.
27. Шимко, К.Н. определение скорости движения судов и составов при технико-экономических расчетах / К.Н. Шимко // Труды института комплексных транспортных проблем при Госплаве СССР, 1981. — №19. — С. 117 – 140.
28. Пискунов, В.А. Совершенствовать нормирование топлива / В.А. Пискунов, Г.А. Самыкин, Е.М. Тумаринсон // Речной транспорт. — 1983. — № 3. — С. 28.
29. Millward, A. The effects of water depth on hull form factor. International Ship-building Progress, Vol. 36, No. 407, October 1989. p. 283–302.
30. Toxopeus S. L. Viscous-flow calculations for kvlcc2 in deep and shallow water // IV International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, 2011. pp. 361-358. – URL: https://www.researchgate.net/publication/257817328_Viscous-flow_calculations_for_KVLCC2_in_deep_and_shallow_water (дата обращения 18.03.2026)
31. Jiang T. A New Method For Resistance and Propulsion Prediction of Ship Performance in Shallow Water Proceeding oh 8th PRADS Conference, December 2001. pp.509-515. DOI:10.1016/B978-008043950-1/50064-8.
32. Deng G.B., Guilmineau E., Leroyer A., Queutey P., Visonneau M., Wackers J. Simulation of Container Ship in Shallow Water at Model Scale and Full Scale // Third Chinese National CFD Symposium on Ship and Offshore Engineering, 2014, Dalian, China. – URL: https://www.researchgate.net/publication/282298211_Simulation_of_Container_Ship_in_Shallow_Water_at_Model_Scale_and_Full_Scale (дата обращения 18.03.2026)

33. Raven H.C. A method to correct shallow-water model tests for tank wall effects. *J. Mar. Sci. Technol.* 2018, 24, 437–453. DOI: 10.1007/s00773-018-0563-1.
34. Prohaska C. A simple method for the evaluation of the form factor and low speed wave resistance // *Proceedings 11th ITTC*, 1966.
35. Zhang, C., Ringsberg, J., Thies, F. Development of a ship performance model for power estimation of inland waterway vessels. *Ocean Engineering*, 287. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115731>.

References

1. Recommended procedures and guidelines captive model test // *Proceedings of the 28th International Towing Tank Conference*, pages 7.5–02–06–02, 2007. - URL: <https://www.ittc.info/media/11866/75-02-06-02.pdf> (data obrashcheniya 18.03.2026)
2. Zvonkov V.V. *Sudovye tyagovye raschety*. M.: Gostransizdat, 1932 g. – 320 s.
3. Van Koningsveld M. Verheij H.J., Taneja P., De Vriend H.J. *Ports and Waterways – Navigating the changing world*. Delft, 2023. DOI: 10.5074/T.2021.004.
4. Pavlenko G.E. *Soprotivlenie vody dvizheniyu sudov*. M.: Morskoi transport, 1956. -508 s.
5. Schlichting O. *Schiffswiderstand auf beschränkter Wassertiefe; Widerstand von Seeschiffen auf flachem Wasser*. Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft (STG), volume 35, pages 127-148. Springer Verlag, Berlin. 1934. (Angliiskii perevod stat'i v Schlichting O. Ship's Resistance in Water of Limited Depth. US Experimental Model Basin, Washington. Translation N. 56. Januar, 1940.). - URL: <https://dome.mit.edu/handle/1721.3/51252>. (data obrashcheniya 18.03.2026)
6. Report of Resistance Comitee. *Proceedings of 11th ITTC*, 1966. <https://itcc.info/media/2707/report-of-resistance-committee.pdf> (data obrashcheniya 18.03.2026)
7. Girs I.V. *Vliyanie melkovod'ya na soprotivlenie sudov* Trudy VNITOSS T.3, vyp. 1., 1938. – s. 62-63.
8. Basin A.M., Velednitskii I.O., Lyakhovitskii A.G. *Gidrodinamika sudov na melkovod'e / L.: Sudostroenie*, 1976 g. – 320 s.
9. Karpov A.V. *raschet soprotivleniya sudov v stesennom vodoeme* Trudy GII. T. 4 vyp. 2. 1945.
10. Zvonkov, V.V. *Sudovye tyagovye raschety*. – M.: Rechnoi transport, 1956. - 324 s.
11. Apukhtin P.A., Voitkunsii Ya.I.. *Soprotivlenie vody dvizheniyu sudov*. L.: MASHGIZ, 1953. – 356 s.
12. Tikhomirov N.A. *Khodkost' sudna / M.: Rechnoi transport*, 1959. – 200 s.
13. Harvald Sv. Aa. *Resistance and Propulsion of Ships*. John Willey & Sons, 1983. P. 362.
14. Latorre R., Luthra G., Tang K. *Improvement of Inland waterway Vessel and Barge Tow Performance 1982 Report No 249, September 2022*. Report number: 249. Affiliation: University of Michigan. https://www.researchgate.net/publication/363539478_Improvement_of_Inland_waterway_Vessel_and_Barge_Tow_Performance_1982_Report_No_249 (data obrashcheniya 18.03.2026)
15. Zeng, Q. *A method to improve the prediction of ship resistance in shallow water*. Dissertation or the purpose of obtaining the degree of doctor at Delft University of Technology, 2019. <https://doi.org/10.4233/uuid:d4d8524a-fedc-4949-a953-f5848a1634bb>.
16. Anfimov V.N., Vaganov G.I., Pavlenko V.G. *Sudovye tyagovye raschety / M.: Transport*, 1970. – 244 s.
17. *Khodkost' i upravlyaemost' sudov: Uchebnik dlya vuzov / Pod red. V.G. Pavlenko*. M.: Transport, 1991. 397 s.
18. *Spravochnik po teorii korablya*. T.1. L.: Sudostroenie, 1985. – 768 s.
19. Basin, A.M. *Gidrodinamika sudov / A.M. Basin, V.N. Anfimov*. - Leningrad: Rechnoi transport, 1961. — 684 s.
20. Skupień E, Prokopowicz J. *Methods of calculating ship resistance on limited waterways // Polish Maritime Research*, 4(84), 2014 Vol. 21. pp. 12-17. DOI: 10.2478/pomr-2014-0036.
21. Rotteveel E. *Investigation of inland ship resistance, propulsion and manoeuvring using literature study and potential flow calculations*. Master Thesis. Delft University of Technology, 2013. DOI:10.1007/s00773-018-0578-7.
22. Lackenby H. *The Effect of Shallow Water on Ship Speed*. – *The Shipbuilder and Marine Enginebuilder*, September 1963, p. 13-19. DOI: 10.1111/j.1559-3584.1964.tb04413.x.

23. ITTC Recommended Procedure 7.5-04-01-01.1. Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials, 2017. URL: <https://www.ittc.info/media/8372/index.pdf> (data obrashcheniya 18.03.2026)
24. Vremennaya instruktsiya po planirovaniyu i normirovaniyu raskhoda topliva dlya sudov rechnogo flota. – Moskva: Rechnoi transport, 1961. — 112 s.
25. Metodicheskoe rukovodstvo po razrabotke grafika dvizheniya flota s primeneniem ehlektronnykh vychislitel'nykh mashin. – M.: Transport. – 1970. – 176 s.
26. Fomkinskii, L.I. Metodika tyagovykh raschetov pri obosnovanii sudov rechnogo flota / L.I. Fomkinskii // Trudy / TSNIEHVT. — Moskva, 1972. — Vyp. 86. — 185 s.
27. Shimko, K.N. opredelenie skorosti dvizheniya sudov i sostavov pri tekhniko-ehkonomicheskikh raschetakh / K.N. Shimko // Trudy instituta kompleksnykh transportnykh problem pri Gosplane SSSR, 1981. — №19. — S. 117 – 140.
28. Piskunov, V.A. Sovershenstvovat' normirovanie topliva / V.A. Piskunov, G.A. Samykin, E.M. Tumarinson // Rechnoi transport. — 1983. — № 3. — S. 28.
29. Millward, A. The effects of water depth on hull form factor. International Ship-building Progress, Vol. 36, No. 407, October 1989. p. 283–302.
30. Toxopeus S. L. Viscousflow calculations for kvlcc2 in deep and shallow water // IV International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, 2011. pp. 361-358. – URL:https://www.researchgate.net/publication/257817328_Viscous-flow_calculations_for_KVLCC2_in_deep_and_shallow_water (data obrashcheniya 18.03.2026)
31. Jiang T. A New Method For Resistance and Propulsion Prediction of Ship Performance in Shallow Water Proceeding oh 8th PRADS Conference, December 2001. pp.509-515. DOI:10.1016/B978-008043950-1/50064-8.
32. Deng G.B., Guilmineau E., Leroyer A., Queutey P., Visonneau M., Wackers J. Simulation of Container Ship in Shallow Water at Model Scale and Full Scale // Third Chinese National CFD Symposium on Ship and Offshore Engineering, 2014, Dalian, China. – URL: https://www.researchgate.net/publication/282298211_Simulation_of_Container_Ship_in_Shallow_Water_at_Model_Scale_and_Full_Scale (data obrashcheniya 18.03.2026)
33. Raven H.C. A method to correct shallow-water model tests for tank wall effects. J. Mar. Sci. Technol. 2018, 24, 437–453. DOI: 10.1007/s00773-018-0563-1.
34. Prohaska C. A simple method for the evaluation of the form factor and low speed wave resistance // Proceedings 11th ITTC, 1966.
35. Zhang, C., Ringsberg, J., Thies, F. Development of a ship performance model for power estimation of inland waterway vessels. Ocean Engineering, 287. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115731>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Платов Александр Юрьевич, д.т.н., доцент, зав. кафедрой прикладной информатики и статистики, Нижегородский архитектурно-строительный университет (ФГОУ ВО «ННГАСУ»), 603950, Н. Новгород, ул. Ильинская, 65, e-mail: platoff@mail.ru

Alexander J. Platov, Dr. Sci. Tech, head of Applied Informatics and Statistic Chair, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 603950, Nizhny Novgorod, Ilyinskaya st., 65

Прокопенко Андрей Сергеевич, аспирант кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: a.prokopenko@internet.ru

Andrej S. Prokopenko, D Andrej S. Prokopenko, graduate student of Water Transport, Volga State University of Water Transport, 603951, Nizhny Novgorod, Nesterova st., 5

Статья поступила в редакцию 20.04.2026; принята к публикации 18.05.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 20.04.2026; published online 20.06.2026.

УДК 629.12.002.2

DOI: 10.37890/jwt.vi87.706

Аппроксимация спектров волнения различных судов при разных курсах по записям качки судна

В.П. Умрихин

ORCID: 0000-0003-1164-7857

В.И. Сичкарёв

ORCID: 0000-0002-6618-2404

М.Д. Тарасенко

ORCID: 0009-0009-5052-7170

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

Аннотация. В статье приводятся данные по аппроксимации итоговых спектров волнения в зависимости от равномерного интервала частот для различных судов, находящихся в разных гидрометеорологических условиях в различных частях мирового океана. Сами спектры волнения получены по записям качки судов, находящихся в эксплуатационном рейсе. То есть фактически суда использовались как волновой буй, по результатам качки которых определялась волновая картина в месте расположения судна. Временные интервалы выбирались таким образом, чтобы курсы судов были постоянными и волновая картина в месте расположения судна существенным образом не изменялась.

Решение указанной задачи необходимо для того, чтобы определить амплитудно-частотную характеристику судна при данной загрузке в условиях эксплуатационного рейса и оптимизировать курс и скорость судна исходя из условий безопасности плавания, сохранности судна и груза.

К сожалению, суда в эксплуатационном рейсе всегда находятся в ситуации, когда постоянно изменяется осадка за счёт расхода топлива, смазочных материалов, провизии, а иногда и количества груза (особенно для контейнеровозов). Кроме этого, постоянно изменяется и гидрометеорологическая обстановка в месте расположения судна. В связи с этим данные по остойчивости судна, которые даются на отход судна, изменяются и иногда существенно в процессе рейса, особенно, если этот рейс длительный.

Ключевые слова: аппроксимация спектров волнения судов при различных курсах и разных гидрометеорологических условиях; амплитудно-частотная характеристика качки судна.

Approximation of the wave spectra of various vessels at different courses based on the vessel's rocking records

Viktor P. Umrikhin

ORCID: 0000-0003-1164-7857

Viktor V.I. Sichkarev

ORCID: 0000-0002-6618-2404

Maxim D. Tarasenko

ORCID: 0009-0009-5052-7170

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. The article provides data on the approximation of the final wave spectra, depending on the uniform frequency interval, for various vessels in different hydrometeorological conditions in different parts of the world's oceans. The wave spectra themselves were obtained from the records of the ships' rolling during their operational

voyages. In other words, the ships were used as wave buoys, and the wave patterns at the ship's location were determined based on the rolling data. The time intervals were chosen to ensure that the ships' courses remained consistent and the wave patterns at the ship's location did not significantly change.

The solution of this problem is necessary in order to determine the amplitude-frequency characteristic of the vessel under the given load in the conditions of an operational voyage, and to optimize the course and speed of the vessel based on the conditions of safe navigation, preservation of the vessel and cargo.

Unfortunately, ships on a voyage are always in a situation where the draft changes constantly due to the consumption of fuel, lubricants, provisions, and sometimes the amount of cargo (especially for container ships). In addition, the hydrometeorological conditions at the ship's location also change constantly. As a result, the stability data provided for the departure of the ship may change significantly during the voyage, especially if it is a long one.

Keywords: approximation of ship wave spectra at different courses and different hydrometeorological conditions; amplitude-frequency characteristic of ship rolling.

Введение

Для получения амплитудно-частотной характеристики судна в эксплуатационном рейсе в данных гидрометеорологических условиях и при данной загрузке можно использовать спектральные методы оценки качки. Запись и обработка самих параметров качки на судне уже не вызывает особых затруднений [1], [2], [3], [4]. По этим записям можно определить волновую картину в месте расположения судна и определить амплитудно-частотную характеристику по методу Хинчина-Винера [5]:

$$\Phi(\Omega) = \frac{\theta(\Omega)}{\sqrt{2 * S_{\zeta}(\Omega)}} \quad (1)$$

где $\Phi(\Omega)$ – АЧХ бортовой качки;

$\theta(\Omega)$ – амплитуда качки на частоте Ω ;

$S_{\zeta}(\Omega)$ – итоговый спектр волнения;

Ω – кажущиеся частоты волнения.

Методы

Исходя из приведенной выше формулы (1), задача по определению АЧХ сводится к определению итогового спектра волнения. Спектры волнения для решения ряда задач использовались не только отечественными, но и зарубежными исследователями [5], [6], [7]. Особенностью данной работы является то, что амплитуда качки $\theta(\Omega)$ определяется прямыми измерениями во время эксплуатационного рейса судна. Под итоговым спектром волнения понимается спектр волнения, действующий на судно и состоящий из ветрового волнения и волн зыби, пришедших от удалённых источников генерации. Были проанализированы записи качки трёх различных судов в различных частях мирового океана в различных гидрометеорологических условиях:

1. Балкер «Грумант» (IMO: 9385879) с размерениями корпуса:
 - длина наибольшая 180,5 м.;
 - ширина 13,5 м.;
 - осадка 9,71 м.
2. Контейнеровоз «ZIM LUANDA» (IMO:9403229) с размерениями корпуса:
 - длина наибольшая 260 м.;
 - ширина 32 м.;
 - осадка 12 м.
3. Сухогруз проекта SELENGA (IMO: 8714657) с размерениями корпуса:
 - длина наибольшая 113 м.;
 - ширина 19 м.;

– осадка 5.9 м.

Итогом программной обработки параметров качки для всех судов, кроме определения собственного периода качки и ряда других параметров, являлось получение средних значений угла крена в равномерных интервалах кажущихся частот Ω при различных углах курса судна. Фрагмент такой таблицы приведён ниже для балкера «Грумант» при движении его курсом 22°. Аналогичные таблицы были получены и для других судов при движении их различными курсами.

Таблица

Фрагмент таблицы по равномерным интервалам кажущихся частот для балкера «Грумант» при движении его курсом 22°

Интервалы кажущихся частот Ω	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,25	0,25-0,30	0,30-0,35	0,35-0,40
Средние значения угла крена по частотам, град.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.728
Интервалы кажущихся частот Ω	0,40-0,45	0,45-0,50	0,50-0,55	0,55-0,60	0,60-0,65	0,65-0,70	0,70-0,75	0,75-0,80
Средние значения угла крена по частотам, град.	1.082	1.608	1.485	1.670	1.681	1.818	1.785	1.754
Интервалы кажущихся частот Ω	0,80-0,85	0,85-0,90	0,90-0,95	0,95-1,00	1,00-1,05	1,05-1,10	1,10-1,15	1,15-1,20
Средние значения угла крена по частотам, град.	1.984	1.975	1.907	1.810	1.808	1.738	1.498	1.579

Итогом обработки этих таблиц являлось получение двухпараметрического спектра волнения по данным [8], [9] в виде зависимости:

$$S_{\zeta}(\Omega) = \frac{D}{(\Omega - a\Omega^2)^k \exp \left[\frac{E}{(\Omega - a\Omega^2)^n} \right]}, \quad (2)$$

где a , D , E , k , n – коэффициенты, определяемые из имеющейся волновой картины в месте нахождения судна.

Ниже на рис.1 – рис. 3 приводятся графики зависимости (2) для различных судов и различных курсов с аппроксимационной зависимостью для каждого судна в эксплуатационных рейсах в различных частях мирового океана.

Аппроксимационные зависимости были получены из условия минимизации среднеквадратичного отклонения всех экспериментальных точек от аппроксимационной кривой.

Различные коэффициенты свидетельствуют о том, что суда находились под воздействием различных волновых систем. Кроме этого, геометрические характеристики судов имеют существенные различия.

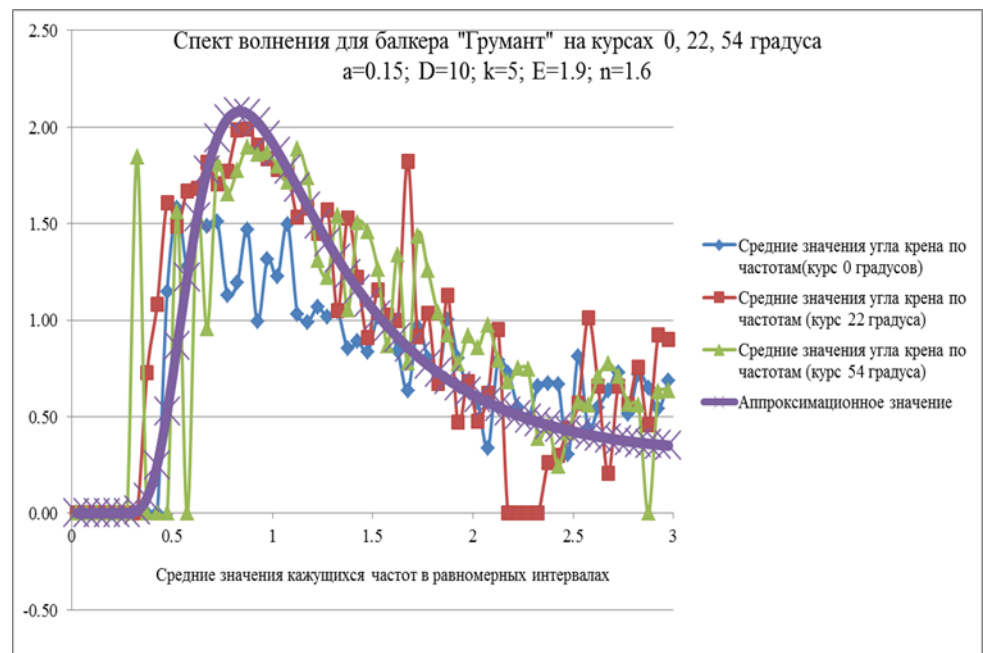


Рис. 1. Спектр волнения для балкера «Грумант» на курсах 0, 22, 54 градуса

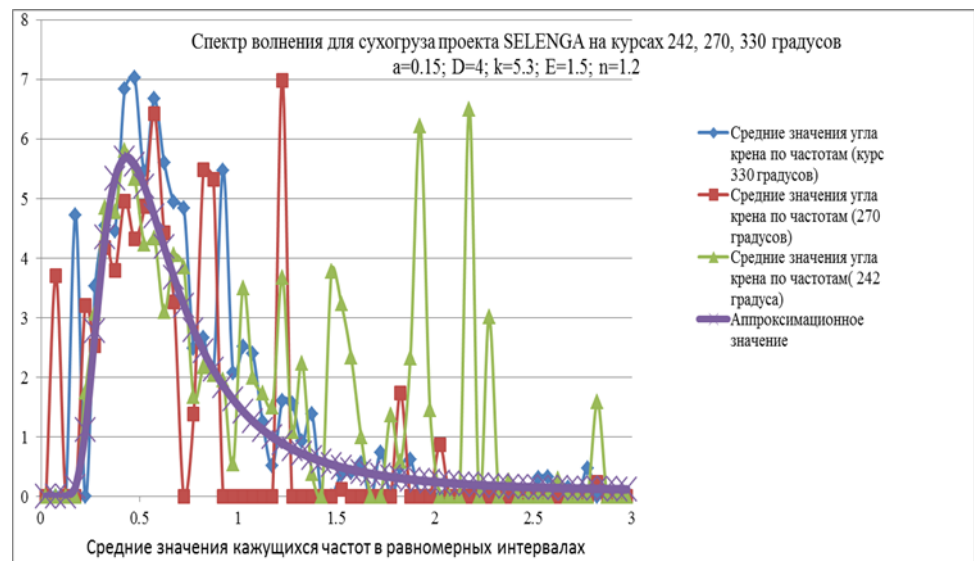


Рис. 2. Спектр волнения для сухогруза проекта SELENGA на курсах 330, 270, 242 градуса

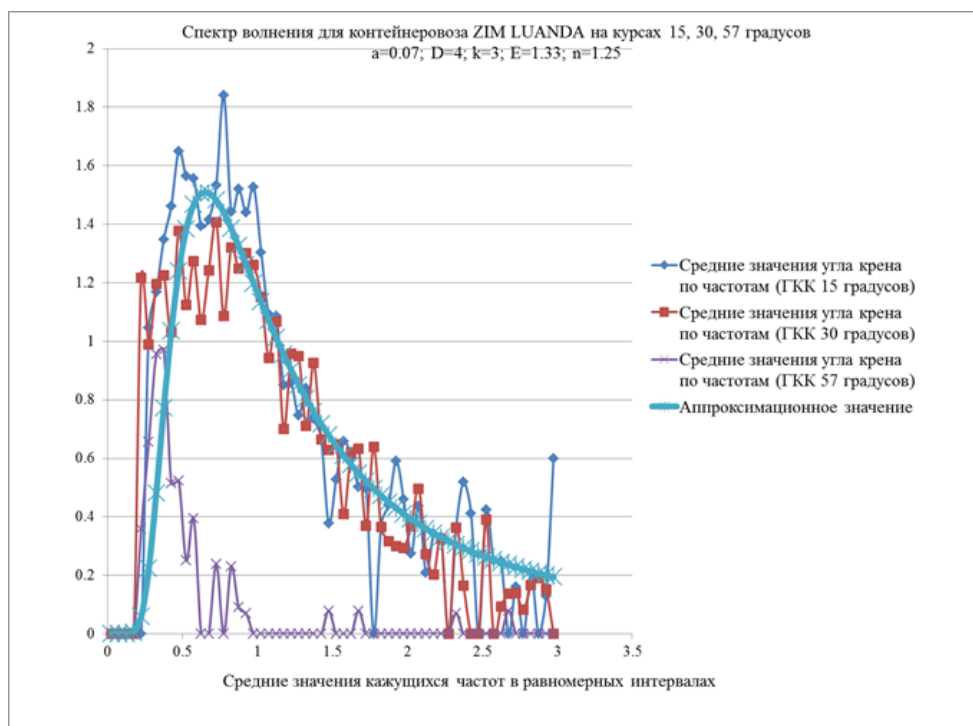


Рис. 3. Спектр волнения для контейнеровоза ZIM LUANDA на курсах 15, 30, 57 градусов

Результаты

Анализ данных по записям параметров качки для различных судов в различных гидрометеорологических условиях позволяет сделать следующие выводы:

1. При записи параметров качки в эксплуатационном рейсе судно может быть использовано в качестве волнового буя.
2. Обработка параметров качки позволяет получить спектр параметров волнения в точке нахождения судна при данной загрузке судна и имеющихся гидрометеорологических условиях.
3. По полученным выше данным можно определить амплитудно-частотную характеристику судна в данный момент и в данном месте, что позволит принять решение об оптимизации движения судна в данной гидрометеорологической обстановке.

Обсуждение

Получение достоверной амплитудно-частотной характеристики судна в эксплуатационном рейсе позволит не только более точно оценить его остойчивость в данных гидрометеорологических условиях, но и оптимизировать курс судна и скорость для расхождения с зоной опасного волнения. Проблемной остаётся вопрос о получении данных по волнению от всех источников генерации в точке прогноза для выбора оптимального маршрута.

Список литературы

1. Луговский В. В. Динамика моря. – Л.: судостроение, 1978. – 200 с.
2. Сичкарёв В. И., Умрихин В. П., Поминов А. Г., Приваленко А. А. Теоретические основы штормового плавания. – Новосибирск: СГУВТ, 2021. – 210 с. ISBN 978-5-8119-0894-3.
3. Sichkarev V. I., Umrikhin V. P., Pominov A. G. Recording of the ship's motion in operation on irregular waves and its processing. Intelligent Information Technology and Mathematical Modelling. IOP Publishing Journal of Physics: Conferebce Series, 2021, Vol. 2131, 052045. DOI:10.1088/1742-6596/2131/5/052045.
4. Умрихин В.П. Определение параметров качки судна в эксплуатационном рейсе. Научные проблемы водного транспорта / Научные проблемы водного транспорта. №71(2). – Нижний Новгород: ВГУВТ, 2022. – с. 188-198.
5. Weinan Huang, Sheng Dong, Statistical description of wave groups in three types of sea states, Ocean Engineering, Volume 225, 2021, 108745, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108745>.
6. Weinan Huang, Sheng Dong, Statistical description of wave groups in three types of sea states, Ocean Engineering, Volume 225, 2021, 108745, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108745>.
7. Wilson Guachamin-Acero, Jesús Portilla-Yandún, A study on vessel fatigue damage as a criterion for heading selection by application of 2D actual bimodal and JONSWAP wave spectra, Ocean Engineering, Volume 226, 2021, 108822, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108822>.
8. Бородай И.К. Мореходность судов / И.К. Бородай, Ю.А. Нецветаев.- Л.: Судостроение, 1982. - 288 с.
9. Бородай И.К. Качка судов на морском волнении / И.К. Бородай, Ю.А. Нецветаев.- Л.: Судостроение, 1969. - 432 с.

References

1. Lugovsky, V. V. Dynamics of the Sea. Leningrad: Sudostroenie, 1978. 200 p.
2. Sichkaryov V. I., Umrikhin V. P., Pominov A. G., Privalenko A. A. Theoretical Foundations of Stormy Navigation. – Novosibirsk: SSUVT, 2021. – 210 p. ISBN 978-5-8119-0894-3.
3. Sichkarev V. I., Umrikhin V. P., Pominov A. G. Recording of the ship's motion in operation on irregular waves and its processing. Intelligent Information Technology and Mathematical Modelling. IOP Publishing Journal of Physics: Conferebce Series, 2021, Vol. 2131, 052045. DOI:10.1088/1742-6596/2131/5/052045.
4. Umrikhin V.P. Determination of the Ship's Rolling Parameters in an Operational Voyage. Scientific Problems of Water Transport / Scientific Problems of Water Transport. No. 71(2). – Nizhny Novgorod: VSUVT, 2022. – pp. 188-198.
5. Weinan Huang, Sheng Dong, Statistical description of wave groups in three types of sea states, Ocean Engineering, Volume 225, 2021, 108745, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108745>.
6. Weinan Huang, Sheng Dong, Statistical description of wave groups in three types of sea states, Ocean Engineering, Volume 225, 2021, 108745, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108745>.
7. Wilson Guachamin-Acero, Jesús Portilla-Yandún, A study on vessel fatigue damage as a criterion for heading selection by application of 2D actual bimodal and JONSWAP wave spectra, Ocean Engineering, Volume 226, 2021, 108822, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108822>.
8. Borodai, I.K. Seaworthiness of Vessels / I.K. Borodai, Yu.A. Netsvetayev. - Leningrad: Sudostroenie, 1982. - 288 p.
9. Borodai, I.K. Ship Motion in Sea Waves / I.K. Borodai, Yu.A. Netsvetaev. - Leningrad: Sudostroenie, 1969. - 432 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Умрихин Виктор Павлович, д.т.н., доцент, профессор кафедры судовождения, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: umrvic@mail.ru

Viktor P. Umrikhin, doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Navigation, Siberian State University of Water Transport, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: umrvic@mail.ru

Сичкарев Виктор Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры судовождения, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: svny89@mail.ru

Viktor I. Sichkarev, doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Navigation, Siberian State University of Water Transport Science, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: svny89@mail.ru

Тарасенко Максим Дмитриевич, аспирант кафедры судовождения, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: pilot578@yandex.ru

Maxim D. Tarasenko, postgraduate Student of the Department of Navigation, Siberian State University of Water Transport (FSBEI HE SSUWT), 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: pilot578@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 07.02.2026; принята к публикации 20.04.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 07.02.2026; published online 20.06.2026.

РАБОТЫ ВОЛЖСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДЛЯ СКОРОСТНОГО СУДОХОДСТВА



VSUWT.RU



Инженерные изыскания на водных объектах



“Качественные инженерные изыскания – это крепкий фундамент любого проекта

Специалисты университета проводят изыскания для: осуществления проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений и транспортной инфраструктуры, добычи нерудных строительных материалов в руслах рек, проектирования новых судовых ходов, улучшения судоходных условий на внутренних и морских водных путях

Инженерно-геодезические и гидрографические изыскания



Основные виды работ:

- Топографическая съемка;
- Съемка рельефа дна;
- Промеры глубин;
- Гидрографическое траление;
- Создание планов и карт водных объектов.

Основное оборудование:

- Спутниковые ГНСС-приемники (EFT);
- Одночастотный эхолот (EFT);
- Электронный тахеометр (Nikon, South);
- Оптические нивелиры (South).

Инженерно-гидрометеорологические изыскания



Основные виды работ:

- Измерение уровней воды;
- Измерение скоростей течения воды;
- Расчеты расходов и стоков рек;
- Исследования русловых процессов;
- Статистическая обработка гидрологических и метеорологических данных.

Основное оборудование:

- Спутниковые ГНСС-приемники (EFT);
- Гидрометрические вертушки (Поток);
- Электронный тахеометр (Nikon, South);
- Батометры;
- Программный комплекс «Гидрорасчеты»

Инженерно-экологические изыскания



Основные виды работ:

- Исследование качества воды по всем основным химическим показателям;
- Расчет прогнозов разливов нефти и загрязняющих веществ в водоемах;
- Исследование биоценоза водоема.

Основное оборудование:

- Спутниковые ГНСС-приемники (EFT);
- Одночастотный эхолот;
- Лаборатория химии и экологии;
- Пробоотборники.



- Членство в саморегулируемой организации Ассоциация «Национальное объединение изыскателей «Альянс развития» (СРО-И-046-23072019).
- Имеет Разрешение на инженерные изыскания в отношении особо опасных, технически сложных и уникальных объектов капитального строительства.
- Партнерство с EFT GROUP, одним из лидеров по производству и продвижению современного отечественного геодезического и гидрографического оборудования и программного обеспечения.
- Все инженерное оборудование сертифицировано и проходит регулярное метрологическое обеспечение.

Недавно выполнены изыскания на следующих инженерных и научных проектах:

- Расчистка русла реки Теша в Арзамасском районе Нижегородской области;
- Оценка возможности разработки действующих карьеров и выделения участков для разведки и последующей разработки карьеров по добыче нерудных строительных материалов с учетом обеспечения устойчивости судового хода и недопустимости посадки уровня воды в существующих условиях на реке Верхняя Белая;
- Установка плавучей заправочной станции в пос. Займище г. Казань Республика Татарстан;
- и ряде других.

В рамках проекта Русского географического общества «Плавучий университет Волжского бассейна»

Экологический мониторинг Волжско-Камского бассейна:
Более 10 лет непрерывных исследований.

www.vsuwt.ru



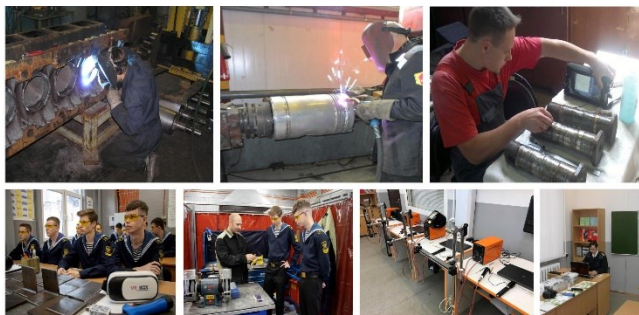
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ТРЕНАЖЕРНЫЙ ЦЕНТР «МЕХАНИК»



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ



УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНАЯ БАЗА / участок на
АО «БОРРЕМФЛОТ» / СВАРОЧНЫЙ ПОЛИГОН



“ На производстве, особенно сейчас, важную роль играют люди рабочих специальностей высокой квалификации. Работа центра «Механик» всецело отвечает задачам подготовки кадров. Отраслевая направленность и наличие реальных заказов, научный подход, позволяют лучше раскрывать профессию.

- ❑ - 25 лет в составе научного департамента ВГУВТ
- ❑ - Лидер по объему полученных средств за выполненные работы среди научных подразделений университета за время существования центра.
- ❑ Компетенции в области технологий ремонтной сварки, наплавки, напыления и дефектоскопии.
- ❑ Научно-технический отдел, учебно-тренажерная база, сварочный полигон.
- ❑ Обучение сварке, разработка технологических процессов ремонта поверхностей деталей, собственное ремонтное производство.



www.vsuwt.ru

Россия, И.Новгород, ул. Б. Печерская 93



Инженерно-конструкторское бюро
инженера-конструктора Е.В. Фальмонова

Работы КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО

В рамках Направлений:
ИНФРАСТРУКТУРА ВОДНОГО ТРАНСПОРТА и
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛОМЕРНОГО ФЛОТА



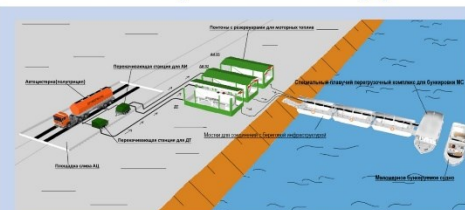
ПРЕДЛАГАЕМЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БУНКЕРОВКИ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ ЖИДКИМ МОТОРНЫМ ТОПЛИВОМ

Малая топливораздаточная платформа

Особенность: резерв
топлива находится на берегу.
Размеры платформы в плане
10×5 метров



Большая топливораздаточная платформа



Данный вид станции одного типа с малой платформой, отличие
заключается в габаритных размерах и типе устанавливаемой
раздаточной колонки.

Бункеровочная станция

Стоечное судно. Подача топлива может осуществляться
как с берега, так и наливом с танкера. В конструкции имеет танки
для разных видов топлива: бензины АИ-92 и АИ-95, а также
дизельное топливо.

На станции устанавливаются топливораздаточные колонки
или насосная установка с автоматизированной дозой выдачи
топлива. Возможно производить бункеровку на рейде.



Перечень регулирующих организаций для проектов по бункеровке судов на
Внутренних водных путях (на Водных объектах вне ВВП процедура другая)

1. Российское классификационное общество; 2. Администрация внутренних водных
путей; 3. Администрация района водных путей и судоходства; 4. Бассейновое водное
управление; 5. Федеральное агентство водных ресурсов; 6. Территориальное
управление Росрыболовства; 7. Роспотребнадзор; 8. Комитет по имуществу и
земельным отношениям; 9. Государственный морской и речной надзор

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТОВ ХАУСБОТОВ

Проектирование для судоверфи:



Проектирование под самострой (частные заказчики)



Кемпер-боты



Конструкторское бюро разработало проектную
документацию для плавучих домов (хаусботов)
различных российских производителей, от
эскизных проектов и построенной документации,
до проектов под регистрацию судов
индивидуальной постройки и серийного выпуска

Суммарное количество
разработанных
проектов маломерных
судов

>200
проектов

Руководитель КБ
Шабала Алексей Геннадьевич
+7 (987) 110-36-67
kb@vsuwt.ru / kbvsuwt.ru

КБ имени инженера-
конструктора Е.В.
Фальмонова - подразделение
Управления научной и
инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»



www.vsuwt.ru

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, форматируется по центру. Заглавными буквами оформлять не надо!

Аннотация – это краткое точное изложение содержания документа, включающее основные сведения и выводы работы. Аннотация дает возможность установить основное содержание документа, используется в информационных (автоматизированных) системах для поиска документов. Аннотация выполняет функцию инструмента, позволяющего читателю понять, следует ли обращаться к полному тексту статьи. Аннотация должна быть информативной (не содержащей общих слов), содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследования), структурированной. Структура аннотации должна полностью повторять структуру статьи. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи.

Ключевые слова - должны характеризовать предметную область исследования. Во всех библиографических базах данных осуществляется поиск статей по ключевым словам. (не более 3-х слов внутри ключевой фразы). Слова и/или словосочетания отделяются запятой.

Англоязычные переводы (название статьи, сведения об авторах, аннотация (Abstract), ключевые слова (Keywords), литература (References)– должны быть качественными.

Текст статьи - должен быть структурирован, название частей необходимо выделять соответствующими подзаголовками, которые оформляются полужирным шрифтом и форматируются по центру. Разделы Введение (Постановка задачи) и Заключение (Выводы) являются обязательными. Приветствуется использование структуры IMRAD (<https://ru.wikipedia.org/wiki/IMRAD>):

1. **Введение** (актуальность) - описание проблемы, обзор литературы, связанной с исследованием, формулирование цели и задач исследования, обозначение нерешенных проблем, обоснование теоретической и практической значимости.
2. **Методы** -описание методов, условий и схем экспериментов, приборов, материалов и оборудования. указывается последовательность выполнения исследования и обосновывается выбор используемых методов (наблюдение, опрос, тестирование, эксперимент, лабораторный опыт, анализ, моделирование и т. д.).
3. **Результаты** - предоставление экспериментальных или теоретических данных, полученных в ходе исследований (могут быть представлены в виде таблиц, графиков, диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков). Это основной раздел, цель которого – доказать рабочую гипотезу (гипотезы).
4. **Обсуждение** - интерпретация полученных результатов, предположения, сопоставление, сравнение полученных результатов с результатами других авторов и т.д.
5. **Заключение** - структурированные выводы, соответствующие постановке задачи исследования во введении, делаются обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить попытки прогноза развития рассмотренных вопросов.
6. **Благодарности** - можно упомянуть людей, помогавших авторам подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку (например, номер гранта РФФИ). Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

Таблицы - должны быть подготовлены стандартными средствами MS Office. Надпись Таблица 1 форматируется по правому краю (размер шрифта 11, начертание - курсив). Название таблицы форматируется по центру полужирным шрифтом. На все таблицы (табл.1) должны быть ссылки в тексте

Рисунки - рисунки допускаются как в растровом, так и в векторном формате. Минимальное разрешение - 300 dpi. Каждое графическое изображение должно представлять собой единый, цельный объект. Подпись к рисунку 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 (самцитирование) не более 20-25% от общего числа ссылок
- ссылки на статьи периодических изданий (за последние 5 лет), опубликованные в рецензируемых научных журналах, индексируемых в РИНЦ, Scopus, WoS, должны составлять не менее 25%;
- если цитируемая статья имеет DOI, необходимо указывать его после описания цитируемой статьи. Для проверки наличия у статьи DOI можно, например, воспользоваться сервисом Crossref по ссылке <https://search.crossref.org/references>
- нежелательно включать в списки литературы анонимные источники и нормативные документы (постановления, законы, инструкции и т.д.), которые никогда не будут проиндексированы в базах данных цитирования, предпочтительно их цитировать непосредственно в тексте или во внутритекстовых сносках;
- нежелательно использовать в списках литературы авторефераты диссертаций и диссертации, учебные пособия и учебники;
- анонимные интернет-источники необходимо указывать в постраничных сносках, а не в списках литературы.

References - список литературы на английском языке.

Для русскоязычных статей необходимо указывать: ФИО авторов на латинице (транслитерация); название статьи (транслитерация); перевод названия статьи на английский язык; название журнала на английском языке (транслитерация, если нет информации об использовании журналом англоязычного названия); выходные данные с обозначением на английском языке (год, том, номер страницы «от-до»); указание на язык статьи, если она представлена на русском языке (In Russ.); DOI статьи (при наличии) или URL при отсутствии DOI, если есть доступ к статье.

В этом разделе должны использоваться только английские символы, наличие кириллических знаков не допускается. При ссылке на сайты, содержащие в названии русские символы, придется воспользоваться так называемым punicode-конвертором (например, <https://hb.by/punocode-converter.aspx>). С помощью подобных онлайн-сервисов имя сайта преобразуется в специальный код, который и указывается вместо русскоязычного названия. К примеру, ссылка «<http://vf-река-море.рф>» преобразуется в <http://xn----7kcgqcbassog3b.xn--p1ai/>.

Для перевода русского текста на латиницу используются правила **British Standard Institution**. Транслитерация производится с помощью автоматического транслитератора (Формат BSI), например, <http://transliteration.pro/bsi>. (не делать транслитерацию вручную).

Ссылка на статью в журнале

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie stat'i [Title of the Article], Nazvanie zhurnala [Title of Journal], 2021, no. 66, pp. 120—130.

Ссылка на книгу

Familia I.O. Nazvanie knigi [Title of the Book]. Gorod, Izdatelstvo Publ., 2015, 450 p.

Ссылка на переводное издание

Familia I.O. [Original Title of the Book]. Gorod, Izdatelstvo Publ., 2015, 450 p. (in Russ.)

Ссылка на статью в сборнике статей (I.O. Sostavitel = фамилия отв. редактора или составителя)

Familia I.O. Nazvanie stat'i [Title of the Article*], Nazvanie sbornika statei [Title of the Digest*], ed. I.O. Sostavitel. Gorod, Izdatelstvo Publ., 2015, pp. 10—15.

Ссылка на статью в электронном журнале

Familia I.O. Nazvanie stat'i [Title of the Article*], Nazvanie zhurnala [Title of Journal], 2015, no.5. Available at: <http://observatoria.rsl.ru/ru/s3/s17/s364/ok12015/> (accessed 01.12.2015)

Информация об авторах на русском и английском языках – оформляется в конце работы в виде таблицы (в качестве образца можно использовать статьи, опубликованные с 2020 года (№62))

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Митрошин Сергей Григорьевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: priemnaya@vgavt-nn.ru

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

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

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**

№87(2), 2026

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 15,31. Уч.-изд. л. 21,44.
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 ИП Волков Александр Евгеньевич. Адрес Воронежская область,
г. Воронеж, ул. Московский проспект, д. 125, кв. 289.