



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

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

# Научные проблемы водного транспорта

№79 (2) 2024

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

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

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

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство ПИ № ФС77-77658 от 17 января 2020 г. Подписной индекс в объединённом каталоге "Пресса России": **70191**

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

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

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

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

**2.5.17 Теория корабля и строительная механика**

**2.5.18 Проектирование и конструкция судов**

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

**2.5.20 Судовые энергетические установки и их элементы**

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

**5.2.3 Региональная и отраслевая экономика**

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

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



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

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

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

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

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

## **Редакция и Редколлегия**

### **Главный редактор**

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

### **Заместители главного редактора**

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

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

### **Ответственный редактор**

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

**Ответственный секретарь**

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

**Члены Редколлегии**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Сичкарев Виктор Иванович, д.т.н., профессор, Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия;

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

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

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

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

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



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

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

# Russian Journal of Water Transport №79 (2) 2024

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

## Editorial Team

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

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

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

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

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

## **Editorial board**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



## **Конструкторское бюро ВГУВТ**

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

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

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



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



# СОДЕРЖАНИЕ

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

**С.В. Власов, К.Е. Хмельницкий, А.Р. Рубан, В.П. Булгаков**

Особенности технологии изготовления образцов из композитных материалов и некоторые результаты их испытаний ..... 15

**С.Н. Гирин, А.С. Гусев**

Исследование напряженного состояния кормового крыла СПК на 120 пассажиров ... 23

**М.В. Китаев, Н.Р. Дмитриева, И.А. Новосельцев**

Перспективы использования хаусботов и плавучих домов в Приморском крае ..... 35

**С. А. Королев, К. Е. Корольков, А. Г. Назаров**

Особенности применения естественных элементов жесткости в конструкциях судов из композиционных материалов ..... 51

**Е.В. Никитин, С.А. Симененко**

Способ определения положения центра тяжести крупногабаритного груза для безопасной перегрузки на судне ..... 63

**В. М. Родюшкин, А.В.Иляхинский, А.Б.Корнев, К.О.Каразанов**

Ультразвуковой мониторинг пластической деформации ..... 78

**О.А. Щеголева, А.Е. Бурмистрова, Е.Г. Бурмистров**

Математическая модель поточного изготовления секций в гибкой производственной системе верфи ..... 90

## **Судовое энергетическое оборудование**

**В.Г. Букин, А.И. Андреев, Р.Р. Минофьев**

Исследование параметров кипящего потока в вертикальных испарителях судовых холодильных машин ..... 100

**В.Л. Конюков**

Расширение диапазона допустимых нагрузок судового четырехтактного дизеля при использовании регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора ..... 114

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

Эксперименты по термическому обезвреживанию судовых нефтесодержащих вод . 122

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

**О.И. Карташова**

Экономико-математическая модель выбора оптимальных схем доставки с участием водного транспорта и использованием объектов региональной транспортной инфраструктуры..... 131

**И.Ю. Кудрявцева**

Внутренний контроль как средство обеспечения экономической безопасности предприятий водного транспорта..... 141

**С.И. Нюркин, Э.Е. Нюркина**

Поиск путей совершенствования работы судоходных предприятий в регионах с развитой транспортной инфраструктурой..... 157

<b>М.В. Фирсов</b> Концепция разработки компонентов безопасности на основе развития бизнес-процессов логистики компании.....	164
<b>В.В. Цверов, О.Л. Домнина, Д.И. Мамедов, У. Герби</b> Системный подход к поставкам нерудных строительных материалов на речном транспорте .....	176
<b>В.С. Чеботарев, И.К. Кузьмичев</b> Инновационное развитие предприятий водного транспорта как отрасли высокотехнологичной промышленности .....	190
 <b>Эксплуатация водного транспорта, водные пути, сообщения и гидрография</b>	
<b>Е.И. Вершинина, М.В. Никулина, Ю.И. Платов</b> Особенности планирования и оценки работы судов малых судоходных предприятий на современном этапе .....	201
<b>С.С. Герасимов, А.Н. Ситнов</b> Обзор и анализ способов оценки влияния условий эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов на безопасность судоходства .....	209
<b>Н.О. Кириллов</b> Оценка возможного влияния на безопасность гражданского судоходства существующих концепций «навигационного давления» .....	219
<b>Е.М.Куприна</b> Исследование влияния направления водного потока и конфигураций опор моста на местный размыв дна реки .....	227
<b>Е.Е. Петрова, В. В. Ганнесен, Т.Е. Маликова</b> Социально-сетевой анализ зарубежных исследований в области автоматизации грузовых контейнерных перевозок .....	238
<b>А.Н. Попов, Г.А. Зеленков, В.С. Плужник, О.Е. Бородин</b> Анализ аварийности на морском транспорте с использованием метода байесовских сетей доверия .....	250

# CONTENTS

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

- Sergey V. Vlasov, Konstantin E. Khmelnskiy, Anatoly R. Ruban, Vladimir P. Bulgakov***  
Technology features of manufacturing samples made of composite materials and some of their tests results ..... 15
- Stanislav N. Girin, Alexander S. Gusev***  
The study of the stress state of the aft wing of the hydrofoil vessel for 120 passengers ..... 23
- Maksim V. Kitaev, Natalia R. Dmitrieva, Igor A. Novoseltsev***  
Prospects for the houseboats and floating houses operation in Primorsky region ..... 35
- Sergey A. Korolev, Konstantin E. Korolkov, Albert G. Nazarov***  
Specifics of application of natural stiffening elements in ship structures made of composite materials..... 51
- Yevgeny V. Nikitin, Sofia A. Simenenko***  
A method for determining the position of the center of gravity of a bulky cargo for safe reloading on a ship..... 63
- Vladimir M. Rodyushkin, Aleksandr V. Ilyakhinskii, Andrey B. Kornev, Kirill O. Karazanov***  
Ultrasonic monitoring of plastic deformation ..... 78
- Olga A. Shchegoleva, Anastasia E. Burmistrova, Evgeny G. Burmistrov***  
Mathematical model of in-line manufacturing of sections in a flexible shipyard production system ..... 90

## ***Ship power equipment***

- Vladimir G. Bukin, Alexander I. Andreev, Roman R. Minofyev***  
Research of boiling flow parameters in vertical evaporators of marine refrigeration machines ..... 100
- Viacheslav L. Konyukov***  
Expansion of the range of permissible loads of a marine four-stroke diesel engine when using an adjustable turbocharger nozzle apparatus ..... 114
- Vladimir A. Chernov, Oleg P. Shurayev, Alexander G. Chichurin***  
Experiments on thermal neutralization of marine oily waters ..... 122

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

- Olga I. Kartashova***  
Economic and mathematical model of selection of optimal delivery schemes involving water transport and the use of regional transport infrastructure facilities ..... 131
- Irina Y. Kudryavtseva***  
Internal control as a means of ensuring the economic security of water transport enterprises ..... 141
- Sergey I. Niurkin, Ella E. Niurkina***  
Search for ways to improve the work of shipping companies in the regions with developed transport infrastructure ..... 157

<b><i>Michail V. Firsov</i></b> The concept of developing security components based on the development of the company's logistics business processes .....	164
<b><i>Vladimir V. Tsverov, Olga I. Domnina, D.I. Mamedov, Usami Gerbi</i></b> A systematic approach to the supply of non-metallic construction materials on river transportation .....	176
<b><i>Vladislav S. Chebotarev, Igor K. Kuzmichev</i></b> Innovative development of water transport enterprises as a branch of high-tech industry .....	190

### ***Water transport operation, waterways, communications and hydrography***

<b><i>Elena I. Vershinina, Marina V. Nikulina, Juri I. Platov</i></b> Features of planning and evaluation of the work of small shipping vessels enterprises at the present stage .....	201
<b><i>Sergey S. Gerasimov, Aleksandr N. Sitnov</i></b> Review and analysis of methods for assessing the impact of operating conditions of underwater crossings of main pipelines on the safety of navigation .....	209
<b><i>Nikolai .O. Kirillov</i></b> Assessment of the possible impact on the safety of civil navigation of existing concepts of «navigation pressure» .....	219
<b><i>Ekaterina M.Kuprina</i></b> Investigation of the influence of bridge support configurations on local bottom erosion when changing the flow direction on the approach to the bridge crossing structures .....	227
<b><i>Ekaterina E. Petrova, Vitalii V. Gannesen, Tatiana E. Malikova</i></b> Social network analysis of foreign research in the field of automation of cargo container transportation .....	238
<b><i>Anatoly N. Popov, Gennadiy A. Zelenkov, Valeriy S. Pluzhnik, Oleg E. Borodin</i></b> Analysis of accidents in maritime transport using the method of Bayesian trust networks .....	250

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

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

УДК 629.5

DOI: 10.37890/jwt.vi79.497

#### **Особенности технологии изготовления образцов из композитных материалов и некоторые результаты их испытаний**

**С.В. Власов<sup>1</sup>**

**К.Е. Хмельницкий<sup>1</sup>**

**А.Р. Рубан<sup>1</sup>**

**В.П. Булгаков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия*

**Аннотация.** В последнее время наблюдается подъем в развитии аддитивных технологий, и инженеры и ученые ищут новые рецептуры, с помощью которых можно строить сравнительно небольшие детали и элементы корпусов. Для строительства объектов целиком, так, например, корпус маломерного судна, а тем более при массовом производстве, требуется соблюдать баланс стоимости, качества, применимости материала, веса и прочностных характеристик. Наиболее распространенный материал в маломерном судостроении последнего времени – это стеклопластик на основе полиэфирных и эпоксидных смол. Данный материал при интенсивном использовании лодки имеет срок службы 15...20 лет, а при надлежащем уходе, этот срок может быть увеличен. Корпуса, выполненные из стеклопластика, обладают необходимыми техническими характеристиками, как при производстве корпусов сложной геометрии, так и в дальнейшей эксплуатации. Уже наблюдаются попытки создания 3D принтеров, в которых в качестве материала для печати, используются полиэфирные смолы, но отрицательной стороной данного оборудования, является то что отсутствует армирование между слоями, из-за чего уменьшается прочность и толщина слоя, что значительно уменьшает скорость печати. На основании наработанного опыта был предложен материал на основе полиэфирной смолы, имеющий в своем составе армирующие волокна, благодаря которым он имеет пастообразную консистенцию и сохраняет форму при нанесении, и не растекаться.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, материал для печати 3D принтером, шумоизоляция, виброизоляция, полиэфирная смола, отвердитель, клей, фибра.

#### **Technology features of manufacturing samples made of composite materials and some of their tests results**

**Sergey V. Vlasov<sup>1</sup>**

**Konstantin E. Khmelnsky<sup>1</sup>**

**Anatoly R. Ruban<sup>1</sup>**

**Vladimir P. Bulgakov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

**Abstract.** Recently, there has been an upsurge in the development of additive technologies, and engineers and scientists are looking for new formulations with which to build relatively small parts and hull elements. For the construction of large objects entirely, for example, the hull of a small vessel, and even more so in mass production, it is necessary to maintain a balance of cost, quality, applicability of material, weight and strength characteristics. The most common material in small-scale shipbuilding of recent times is fibreglass based on polyester and epoxy resins. This material, with intensive use of the boat, has a service life of 15-20 years, and with proper care, this period can be extended. Cases made of glass-plastic have the necessary technical characteristics, both in the production of cases of complex geometry and in further operation. Attempts have already been made to create 3D printers in which polyester resins are used as a printing material, but the negative side of this equipment is that there is no reinforcement between the layers, which reduces the strength, and the layer thickness, which significantly increases the printing speed. Based on the experience gained, a material based on polyester resin was proposed, which has reinforcing fibres in its composition, thanks to which it has a pasty consistency, and retains its shape when applied and does not spread.

**Keywords:** additive technologies, 3D printer printing material, noise insulation, vibration isolation, polyester resin, glue, fiber.

### **Введение**

В разрабатываемом поисковом исследовании упор делался на создание клеевой пастообразной субстанции, способной при нанесении на плоскость слоя толщиной около 4 мм сохранять самонесущую конструкцию. Получившийся слой должен быть устойчив к весовой нагрузке от накладываемых поверх слоев. В настоящее время создаются уже принтеры для печати полиэфирными смолами без межслойного армирования, вследствие чего уменьшается прочность, также уменьшается и толщина слоя, которая отрицательно влияет на скорость строительства конструкций, в отличие от аналогов, использующих привычный пластиковый материал. [1,2]. Клеевую массу, приготовленную подобным способом, можно также использовать, например, при заполнении трещин корпуса, либо при вакуумном формовании и иных производственных процессах [3,4,5]. При проведении работ нужно учитывать, что процессы желатинизации клеевой основы, наступающие через 10-12 минут после приготовления материала, должны наступать на этапе, когда слой уже наложен и требуется наложить следующий слой. Если необходимо скоростное наложение слоев, то эффект отвердевания можно ускорить несколькими способами, например, введением катализаторов отверждения полиэфирной смолы в момент смешивания клея, но тогда сохраняется риск не успеть выработать приготовленный материал, или, например, локальным воздействием ультрафиолетового облучателя на нанесенные слои [6]. Воздействие ультрафиолетовым облучателем показало по прикидочным испытаниям повышенную скорость схватываемости и последующее высыхание клея. Во время пилотного эксперимента, был сделан пастообразный образец материала на основе полиэфирной смолы, на который направили ультрафиолетовый облучатель, предварительно затенив часть образца. Органолептическое исследование образца, показало, что выдержка в течении трех часов под ультрафиолетовым излучателем, дало прочность конструкции образца и отсутствие прилипания к рукам, в то время, как затемненная часть образца, имела признаки невысохшего клея. Данный эксперимент проводился с целью определить, способны ли лучи ультрафиолетового облучателя ускорить затвердевание материала, не смотря на добавку из резиновой крошки, которая препятствует распространению лучей в толщину материала.

### **Приготовление клеевого материала и виды образцов**

Образцы были изготовлены по принципу смешивания полиэфирной марки ПН-1, смолы с отвердителем «бутанокс» с дальнейшим вводом в клеевую массу

армирующих добавок в виде различной фибры, то есть измельченной стеклонити или полимерной нити длиной по 4 мм, диаметром до 12 мкм и наполнителей в виде мелкозернистой резиновой крошки размером до 0,5 мм. Ожидается, что резиновый наполнитель добавленный в виде пластификатора в клеевую массу, может сыграть роль внутреннего виброизолятора, демпфирующего колебательный процесс, при использовании, например, для формирования транцевых досок [7]. В процессе изготовления первой группы образцов использовалась полиэфирная смола, отвердитель и армирование на основе фибры из стекловолокна. Для второй группа образцов использовалась полиэфирная смола, отвердитель и армирование на основе фибры из полимерного волокна. Третья группа образцов состояла из полиэфирной смолы, отвердителя и армирования на основе фибры из стекловолокна с наполнителем из резиновой крошки. Четвертая группа образцов была выполнена из полиэфирной смолы, отвердителя и армирования на основе фибры из полимерного волокна с наполнителем из резиновой крошки. Количество армирующего материала вводилось в соответствии с правилами классификации постройки морских судов Российского морского регистра судоходства.

### **Изготовление образцов**

При изготовлении образцов для последующих испытаний на статический изгиб, воспользовались лабораторным стендом, который представляет собой несколько ёмкостей, созданных посредством выложенных в прямоугольники металлических полос, закрепленных струбцинами. Разравнивание подготовленной клеевой массы происходило правилом, которое при упоре на борта создают образец необходимой толщины. (рис 1).



Рис. 1. Формование образцов  
(стрелкой указано направление движения правила)

После полного отверждения заготовок, из них были изготовлены образцы для испытаний путём резки ленточной пилой [8], (рис 2.)



Рисунок 2. Пример подготовки образцов к испытанию

Для испытаний на статический изгиб, образцы изготавливались размером 80×10×4 мм, все образцы были пронумерованы и упакованы для пересылки в лабораторию.

#### **Результаты исследования и сравнение полученных результатов**

Подготовленные образцы были испытаны лабораторией, имеющей признание Российского морского регистра судоходства и Российского Классификационного Общества. Результаты испытаний на статический изгиб, показывают, что наиболее низкое сопротивление материала к упругой деформации показали образцы, состоящие из полиэфирной смолы с армированием на основе фибры из полимера с наполнителем резиновая крошка, приведенные в таблице 1.

*Таблица 1*

#### **Данные исследования образца из полиэфирной смолы с армированием на основе фибры из полимера с наполнителем резиновая крошка**

Состав образца	Полиэфирная смола с армированием на основе фибры из полимера с наполнителем резиновая крошка.				
	59.5.1	59.5.2	59.5.3	59.5.4	59.5.5
Протокол №1	59.5.1	59.5.2	59.5.3	59.5.4	59.5.5
Приложенная сила F, Н	34	39	56	24	58
Высота образца w, м	0,0039	0,0035	0,0042	0,0031	0,0046
Ширина образца h, м	0,0097	0,0097	0,0093	0,0095	0,0097
Прогиб образца u, м	0,0038	0,0053	0,0047	0,0027	0,0046
Расстояние между опорами L, м	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
Модуль Юнга E, ГПа	0,165	0,151	0,231	0,219	0,197
Отличие от среднего E, ГПа	0,028	0,042	-0,039	-0,027	-0,004
Отличие от среднего, %	14,45	21,60	20,03	13,82	2,21

Похожий результат у образца на основе полиэфирной смолы с армированием на основе фибры из полимерного волокна, без наполнителя из резиновой крошки, результат незначительно превосходит по показаниям предыдущий образец (см. таблицу 2).

Таблица 2

**Данные исследования образца из полиэфирной смолы с армированием на основе фибры из полимера**

Состав образца	Полиэфирная смола с армированием на основе фибры из полимера.				
	59.9.1	59.9.2	59.9.3	59.9.4	59.9.5
Протокол №2	59.9.1	59.9.2	59.9.3	59.9.4	59.9.5
Приложенная сила F, Н	97	60	82	31	45
Высота образца w, м	0,0047	0,0032	0,0041	0,0032	0,0031
Ширина образца h, м	0,0102	0,0105	0,0103	0,0101	0,0108
Прогиб образца u, м	0,00525	0,00545	0,00465	0,00315	0,00575
Расстояние между опорами L, м	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
Модуль Юнга E, ГПа	0,243	0,195	0,258	0,196	0,131
Отличие от среднего E, ГПа	-0,038	0,010	-0,053	0,009	0,073
Отличие от среднего, %	18,72	4,75	26,15	4,34	35,77

Армирование фиброй из стекловолокна образца имеющего наполнитель из резиновой крошки показывает лучшие прочностные характеристики материала (см. таблицу 3), чем образцы, армированные фиброй из полимера.

Таблица 3

**Данные исследования образца из полиэфирной смолы с армированием на основе фибры из стекловолокна с наполнителем резиновая крошка.**

Состав образца	Полиэфирная смола с армированием на основе фибры из стекловолокна с наполнителем резиновая крошка.				
	59.6.1	59.6.2	59.6.3	59.6.4	59.6.5
Протокол №3	59.6.1	59.6.2	59.6.3	59.6.4	59.6.5
Приложенная сила F, Н	89	61	49	65	46
Высота образца w, м	0,0037	0,0037	0,0028	0,0037	0,004
Ширина образца h, м	0,0093	0,0092	0,0098	0,0095	0,0089
Прогиб образца u, м	0,0051	0,00375	0,00365	0,00425	0,0025
Расстояние между опорами L, м	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
Модуль Юнга E, ГПа	0,384	0,370	0,334	0,316	0,428
Отличие от среднего E, ГПа	-0,018	-0,004	0,032	0,050	-0,061
Отличие от среднего, %	4,90	1,00	8,87	13,75	16,73

Самое большое значение приложенной силы до полного разрушения образца принадлежит материалу, армированному фиброй на основе стекловолокна, данные испытания приведены в таблице 4.

Таблица 4

Данные исследования образца из полиэфирной смолы с армированием на основе фибры из стекловолокна.

Состав образца	Полиэфирная смола с армированием на основе фибры из стекловолокна.				
	59.7.1	59.7.2	59.7.3	59.7.4	59.7.5
Протокол №4	59.7.1	59.7.2	59.7.3	59.7.4	59.7.5
Приложенная сила F, Н	143	130	172	174	133
Высота образца w, м	0,0039	0,0036	0,0046	0,004	0,0043
Ширина образца h, м	0,0101	0,0099	0,01	0,01	0,0101
Прогиб образца u, м	0,0052	0,0052	0,0043	0,00625	0,0046
Расстояние между опорами L, м	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
Модуль Юнга E, ГПа	0,449	0,469	0,570	0,456	0,428
Отличие от среднего E, ГПа	0,026	0,005	-0,096	0,018	0,047
Отличие от среднего, %	5,43	1,10	20,16	3,82	9,82

Расчет среднеарифметических значений модуля Юнга, дает нам возможность наглядно сравнить модуль упругости. (рис 3)

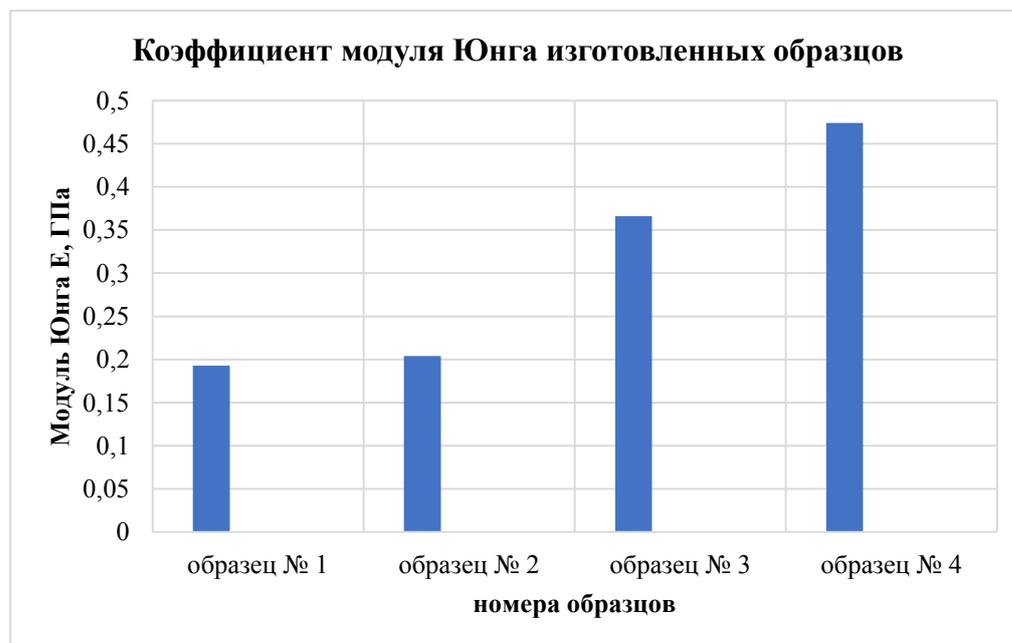


Рис. 3. Коэффициент модуля Юнга изготовленных образцов

На рисунке показаны образцы в следующей последовательности:

- образец № 1 – армирование фиброй из полимера с наполнителем резиновая крошка;
- образец № 2 – армирование на основе фибры из полимера;
- образец № 3 – армирование фиброй из стекловолокна с наполнителем резиновая крошка;
- образец № 4 – армирование на основе фибры из стекловолокна.

### **Заключение**

Данные об исследовании образцов, говорят о том, что армирование на основе фибры из стекловолокна, позволяет добиться более упругих конструкций по сравнению с материалами изготовленными на основе фибры из полимера. Использование резиновой крошки в качестве наполнителя значительно снижает коэффициент модуля Юнга готового изделия в обоих случаях, но в случае положительных данных планируемого исследования на виброизоляции и звукоизоляции, данный материал можно использовать, например, в вибро-звукоограждающих конструкциях, где прочностные свойства конструкции менее важны или не регламентируются нормативными документами.

### **Список литературы**

1. PolyJet tm Technology Multi-material 3D printing for full-color, transparency, and flexibility in a single model. Available at: <<https://www.stratasys.com/en/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/polyjet-technology/>> (accessed 20.04.2024).
2. M.W. Barclift, C.B. Williams. Examining variability in the mechanical properties of parts manufactured via polyjet direct 3D printing // Department of Mechanical Engineering, Virginia Tech. 2012. pp. 876-890.
3. Петров П.Ю. Преимущества применения полимерных композитных материалов при изготовлении маломерных судов / Морской вестник, №4 (80), 2021. – 11 – 12 с.
4. Цыварев М.В., Ветлугина А.С., Миронов М.Ю. Расчетно-экспериментальная оценка применимости экструдированного пенополистирола бытового назначения в трехслойных конструкциях корпуса маломерного судна / Труды Крыловского государственного научного центра. Т. 4, № 402, 2022. – 75 – 84 с.
5. Цыварев М.В., Ветлугина А.С. Технология изготовления корпуса маломерного судна методами ручной формовки из многослойных композиционных материалов / Труды СПбГМТУ, №1 (5), 2023. – с. 120 – 132.
6. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Семенычев В.В., Крашенинникова Е.В. Особенности отверждения полиэфирного связующего, обусловленные разной длительностью воздействия ультрафиолетового облучения. Пластические массы. 2019;(9-10):27-30. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2019-9-10-27-30>. (дата обращения 22.04.2024).
7. Соломатов В.И. Вибропоглощающие композиционные материалы / В. И. Соломатов, В. Д. Черкасов, Н. Е. Фомин. - Саранск : Изд-во Морд. ун-та, 2001. - 94, [1] с. : ил., табл.; 20 см.; ISBN 5-7103-0585-5.
8. Алсаид Мазен, Саламех Али. Обоснование применения многослойных композитных материалов в судостроении// Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. №2 с.37-47 DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-37-47.

### **References**

1. PolyJet tm Technology Multi-material 3D printing for full-color, transparency, and flexibility in a single model. Available at: <<https://www.stratasys.com/en/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/polyjet-technology/>> (accessed 20.04.2024).
2. M.W. Barclift, C.B. Williams. Examining variability in the mechanical properties of parts manufactured via polyjet direct 3D printing // Department of Mechanical Engineering, Virginia Tech. 2012. pp. 876-890.
3. Petrov P.Yu. Advantages of using polymer composite materials in the manufacture of small vessels / Marine Bulletin, №4 (80), 2021. – 11 – 12 S.
4. Tsyvarev M.V., Vetlugina A.S., Mironov M.Yu. Computational and experimental assessment of the applicability of extruded polystyrene foam for household use in three-layer structures of the hull of a small vessel / Proceedings of the Krylov State Scientific Center. T. 4, № 402, 2022. – 75 – 84 S.
5. Tsyvarev M.V., Vetlugina A.S. Technology of manufacturing the hull of a small-sized vessel using manual molding methods from multilayer composite materials / Proceedings of SPbGMTU, №1 (5), 2023. – pp. 120-132.

6. Veshkin E.A., Postnov V.I., Semenychev V.V., Krashennnikova E.V. Especially-the curing properties of the polyester binder due to the different duration of exposure to ultraviolet radiation. *Plastic masses*. 2019;(9-10):27-30. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2019-9-10-27-30> (accessed 22.04.2024).
7. Solomatov V.I. Vibration-absorbing composite materials / V. I. Solo-matov, V. D. Cherkasov, N. E. Fomin. - Saransk : Publishing House of the Mord. university, 2001. - 94, [1] p. : ill., table.; 20 cm.; ISBN 5-7103-0585-5.
8. Alsaid Mazen, Salameh Ali. Justification of the use of multilayer composite materials in shipbuilding// *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and Technology*. 2019. No.2 pp.37-47 DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-37-47.

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

**Власов Сергей Вячеславович**, аспирант кафедры судостроение и энергетические комплексы морской техники; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; vlas120180@rambler.ru

**Sergey V. Vlasov**, Postgraduate student of the Department of Shipbuilding and Energy Complexes of Marine Engineering; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16; vlas120180@rambler.ru

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

**Konstantin E. Khmelnskiy**, Candidate of Technical Sciences; Docent of the Department of Water Transport Operation and industrial fishing; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva str.; e-mail: chuchera80@mail.ru

**Рубан Анатолий Рашидович**, кандидат технических наук, профессор кафедры судостроение и энергетические комплексы морской техники; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; a.ruban1974@mail.ru

**Anatoly R. Ruban**, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Shipbuilding and Energy Complexes of Marine Engineering; 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16; a.ruban1974@mail.ru

**Булгаков Владимир Павлович**, доктор технических наук, профессор; профессор кафедры судостроение и энергетические комплексы морской техники; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; mbulgak@mail.ru

**Vladimir P. Bulgakov**, Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Shipbuilding and Energy Complexes of Marine Engineering; 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16; mbulgak@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.05.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 01.05.2024; published online 20.06.2024.

УДК 629.122

DOI: 10.37890/jwt.vi79.493

## **Исследование напряженного состояния кормового крыла СПК на 120 пассажиров**

**С.Н. Гирин<sup>1</sup>**

*ORCID: 0009-0001-3741-8502*

**А.С. Гусев<sup>1</sup>**

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

**Аннотация.** В статье приводится сравнение результатов расчета напряженного состояния (НС) кормового крыла судна на подводных крыльях (СПК) пр.03830, спроектированного фирмой «SeaTech». Кормовое крыло в данном проекте воспринимает 70% веса корпуса судна, поэтому является наиболее нагруженным. В отличие от большинства проектов речных СПК конструкция кормового крыла является не сплошной, а наборной, поэтому применение стержневой расчетной схемы для его расчета, предусмотренной Правилами Российского Классификационного Общества (ПРКО), вызывает сомнения. Кормовое крыло работает в потоке жидкости за носовым крылом, поэтому также вызывает сомнения рекомендации ПРКО о равномерном распределении нагрузки по длине и хорде крыла. В связи с этим, рассмотрены две конструктивные схемы крыла: стержневая и объемная. Расчеты этих схем выполнены методом конечных элементов, с помощью пакета программ ANSYS Mechanical. Нагружение стержневой схемы выполнено с использованием рекомендаций ПРКО, а объемная схема рассчитана на два вида нагружения: по ПРКО и по результатам расчета, выполненного в программном комплексе AUTOWING, основанном на теории дискретных вихрей. Выполненные расчеты показали, что напряжения в крыле, вычисленные на основании рекомендаций ПРКО, существенно меньше по сравнению с более подробной расчетной схемой, учитывающей особенности конструкции крыла и его нагружения.

**Ключевые слова:** судно на подводных крыльях, подводные крылья, расчет прочности, напряженное состояние, прочность кормового крыла, Правила Российского Классификационного Общества, ANSYS, AUTOWING.

## **The study of the stress state of the aft wing of the hydrofoil vessel for 120 passengers**

**Stanislav N. Girin<sup>1</sup>**

*ORCID: 0009-0001-3741-8502*

**Alexander S. Gusev<sup>1</sup>**

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

**Abstract.** The article presents a comparison of the results of stress state calculation of the stern wing of hydrofoil of hydrofoil vessel 03830 pr.03830 designed by SeaTech. The stern wing in this project takes 70% of the hull weight of the vessel, so it is the most loaded. In contrast to the majority of the river SPK projects, the stern wing construction is not solid, but a set, so the use of the rod design scheme for its calculation, stipulated by the Rules of the Russian Classification Society (RCS), is questionable. The aft wing operates in the fluid flow behind the nose wing, so also questionable is the recommendation of the RCS on the uniform distribution of the load along the length and chord of the wing. In this regard, two structural schemes of the wing are considered: rod and volumetric. The calculations of these schemes are performed by the finite element method, using the ANSYS Mechanical program package. The loading of the rod scheme was performed using the PRCO recommendations, and the volumetric scheme was calculated for two types of loading: by PRCO and by the results of

the calculation performed in the AUTOWING software package based on the discrete vortex theory. The performed calculations showed that the stresses in the wing calculated on the basis of the PRKO recommendations are significantly lower compared to a more detailed design scheme that takes into account the peculiarities of the wing structure and its loading.

**Keywords:** hydrofoil vessel, hydrofoil, strength calculation, stress state, strength of rear foil, Rules of the Russian Classification Society, ANSYS, AUTOWING.

### **Введение**

В настоящее время в нашей стране предпринимаются шаги для возрождения скоростного флота, проектируются и строятся новые суда на подводных крыльях. В процессе проектирования СПК важное место уделяется проектированию крыльевых устройств (КУ). Вопросам проектирования КУ и определения воспринимаемых ими усилий посвящена многочисленная литература, в частности [1] – [5]. Рекомендации по расчету нагрузок на КУ и выбору расчетных схем содержатся в правилах классификационных обществ [6] и [7]. К сожалению, Правила не учитывают последних достижений науки в области проектирования СПК, особенно это касается ПРКО [6], что было отмечено в работе [8]. В частности, методика расчета КУ в [6] основана на использовании стержневой схемы. Опыт проектирования и эксплуатации СПК показал, что применение такой методики оправдано для крыльевых устройств (КУ) со сплошными поперечными сечениями. Очевидно, что для сборной конструкции КУ данная методика может приводить к существенным погрешностям в расчетах НС.

В настоящей статье проводится исследование напряженного состояния кормового крыла СПК пр.03830, спроектированного фирмой «SeaTech». В данном проекте крыльевая система спроектирована по схеме «утка». Распределение подъемных сил при этой схеме таково, что 30% веса судна приходится на носовое крыло и 70% на кормовое. Поэтому в качестве объекта исследования принято именно кормовое крыло, как наиболее нагруженное. Кормовое крыло имеет наборную конструкцию. Расчеты НС в КУ выполнены с использованием пакета программ ANSYS Mechanical. Для сопоставления результатов расчета рассмотрена традиционная схема в виде стержневой системы, а также схема более подробного моделирования с применением оболочечных и объемных элементов. В последнем случае использована схема нагружения, рекомендованная ПРКО, а также схема распределения давлений на поверхность КУ, полученная по результатам расчета в комплексе AUTOWING.

### **Методика определения нагрузок на кормовое крыло**

В соответствии с Правилами РКО прочность крыльевого устройства проверяется на действие вертикальной силы на волнении, а также на совместное действие вертикальных сил на тихой воде и горизонтальной силы при циркуляции, приложенной в местах соединения стоек. Вертикальные силы распределяются равномерно по размаху крыла и направлены по нормали к несущей поверхности. В табл. 1 приведено вычисление указанных сил.

Правилами РКО предполагается, что нагрузка равномерно распределена по поверхности крыла. Для уточнения распределения нагрузки по размаху и хорде крыла выполнены расчеты в программном комплексе AUTOWING, основанном на теории дискретных вихрей, в частности, на замене поверхности набором вихревых рамок.

Так как кормовое крыло находится в набегающем потоке от работы носового, в расчете учитывается всё крыльевое устройство. Для ускорения процесса рассчитывается половина крыльевого устройства (КУ) с учетом симметрии.

По рекомендациям [9, 10] выбраны размеры расчетной области жидкости, показанные на рис.1: (10 хорд кормового крыла от по ширине, 3 хорды в нос от носового крыла и 10 хорд в корму от кормового). Размер панелей крыла принят равным 20 мм, а размер панелей волновой поверхности – 100 мм. Углы атаки носового и кормового крыла приняты равными соответственно 1° и 0,5°

С помощью AUTOWING возможно определить подъемные силы только на тихой воде; сила на волнении вычислена по ПРКО.

Таблица 1

**Внешние нагрузки, действующие на кормовое крыло по ПРКО**

№	Наименование величины	Обозначение, формула	Численное значение	Единицы измерения
1	Полное водоизмещение судна	$D'$	80	т
2	Скорость в крыльевом режиме	$v$	64 (17,8)	км/ч (м/с)
3	Расстояние между точками приложения сил поддержания на НКУ и ККУ	$l_0$	23,39	м
4	Отстояние центра тяжести судна от точки приложения силы поддержания на НКУ	$l_n$	15,3	м
5	Сила поддержания ККУ на Т.В.	$F_{TK}=9,81 \cdot D' \cdot l_n / l_0$	513,4	кН
6	Высота волны	$h$	1,4	м
7	Коэффициент, зависящий от высоты волны	$k$	2,1	-
8	Вертикальная сила на волнении	$P_k=0,75 \cdot k \cdot F_{TK}$	808,5	кН
9	Горизонтальная сила на циркуляции	$P_c=20,59 \cdot 10^{-3} \cdot D' \cdot v^2 / l_0$	28,2	кН

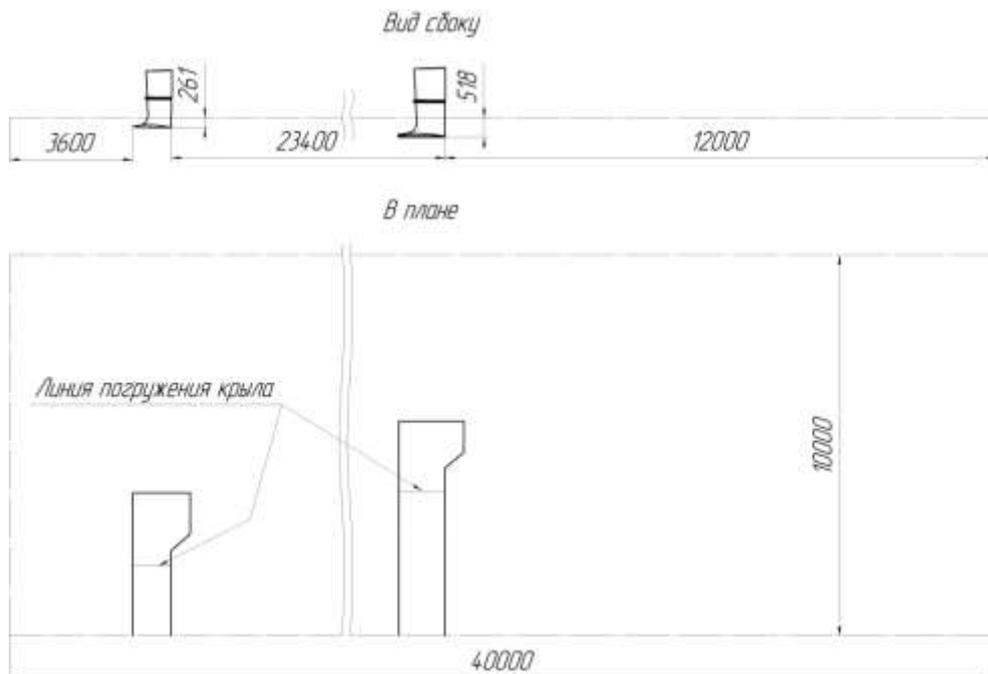


Рис.1. Размеры расчетной области

По результатам расчета получена картина волновой поверхности, представленная на рис.2 и 3, а также распределение давлений на верхнюю и нижнюю плоскости кормового крыльевого устройства (рис. 4 и 5).

Шкала на рис. 4 и 5 приведена в относительных величинах давления, т.е. для перевода в кПа необходимо их умножить на  $0,5\rho \cdot v^2$ ,

где  $\rho = 1,0 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$  –плотность воды;

$v = 20\text{м/с}$  –скорость судна.

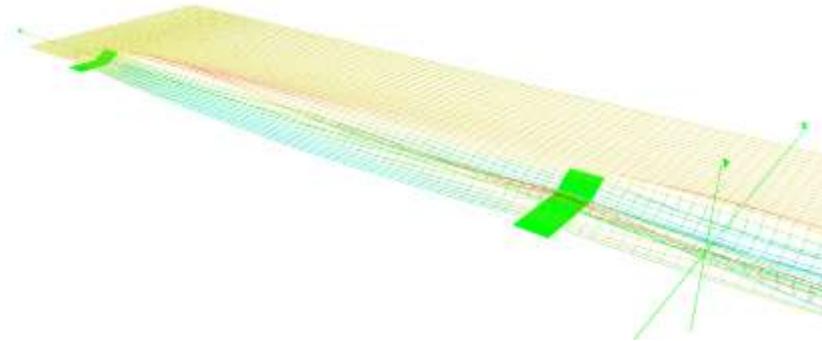


Рис. 2. Изометрическое изображение вихревой поверхности (AUTOWING)



Рис.3. Вид сбоку волновой поверхности (AUTOWING)

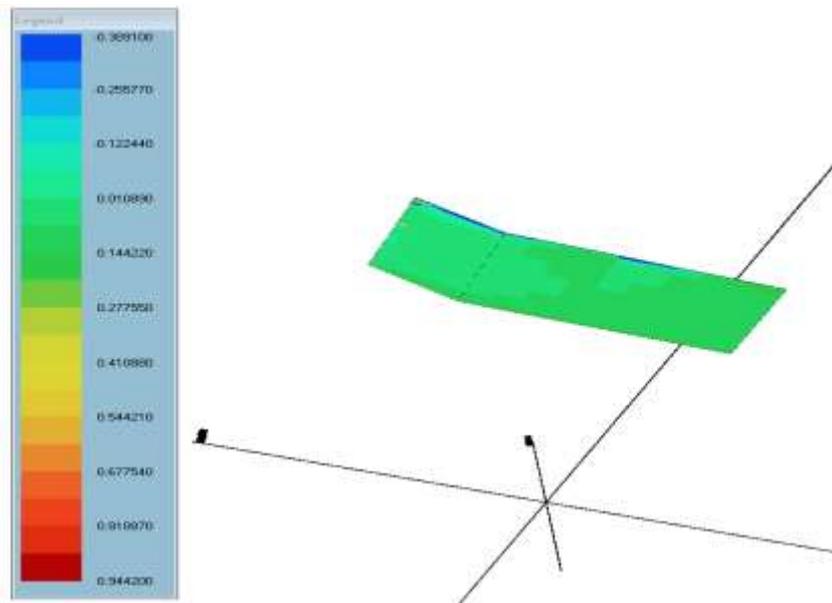


Рис. 4. Распределение давлений по нижней поверхности крыла

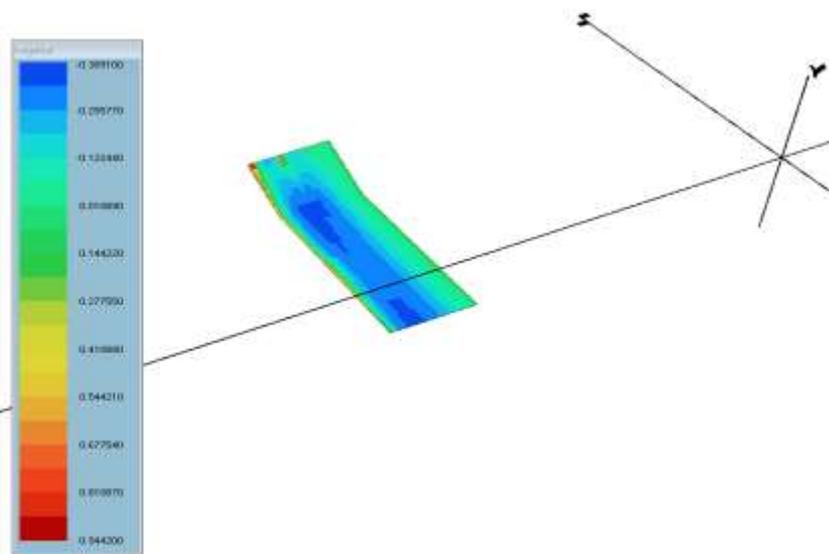


Рис. 5. Распределение давлений по верхней поверхности крыла

Расчеты КУ по описанным выше схемам выполнены с использованием программного комплекса ANSYS Mechanical методом конечных элементов. При создании конечно-элементных моделей (КЭМ) использовались элементы нескольких видов:

1. Для стержневой схемы КЭМ составлена из балочных двухузловых элементов типа BEAM191;
2. При составлении объемной КЭМ были использованы твердотельные 8-узловые элементы типа SOLID191 и пластинчатые 4-х узловые типа SHELL181. Общее число элементов и узлов равно 37791 и 100301 соответственно.

Общий вид конечно-элементных моделей кормового КУ при использовании стержневой схемы показан на рис.6, а при использовании объемной модели – на рис.7. В каждой модели стойки КУ считаются жестко заземленными на корпусе.

В стержневой модели вертикальные нагрузки приложены по нормали к несущим поверхностям, а горизонтальные силы приложены в местах соединения стоек с несущей поверхностью.

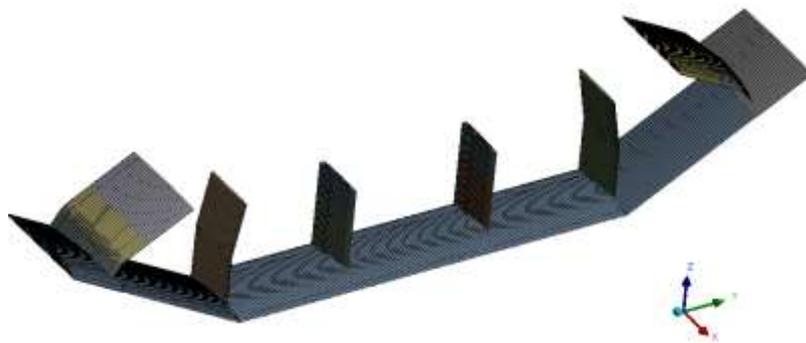


Рис.6. КЭМ стержневой схемы

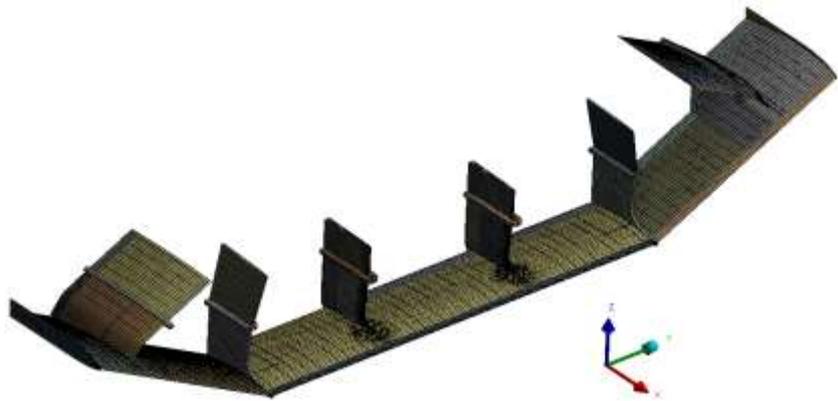


Рис.7. КЭМ объемной схемы

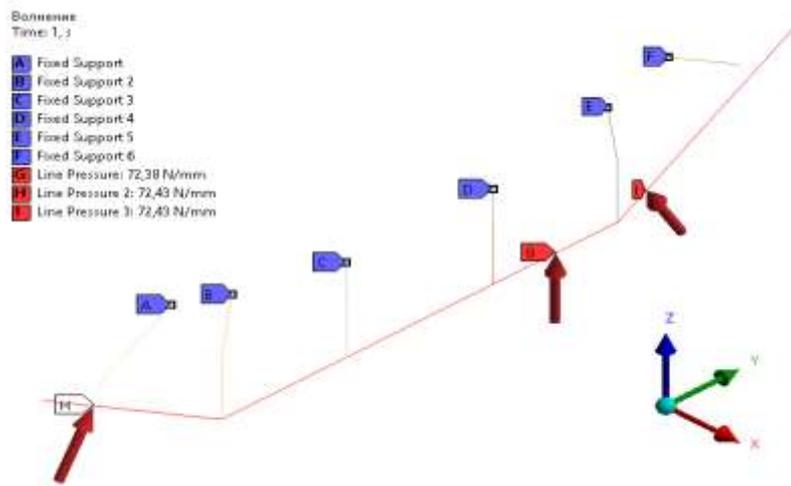


Рис.8. Характер закрепления и нагружения КУ по стержневой схеме на волнении

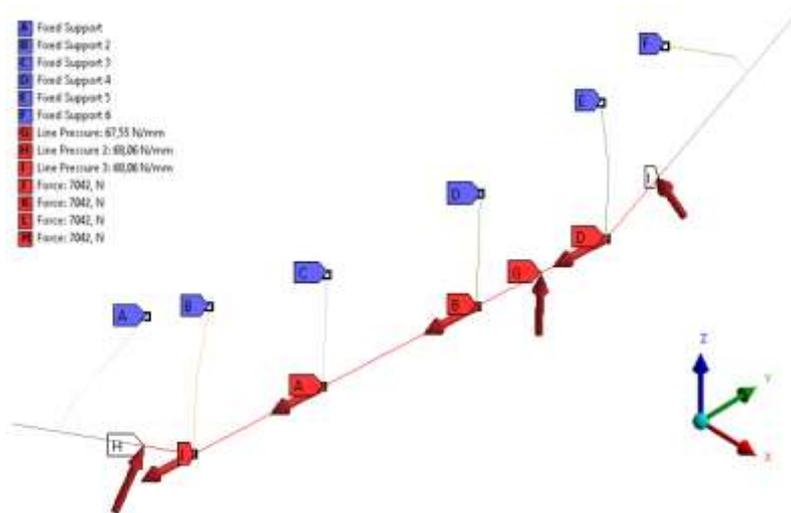


Рис.9. Характер закрепления и нагружения КУ по стержневой схеме на циркуляции

На рис.10 показан характер нагружения объемной модели усилиями, вычисленными в соответствии с ПККО. Из рис. 10 видно, что вертикальные силы заданы по отдельности на горизонтальную и наклонные плоскости, причем задаются они пропорционально погруженным площадям этих плоскостей. Следует отметить, что вертикальные силы распределены по рекомендации [7] на нижнюю и верхнюю части несущей поверхности в долях 40% и 60% соответственно.

На рис.11 и 12 показан характер нагружения объемной модели с использованием значений давлений, полученных с помощью комплекса AUTOWING.

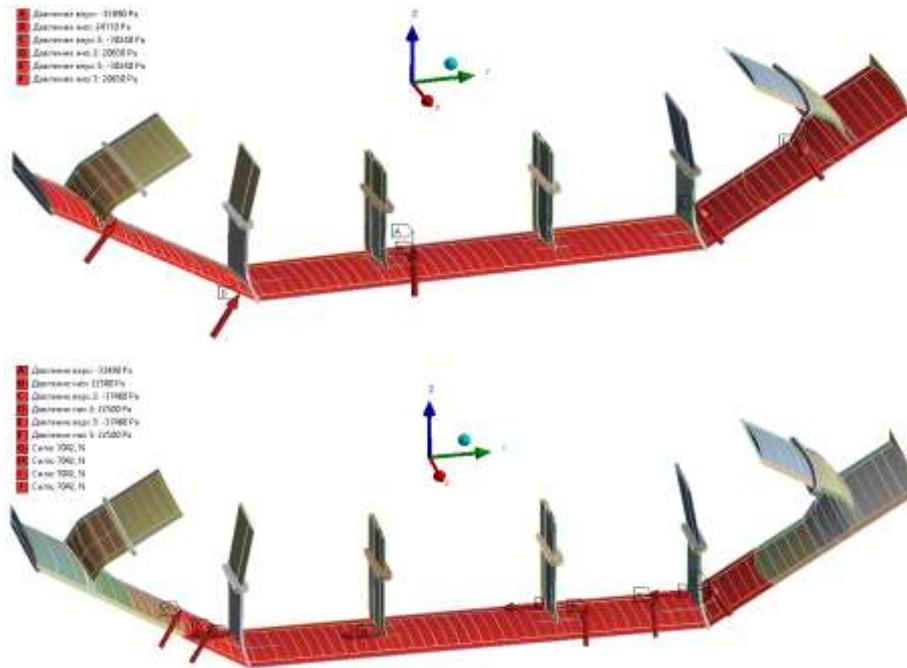


Рис. 10. Характер нагружения объемной модели по ПККО (волнение и циркуляция)

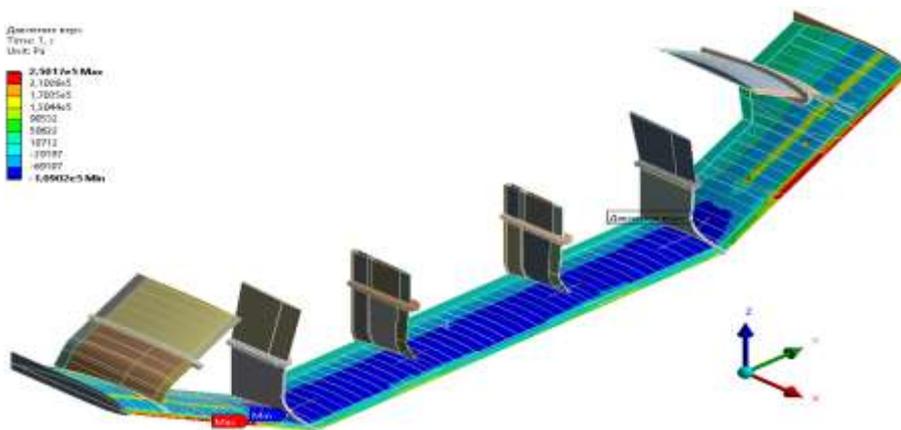


Рис. 11. Характер нагружения объемной модели давлениями, вычисленными с использованием AUTOWING на волнении

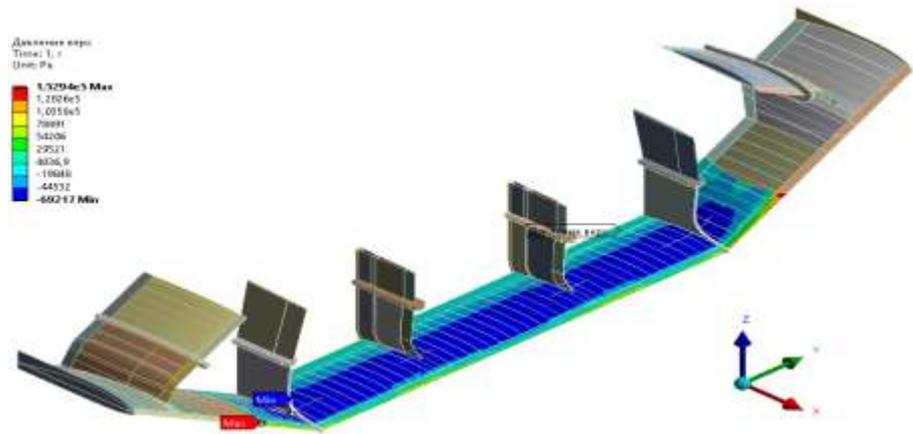


Рис 12. Характер нагружения объемной модели давлениями, вычисленными с использованием AUTOWING на циркуляции

### Результаты расчетов кормового крыла

По результатам расчета получены картины напряженного состояния обеих схем для расчетных случаев волнения и циркуляции по ПРКО и на основании гидродинамического определения нагрузок по AUTOWING. Анализ результатов проводится по эквивалентным напряжениям Губера-Мизеса. Величины максимальных напряжений в элементах кормового крыльевого устройства представлены в таблице 2; распределения полей эквивалентных напряжений для случая нагружения проиллюстрированы на рисунках 13-15.

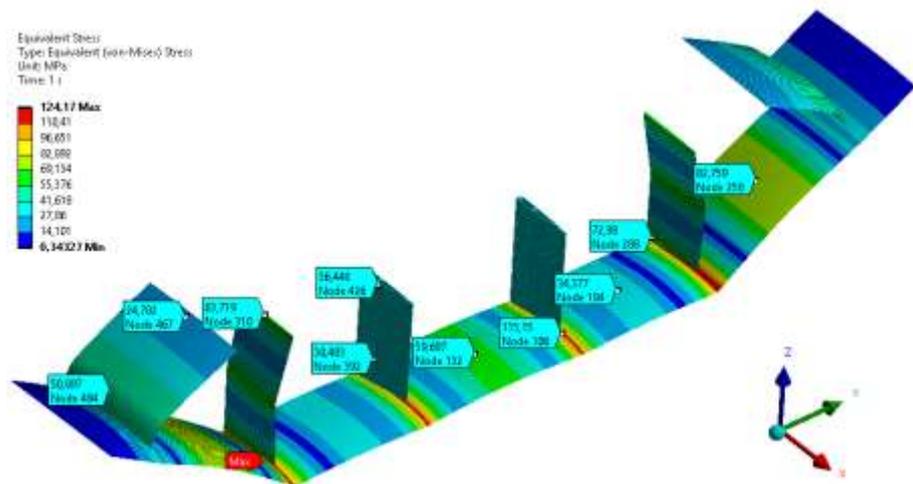


Рис.13. Эквивалентные напряжения стержневой схемы

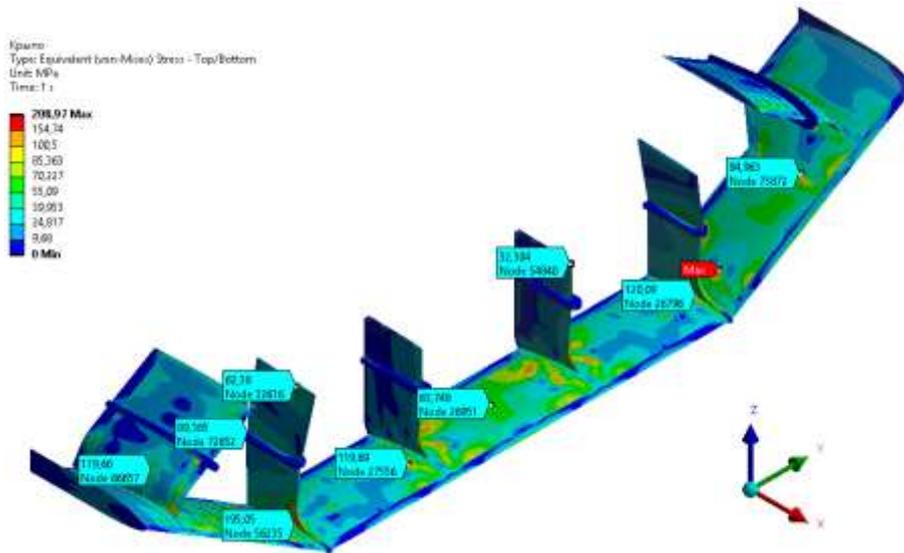


Рис 14. Эквивалентные напряжения объемной схемы по ПРКО

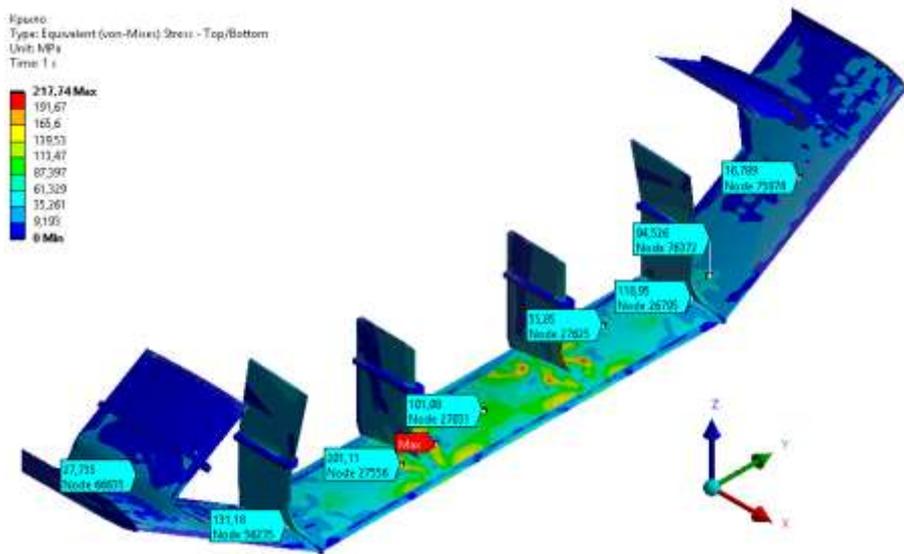


Рис. 15. Эквивалентные напряжения объемной схемы по AUTOWING

Как следует из представленных рисунков, картина распределения напряжений в кормовом КУ существенно отличается для стержневой и объемной схемы. Кроме того, имеется отличие в распределении напряжений для объемной схемы, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой в соответствии с Правилами РКО, и давлениями, вычисленными с использованием AUTOWING в силу сложного распределения последних по поверхности.

Максимальные напряжения в элементах кормового КУ, вычисленные по рассмотренным методикам, представлены в табл.2.

Таблица 2

Максимальные значения эквивалентных напряжений в элементах КУ

Элемент крыла	Методика вычисления нагрузок на КУ					
	Расчет по Правилами РКО [6]				AUTOWING	
	Стержневая схема		Объемная схема		Объемная схема	
	Волнение	Циркуляция	Волнение	Циркуляция	Волнение	Циркуляция
	$\sigma_{max}$ , МПа					
Несущая плоскость	124	126	209	165	218	186
Стойка с водозабором	30	43	155	130	128	136
Днищевая стойка	73	76	144	75	74	43
Боковая стойка	51	50	118	44	75	25
Кронштейн с водозабором	36	36	49	59	55	41
Кронштейн днищевой	64	74	62	59	66	49
Кронштейн боковой	25	35	78	55	15	25

Заключение

В настоящей работе выполнены расчеты прочности двух вариантов расчетных схем кормового крыльевого устройства СПК пр.03830, спроектированного фирмой «SeaTech», с помощью программного комплекса ANSYS. Конструкция крыла у данного судна является объемной, состоящей из обшивки, подкрепленной набором.

Для стержневой схемы нагрузки приняты в соответствии с рекомендациями, содержащимися в Правилах РКО [6]. Для объемной схемы рассмотрены варианты нагружения по ПРКО, а также нагрузки, вычисленные численными методами гидродинамики с использованием компьютерного пакета AUTOWING.

В результате выполненных расчетов показано, что для данной конструкции крыла стержневая схема, рекомендованная Правилами РКО, дает заниженные в 1.6 раза значения напряжений в наиболее нагруженных элементах КУ по сравнению с объемной схемой.

Максимальные напряжения в конструкции КУ вычисленные по объемной схеме с использованием нагрузок, рекомендованных в ПРКО и вычисленных с использованием пакета AUTOWING, отличаются незначительно. Однако, при этом напряжения в отдельных элементах КУ существенно отличаются.

Использование изложенного метода расчета, основанного на объемной конечно-элементной схеме, позволило сократить массу кормового КУ на 13% за счет рационального размещения металла в конструкции.

Список литературы

1. Вахитов М.Б. Расчет крыльевых устройств судов на прочность. / М.Б. Вахитов, М.С. Сафариев, В.Ф. Снигирев. - Татарское книжное издательство, 1975 - 212 с.
2. Зиганченко П.П. Суда на подводных крыльях: конструкция и прочность. / П.П. Зиганченко, Б.П. Кузовенко, И.К. Тарасов. – Ленинград: изд-во «Судостроение», 1981 - 312 с.

3. Колызаев Б.А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания / Б.А. Колызаев, А.И. Косоруков, В.А. Литвиненко – Ленинград: изд-во «Судостроение», 1980 - 472 с.
4. Кузовенков Б.П. Прочность быстроходных судов на подводных крыльях и воздушной подушке / Б.П. Кузовенко – Ленинград: изд-во «Судостроение», 1981 - 99 с.
5. Маттес Н.В. Прочность судов на подводных крыльях./ Н.В. Маттес, А.В. Уткин – Ленинград: изд-во «Судостроение», 1966 - 191с.
6. Российское Классификационное Общество. Правила классификации и постройки судов. Москва, 2022 - 1506с.
7. Российский Морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. Санкт-Петербург, 2023 - 123 с.
8. Гирин С. Н. Сопоставительный анализ требований правил Российского Речного Регистра и Российского морского регистра судоходства к конструкции и прочности судов на подводных крыльях / С.Н. Гирин // Научн. проблемы. водн. трансп. -2021. - №68(3) – С. 28 - 38. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.201>.
9. Болотин А.А. Применение метода дискретных вихрей для исследования подводных крыльев /А.А. Болотин // Труды Нижегород. гос. тех. унив. им. Р.Е. Алексеева – 2015. - №3(110) С. 210-213.
10. Корнев Н.В., Метод вихревых частиц и его приложение к задачам гидродинамики корабля: дисс. на соиск. уч. ст. докт. техн. наук: 01.02.05: защищена 22.12.1998 / Корнев Николай Владимирович. - Санкт-Петербург. – 1998. - 254 с

#### References

1. Vakhitov M.B. Raschet kryl'evykh ustroystv sudov na prochnost'. / M.B. Vakhitov, M.S. Safariev, V.F. Snigirev. - Tatarskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1975 - 212 s.
2. Ziganchenko P.P. Suda na podvodnykh kryl'yakh: konstruktsiya i prochnost'. / P.P. Ziganchenko, B.P. Kuzovenko, I.K. Tarasov. – Leningrad: izd-vo «Sudostroenie», 1981 - 312 s.
3. Kolyzaev B.A. Spravochnik po proektirovaniyu sudov s dinamicheskimi prin-tsipami podderzhaniya / B.A. Kolyzaev, A.I. Kosorukov, V.A. Litvinenko – Leningrad: izd-vo «Sudostroenie», 1980 - 472 s.
4. Kuzovenkov B.P. Prochnost' bystrokhodnykh sudov na podvodnykh kryl'yakh i voz-dushnoi podushke / B.P. Kuzovenko – Leningrad: izd-vo «Sudostroenie», 1981 - 99 s.
5. Mattes N.V. Prochnost' sudov na podvodnykh kryl'yakh./ N.V. Mattes, A.V. Utkin – Leningrad: izd-vo «Sudostroenie», 1966 - 191s.
6. Rossiiskoe Klassifikatsionnoe Obshchestvo. Pravila klassifikatsii i po-stroiki sudov. Moskva, 2022 - 1506s.
7. Rossiiskii Morskoi Registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i po-stroiki vysokoskorostnykh sudov. Sankt-Peterburg, 2023 - 123 s.
8. Girin S. N. Sopostavitel'nyi analiz trebovaniy pravil Rossiiskogo Rechnogo Registra i Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva k konstruktсии i prochnosti sudov na podvodnykh kryl'yakh / S.N. Girin // Nauchn. problemy. vodn. трансп. -2021. - №68(3) –С. 28 - 38. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.201>.
9. Bolotin A.A. Primenenie metoda diskretnykh vikhrei dlya issledovaniya podvodnykh kryl'ev /A. A. Bolotin // Trudy Nizhegorod. gos. tekhn. univ. im. R.E. Alekseeva – 2015. - №3(110) С. 210-213.
10. Kornev N.V., Metod vikhrevykh chastits i ego prilozhenie k zadacham gidrodina-miki korablya: diss. na soisk. uch. st. dokt. tekhn. nauk: 01.02.05: zashchishchena 22.12.1998 / Kornev Nikolai Vladimirovich. - Sankt-Peterburg. – 1998. - 254 s

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

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

**Girin Stanislav Nikolaevich**, Ph.D. in Engineering Science, Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950, e-mail: girin.sn@vsuwt.ru

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

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

Статья поступила в редакцию 10.04.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 10.04.2024; published online 20.06.2024.

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi79.474

## **Перспективы использования хаусботов и плавучих домов в Приморском крае**

**М.В. Китаев**<sup>1</sup>

*ORCID: 0000-0001-5345-6333*

**Н.Р. Дмитриева**<sup>1</sup>

**И.А. Новосельцев**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*

**Аннотация.** В настоящей статье приводятся результаты исследования, направленного на анализ возможностей и условий использования хаусботов и плавучих домов в Приморском крае. Выполнена оценка динамики туристического потока в Приморском крае за последние десять лет. Приведена краткая история и указаны причины появления и использования плавучих домов. Рассмотрены основные архитектурно-конструктивные типы, конструктивные особенности, системы жизнеобеспечения, особенности их внутреннего насыщения и планировки. Предложена классификация плавучих домов по разным признакам. Рассмотрены современные системы и технологии, обеспечивающие автономность и энергонезависимость рассматриваемых объектов. Отмечены особенности эксплуатации, содержания и периодического обслуживания плавучих домов разных типов в различные периоды их эксплуатации. Проанализированы региональные, природные и гидрометеорологические особенности Приморского края, способствующие и затрудняющие использование подобных объектов для развития морского и островного туризма в регионе. Результаты работы являются частью исследования, направленного на развитие морского транспорта и островного туризма, доступности удаленных территорий и повышение эффективности транспортно-логистической системы региона.

**Ключевые слова:** плавучий дом, хаусбот, классификация, конструктивные особенности, эксплуатация и обслуживание.

## **Prospects for the houseboats and floating houses operation in Primorsky region**

**Maksim V. Kitaev**<sup>1</sup>

*ORCID: 0000-0001-5345-6333*

**Natalia R. Dmitrieva**<sup>1</sup>

**Igor A. Novoseltcev**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

**Abstract.** The article presents the results of a study the possibilities and necessary conditions for the use of houseboats and floating houses in the Primorsky region. It is shown the dynamics and general tendencies of the tourist flow in the Primorsky region over the past ten years. A brief history of floating houses appearance and respective reasons are shown. The architectural and structural types, design features, life support systems, features of their internal saturation and layout are considered. A classification of floating houses according to various criteria is proposed. Modern systems and technologies that ensure autonomy and energy independence of these objects are considered. The operation features, maintenance and periodic repair specifics of floating houses of different types during different periods of their operation are noted. The regional, natural and hydrometeorological features of the Primorsky region facilitating and complicating the use of these objects for the development of sea and island tourism are analyzed. The results of the work are part of a study aimed to the development of maritime transport technology and marine tourism, accessibility of

remote areas and increasing the efficiency of the transport and logistics system of the Primorsky region taken as a whole.

**Keywords:** houseboat, classification, design features, operation and maintenance.

**Введение**

Ужесточение правил посещения зарубежных стран в период санкционных и коронавирусных ограничений привело к переориентации туристических потоков на внутренние направления. В сложившейся ситуации туризм необходимо рассматривать как движущую силу, способствующую социально-экономическому развитию регионов РФ.

Приморский край имеет достаточно протяженную береговую линию, множество живописных бухт и островов, расположенных в заливе Петра Великого [1, 2]. Острова и многочисленные бухты в совокупности с уникальной флорой и фауной являются перспективным направлением в развитии морского туризма и обеспечивают большой потенциал Приморью в сравнении с другими регионами ДВФО. Кроме того, острова не относятся к пограничной зоне и ограничения для их посещения иностранными туристами отсутствуют. Для реализации имеющегося потенциала в Приморском крае реализуются ряд программ: «Развитие туризма в Приморском крае на 2020 - 2027 годы», «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года», «Экономическое развитие и инновационная экономика Приморского края» и др.

С 2012 года (после проведения первого Восточного экономического форума в г. Владивостоке) в Приморском крае наблюдается устойчивая тенденция к росту туристического потока. При этом, помимо роста внутреннего турпотока (особенно поле снятия коронавирусных ограничений) наблюдается увеличение числа туристов из стран АТР (Китай, Японии, Республики Корея и др.) [4]. В результате обработки информации из открытых источников получены и представлены ниже данные, характеризующие динамику туристического потока в Приморском крае в период с 2012 по 2023 гг. (см. табл. 1).

*Таблица 1*

**Динамика туристического потока в Приморском крае, млн. чел.**

Годы	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Общий турпоток	0,813	1,47	2,50	2,75	3,00	4,20	4,80	5,10	0,97	2,80	2,98	3,50
Иностранцы	0,095	0,103	0,280	0,465	0,570	0,640	0,770	0,763	0,045	0,056	0,005	0,133

Значительное увеличение количества иностранных туристов в период с 2012 по 2020 гг. связано заходами в порт Владивосток круизных лайнеров: Legend of Seas, Nippon Maru, MS Ocean Dream, Diamond Princess, Silver Discoverer, Pacific Venus, Costa Victoria, Artania и др., пассажировместимость которых составляет от 1,5 до 4,7 тыс. Приморский край вполне можно рассматривать как центр международного сотрудничества России в странах АТР, как на внутреннем, так и международном рынке. Т.е. имеются очевидные предпосылки к развитию туристической отрасли и транспортной инфраструктуры региона.

Плавучие дома - это стационарные или буксируемые плавучие объекты, а также самоходные их варианты - хаусботы (от англ. House Boat – лодка дом) представляют новое, перспективное направление в развитии морского туризма в Приморском крае.

Хаусботы и плавучие дома (в меньшей степени) позволяют не привязываться к конкретному месту отдыха, а сменить его при необходимости. Простота конструкции, энергонезависимость делают их приемлемой альтернативой в сравнении с дорогостоящим катерами и яхтами, а локализация процессов проектирования,

постройки и обслуживания таких объектов положительно отразится на загруженности небольших судостроительных и судоремонтных предприятий региона.

Цель настоящего исследования заключается в обобщении и систематизации информации, касающейся опыта и особенностей применения плавучих домов для проживания и отдыха людей на воде, а также в рассмотрении перспектив их использования в Приморском крае в рамках реализации федеральных и региональных программ, направленных на развитие туризма в регионе.

### **История появления**

Плавучий дом как хаусбот представляет собой плавучее инженерное сооружение специально спроектированное или переоборудованное из уже существующего судна, оснащенное различными техническими средствами и инженерными системами, обеспечивающими комфортное, долговременное проживание людей на воде.

Исторически сложилось так, что плавучие дома наиболее широкого распространение получили в Европе, США, Канаде, Финляндии, Индии и др. странах. Например, в Европе плавучие дома имеют конкретное место расположения на воде и им присваивают официальный адрес [9]. В Великобритании для проживания и организации комфортных экскурсий вдоль берегов Темзы переоборудуют старые баржи [19]. Современные плавучие дома оборудуются и оснащаются не хуже, чем полноценные дома, возводимые на земле.

Причина появления плавучих домов в Европе состоит в том, что изначально в таких домах жили те, кто не мог приобрести или построить полноценное жилье на суше ввиду дороговизны земельных участков. Однако со временем иметь плавучий дом стало модно, престижно и достаточно дорого. Так, в цена плавучего дома с современным дизайном и внутренним насыщением площадью около 100 м<sup>2</sup> лежит в пределах 180 - 400 тыс. евро (и более), в зависимости от технического состояния и его местоположения. Стоимость двухэтажного благоустроенного плавучего дома может достигать 500 - 600 тыс. евро, а подержанного дома без места 100 тыс. евро [9].

### **Конструктивные особенности**

Для обеспечения комфортного, долговременного проживания людей размеры традиционных морских судов и прогулочных яхт должны быть достаточно велики, что не позволяет использовать их для отдыха в небольших закрытых и мелководных бухтах.

Внешняя архитектура, планировка, общее расположение, а также геометрические характеристики плавучих домов находятся в диапазоне между небольшим традиционным домом и маломерным морским судном (пассажиروместимость считается по количеству спальных мест до 12 чел., а длина менее 20 м), содержат характерные черты того и другого объекта, при этом не повторяют в полном объеме архитектуру ни того ни другого.

Чаще всего плавучие дома и хаусботы рассчитаны на эксплуатацию во внутренних водоемах (реках и озерах) либо в прибрежных морских зонах с относительно спокойным ветроволновым режимом (волны - не более 1,2 м, а ветер - не более 15 м/с), скорость их движения обычно не превышает 5 - 7 уз.

Таким образом, назначение, район и условия эксплуатации плавучего дома во многом определяют его архитектурно-конструктивные особенности, качество отделки и степень утепления, необходимость смены местоположения, тип и форму плавучего основания, возможность контакта и посадки на грунт и др.

В странах Европы большинство плавучих домов не имеют движителя, поскольку пришвартовываются к причальной стенке или стоят неподвижно в определенном месте на воде и связаны с береговыми коммуникациями для обеспечения бытовых нужд. Однако существуют и автономные плавучие дома, в которых активно

используются современные достижения науки и техники: электроэнергетические установки, работающие на возобновляемых источниках энергии, опреснители, инсинераторы и др. Так, для выработки электроэнергии используют комбинированные системы включающие солнечные панели и ветрогенераторы с генераторами переменного тока высокой мощности, бензо- и дизель-генераторы, которые используют в случае нехватки энергии ветра и солнца. Комбинация различных источников генерации энергии позволяет обеспечивать базовые потребности проживающих и практически не зависеть от погодных условий.

В зависимости от назначения плавучие основания таких домов могут иметь различную форму и обводы, а также построены из различных материалов (рис. 1) [19]. Самым бюджетным и простым в конструктивном исполнении вариантом являются плавучие дома на понтонах, в качестве которых применяют трубы, баллоны или специальные плавучие блоки. Такие дома, как правило, являются стационарными и для установки на место, требуют использования буксира, но иногда их оборудуют подвесными моторами (рис. 1 г). Преимущества понтонной конструкции состоят в простоте изготовления и обслуживания, доступности и малой стоимости материалов, а к недостаткам можно отнести плохие мореходные качества. На месте такие дома удерживаются якорями, крепятся к сваям, забитым в дно или берегу. Такой подход к позиционированию обеспечивает устойчивую фиксацию плавучего дома на определенном месте.

Для повышения мореходных и ходовых качеств плавучих домов применяют судовые обводы. Для этих целей чаще всего используют старые баржи или проектируют основание с упрощенными обводами, похожими на обводы барж (рис. 1 а). Примером является плавучий дом баржевого типа модели VOJAGE 1500eco, построенный в Калининграде и предназначенный для круглогодичной (по заявлению проектанта) эксплуатации и длительных путешествий, в том числе и в сложных навигационных условиях (рис. 1 е). Он имеет водоизмещение более 22 тонн, длину корпуса 15 м, ширину 5 м, перемещается посредством электродвижения, имеет подруливающее устройство и специально спроектированные обводы корпуса, допускающие посадку на грунт [8, 17].

К преимуществам плавучих домов баржевого типа можно отнести неплохие ходовые качества, остойчивость, управляемость и маневренность. Тем не менее специально спроектированный плавучий дом гораздо удобнее и эргономичнее в сравнении с переоборудованными старыми баржами.

Разновидностью плавучих домов являются хаусботы (плавучие дома с судовыми обводами, например, катамаранного типа) имеющие один или несколько ярусов надстройки, автономные системы жизнеобеспечения, энергетическую установку, подруливающее устройство, движители и способные самостоятельно перемещаться по воде (рис. 1 б).

Еще один вид — это дебаркадеры, представляющие собой железобетонную платформу, в некоторых случаях покрытую металлической обшивкой (рис. 1 в). Первоначально такие конструкции использовались в качестве временных пристаней для посадки-высадки пассажиров и погрузки-разгрузки судов, но в настоящее время их чаще всего используют под плавучие кафе, рестораны и гостиницы. Собственной системы движения они не имеют.

В качестве оснований современных плавучих домов часто используют корпуса катамаранного типа (рис. 1 д), имеющие большую полезную площадь (в 2 - 3 раза) по сравнению с аналогичным по длине однокорпусным судном. Преимуществами такой конструкции являются площадь палубы, малая осадка, ходовые качества и остойчивость.

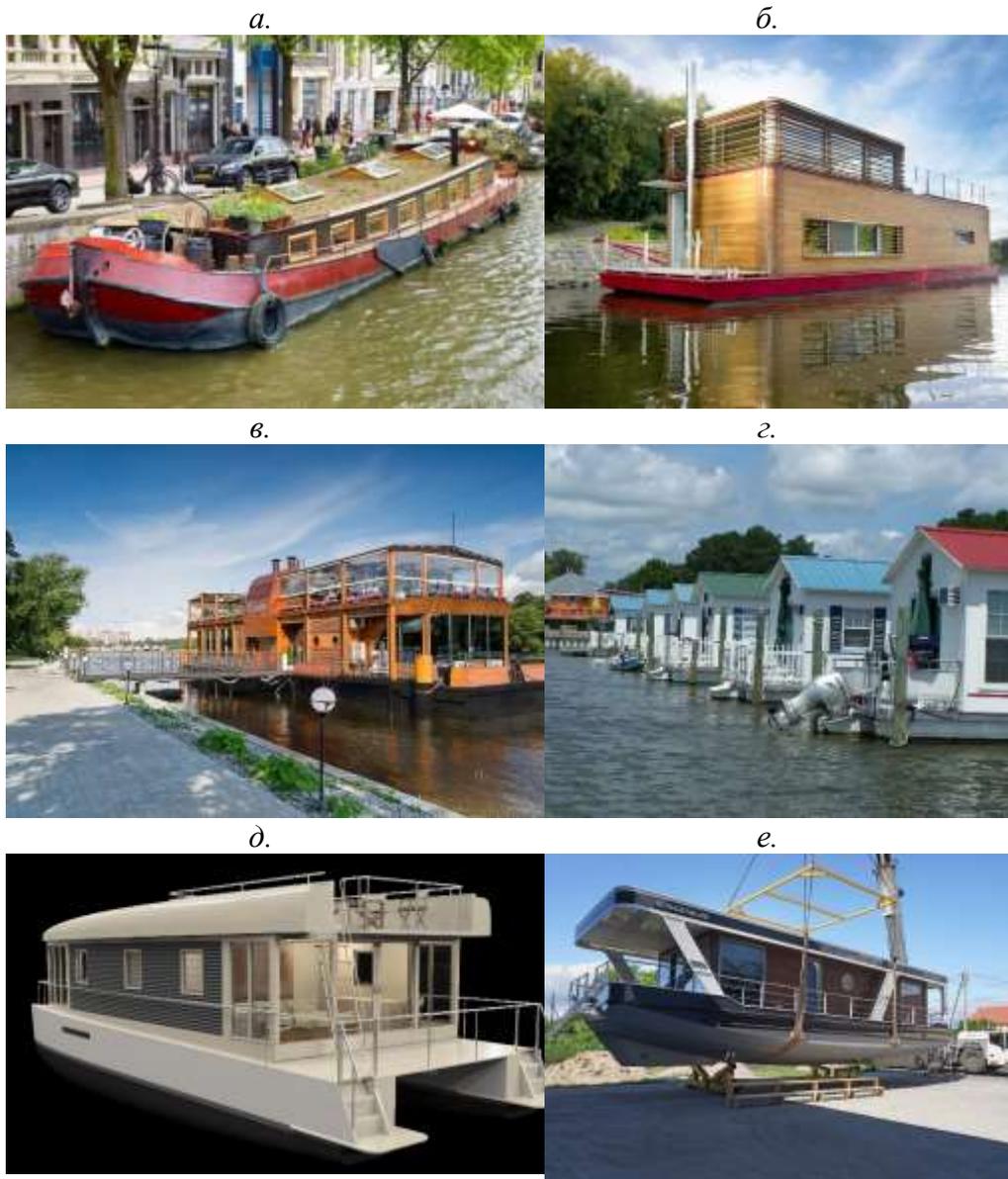


Рис.1. Виды плавучих домов

а - баржа-дом; б – хаусбот; в – дебаркадер; г – с понтонным основанием; д – с обводами катамаранного типа; е – с упрощенными обводами и возможностью посадки на грунт

Верхнее строение плавучих домов обычно делают каркасной конструкции с последующим утеплением, зашивкой и отделкой качественными теплоизолирующими, влаго- и звукопроницаемыми декоративными материалами. При этом необходимо отметить, что конструкция плавучего дома должна быть выполнена как с учетом безопасности на воде, так и с учетом требований строительных норм и правил, применяемых при строительстве жилых или коммерческих объектов.

Благодаря использованию современных отделочных материалов плавучие дома вместимостью от 6 до 12 человек имеют осадку всего 0,50 - 0,75 м, что позволяет им

причаливать к берегу практически в любом месте. Для обеспечения непотопляемости понтоны разделены поперечными переборками, а в некоторых случаях заполнены пенополиуретаном. Для посадки на грунт предусматриваются специальные конструктивные элементы, расположенные вдоль днища.

Выбор архитектурно-конструктивного типа и проектных характеристик во многом зависит от назначения, района и условий эксплуатации плавучего дома. Так, например, ГИМС в соответствии с классификацией бассейнов, а также в зависимости от особенностей конструкции, мореходных качеств и технического состояния каждому судну присваивает категорию сложности района плавания (от I до IV) [10]. Аналогичные категории (от А до D) присваиваются плавучим средствам, создаваемым и продаваемым на территории Евросоюза с целью обеспечения единого уровня безопасности при разработке и производстве маломерных судов [20].

### Классификация

Как и для обычных морских судов классификация плавучих домов может быть выполнена по различным признакам, которые учитывают назначение, конструкцию, принцип и возможность перемещения по акватории и др. Предлагаемая в настоящей статье классификация представлена на рис. 2.



Рис.2. Классификация плавучих домов

По назначению плавучие дома подразделяют – для туризма и сезонного отдыха, длительного (круглогодичного) проживания, коммерческого использования (плавучие гостиницы, кафе, бары и рестораны).

По принципу движения - самоходные и несамоходные (стационарные или буксируемые).

По конструкции и форме корпуса основания плавучих домов бывают – судового типа (в том числе баржи), понтоновые (в том числе дебаркадеры) и катамаранного типа.

По материалу корпуса – стальные, алюминиевые, композитные. В отдельных случаях встречаются бетонные, пластиковые и деревянные основания плавучих домов.

По району эксплуатации – озерные, речные и морские.

По количеству ярусов верхнего строения – одно- и многоярусные.

По наличию на борту систем энерго- и жизнеобеспечения – автономные и неавтономные.

В целом, классификация является важным инструментом для определения подходящего архитектурно-конструктивного типа и проектных характеристик плавучего дома. Конечный выбор должен основываться на соответствии технических характеристик и общего дизайна создаваемого объекта заданным требованиям и

ожиданиям заказчика, цели его использования, располагаемому бюджету и региональным особенностям.

### **Внутреннее насыщение и планировка**

Дизайн плавучих домов — это новое направление в судостроении, архитектуре и строительстве, ориентированное на достижение гармонии в сочетании комфорта, безопасности, надежности и чувства природы. Основные принципы дизайна плавучих домов включают в себя использование экологичных материалов, компактность и функциональность планировки, а также применение современных технологий для обеспечения энергоэффективности и комфорта. Внутреннее насыщение зависит от нескольких факторов, важнейшим из которых является рациональное использование внутреннего пространства, т.к. плавучие дома имеют ограниченную площадь, важно использовать ее максимально эффективно.

Как правило, в плавучем основании или корпусе, имеющем судовые обводы, размещают запасы пресной воды и топлива, генератор и аккумуляторные батареи, пропульсивную установку и средства управления движением, цистерны сбора сточных вод. В жилой надстройке размещаются гостиная, кухня, спальня, санузел и другие помещения необходимые для комфортной жизни на воде. Верхний ярус надстройки часто используют как дополнительное пространство для отдыха. Уровень комфорта, напрямую влияет на конечную стоимость. В результате анализа существующих проектов плавучих домов определены наиболее часто встречающиеся помещения, определяющие их планировку [15]:

Гостиная, совмещенная с кухней - самое просторное помещение, объединяющее функции гостиной, столовой и кухни в общей зоне.

Спальня представляет собой небольшое помещение, оснащенное кроватями, шкафами, столиками и другой мебелью.

Ванная комната со всеми необходимыми принадлежностями, и предметами интерьера включая душевую кабину (реже) ванну, зеркало, полочки, вешалки и стеллажи под одежду.

Терраса – представляет собой просторное открытое пространство для отдыха на свежем воздухе, в зависимости от конструкции плавучего дома расположенное на главной палубе или верхнем ярусе надстройки.

Технические помещения как правило предназначены для размещения систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, электрооборудования и другой техники.

Гардеробные и кладовые предназначены для хранения одежды, обуви и других вещей.

Стационарные плавучие дома (предназначенные для длительного проживания) часто оборудуют кабинетами или рабочей комнатой, предназначенной для работы или учебы проживающих.

Планировка и насыщение внутренних помещений плавучих домов могут значительно отличаться в зависимости от индивидуальных предпочтений и потребностей их владельца. Ниже показаны примеры внутренней планировки нескольких проектов плавучих домов.

Так, общая площадь плавучего дома, показанного на рис. 3 составляет 130 м<sup>2</sup> при габаритных размерах 14,2 × 5,0 м, скорость хода до 7 уз. при суммарной мощности двух подвесных моторов 60 л.с. [6].



Рис. 3. Внешний вид и внутреннее оснащение плавучего дома «FreeDom 50»

На рис. 4 показана концептуальная модель морской версии плавучего дома с основанием катамаранного типа «Baikal 16» 4 каюты, гостиную с постом управления движением и кухню (совмещенную со столовой). Проектные характеристики: длина 17,40 м, ширина 7,0 м, осадка 1,20 м, площадь помещений 176 м<sup>2</sup>, вместимость 12 чел., скорость хода 12 уз. при двух ГД мощностью по 180 л.с. [18].



Рис. 4. Плавучий дом катамаранного типа «Baikal 16»

На рис. 5 показан проект плавучего дома с судовыми обводами «Lodka Haus LH 112», предназначенного для использования на внутренних водоемах, и имеющего следующие проектные характеристики: длина 11,0 м, ширина 3,96 м, осадка 0,50 м, вместимость 6 чел., скорость хода до 11 уз. при двух двигателях мощностью по 60 л.с. каждый [15].



Рис.5. Проект «Lodka Haus LH 112»

Существуют проекты плавучих домов с несколькими ярусами надстройки (2 – 4), но такие дома являются либо стационарными, либо имеют ограничения по условиям и районам эксплуатации ввиду значительных размеров, большей осадки и площади парусности.

Подводя итог можно сказать, что одноярусные плавучие дома — это компактные сооружения, как правило самоходные и реже буксируемые, предназначенные для отдыха небольших групп людей, имеющие ограниченное полезное пространство и количество помещений, включающих лишь базовые удобства. Тогда как многоярусные плавучие дома могут иметь дополнительные помещения для более комфортного и длительного проживания (бассейн, сауну, кинозал и др.). Каждый из рассмотренных типов плавучих домов имеет свои преимущества и недостатки.

### **Системы жизнеобеспечения**

В зависимости от назначения и района эксплуатации плавучие дома могут иметь как автономные системы жизнеобеспечения, так и подключаться к береговым сетям и коммуникациям. Привязка к береговым коммуникациям практически не ограничивает проживающих в воде, электричестве, других видах энергии и ресурсах. В свою очередь автономность позволяет не привязываться к конкретному месту, а выбирать его исходя из погодных условий и имеющихся предпочтений. Для обеспечения автономности на плавучих домах устанавливаются следующие виды оборудования и системы:

1. Система электроснабжения. Для выработки электричества используют портативные бензиновые и дизель генераторы, солнечные панели и ветрогенераторы. Дизельгенераторы позволяют вырабатывать электроэнергию независимо от погодных условий. Солнечные панели вырабатывают электроэнергию в среднем 5–7 часов в день и обеспечивают максимальную мощность только в ясную солнечную погоду. Панели устанавливаются на верхних ярусах надстройки, либо специальных платформах. Ветрогенераторы могут вырабатывать электроэнергию как днем, так и ночью, а устанавливаются на специальных мачтах, жестко соединённых с основанием. Их эффективность зависит от скорости и направления действия ветра [21].

2. Система водоснабжения. Самый простой вариант состоит в оснащении плавучего дома встроенными цистернами пресной (питьевой и технической) воды. Однако могут устанавливаться системы сбора дождевой, очистки и фильтрации (с активированным углем или ультрафиолетовыми лампами для уничтожения бактерий и вирусов) заборной воды - мобильные опреснительные установки.

3. Система канализации, сбора и очистки льяльных вод. Для этого используют как накопительные цистерны, так и компактные станции биологической очистки.

4. Система сбора, хранения и переработки твердых и пищевых отходов. Для этих целей используют как герметичные накопительные емкости и вкладные цистерны, так и мобильные инсинераторные установки, предназначенные для термической утилизации отходов.

5. Система отопления и кондиционирования воздуха. Чаще всего для этих целей используют бытовые кондиционеры или теплый пол, а в некоторых случаях сжиженный природный газ.

6. Система безопасности. Многоярусные дома, предназначенные для длительного проживания, могут оснащаться системами видеонаблюдения, датчиками дыма, системами тревожной сигнализации и др.

7. Телекоммуникационные системы. Обеспечивают связь с внешним миром - интернет, телефон и телевидение. В последнее время плавучие дома, предназначенные для длительного проживания, оснащают системой управления «умный дом» с подключением к сети Интернет, что обеспечивает дистанционное управление и взаимодействие различных систем жизнеобеспечения и безопасности между собой.

Помимо вышеперечисленных самоходные плавучие дома в обязательном порядке должны быть оборудованы судовыми системами (осушительная, водоотливная, балластная, противопожарная, сточно-фановая, топливная, масляная и др.) и устройствами (рулевое, якорное, швартовное, подруливающее и др.), а также системой автоматизации управления судном для повышения безопасности мореплавания.

### **Особенности эксплуатации и обслуживания**

Так как плавучий дом представляет собой плавучее инженерное сооружение или маломерное судно (если является самоходным), то для его использования в обязательном порядке необходимо иметь удостоверение на право управления маломерным судном, выдаваемое ГИМС, а сам объект должен быть поставлен на учет и периодически проходить технический осмотр и ремонт (раз в 3 - 5 лет), для этого его необходимо периодически перегонять на территорию ремонтной базы и поднимать из воды. После чего производят очистку корпуса (плавучего основания) от ракушек и микроорганизмов, затем проводят диагностику и оценку технического состояния корпуса и всех судовых систем.

Буксировку к месту установки и сезонного пребывания, текущее обслуживание и ремонт плавучих домов их владельцы осуществляют самостоятельно, либо по договору, заключаемому с фирмой-строителем или другими специализированными фирмами и организациями, специализирующимися на характерных видах деятельности.

Стационарные и несамоходные (буксируемые) плавучие дома с бетонным основанием не подвержены коррозии в отличие от стальных и доставляют меньше хлопот в эксплуатации своим владельцам. В последнее время в качестве плавучих оснований используют поплавки из полиэтилена или стеклопластика, заполненного пенополиуретаном. Такие материалы являются более дешевыми и простыми в постройке, обслуживании и эксплуатации.

В зимний период плавучие дома (за исключением бетонных оснований) необходимо вытаскивать на берег во избежание повреждения плавучего основания льдом, что предполагает наличие участка земли для сезонного хранения и обслуживания. Стационарные сооружения для зимовки необходимо располагать в бухтах не подверженных значительным ветроволновым воздействиям и активному движению льдин в период таяния льда (ледохода), а также местах, в которых находясь на плаву они не создавали помех и проблем для судоходства или другой промышленной деятельности.

### **Гидрометеорологические особенности Приморского края**

Приморский край является перспективным регионом в плане развития морского туризма национального и международного уровня [11]. Множество живописных бухт и островов (всего около 40 ед.), расположенных в заливе Петра Великого (рис. 6) открывают новые возможности и перспективы для развития морского и островного туризма в Приморском крае. Самые крупные острова Русский, Попова, Рикорда, Рейнеке и Шкота пользуются большой популярностью у местных жителей и туристов. Потенциал других островов ввиду удаленности от материковой части пока не используется, т.к. добраться до них можно только на пароме, морском такси или собственном катере.

Климат, разнообразие флоры и фауны условия Приморья делают его привлекательным как для отдыха и туристических путешествий, так и для научных исследований. Плавучие дома могут стать идеальным средством в создании комфортных условий для сезонного отдыха, проживания и посещения живописных бухт и островов.



Рис. 6. Залив Петра Великого

Климат залива Петра Великого определяется муссонной циркуляцией атмосферы. Среднегодовое количество осадков в районе столицы Приморского края г. Владивостока достигает 830 мм, 85 % из них приходится на летний период. Средняя годовая температура воздуха равна примерно 6 °С, самым холодным месяцем является январь (-16 ÷ -17 °С), теплым – август (+ 20 ÷ + 21 °С) [5, 12]. На рис. 7 показаны графики изменения средней температуры воды и воздуха в заливе Петра Великого [14, 16].

а.



б.



Рис. 7. График изменения средней температуры воды (а) и воздуха (б) по месяцам в градусах Цельсия, °С

На рис. 8 показаны средние значения скоростей ветра и солнечная инсоляция в различных регионах Российской Федерации (РФ) [16]. Так, в Приморском крае среднегодовые значения скоростей ветра лежат в диапазоне 6 - 7 м/с, а уровень инсоляции является одним из самых высоких в РФ и составляет 5,5 кВт·ч/м<sup>2</sup> (в среднем в столице Приморья 269 солнечных дней в году) [7, 3].

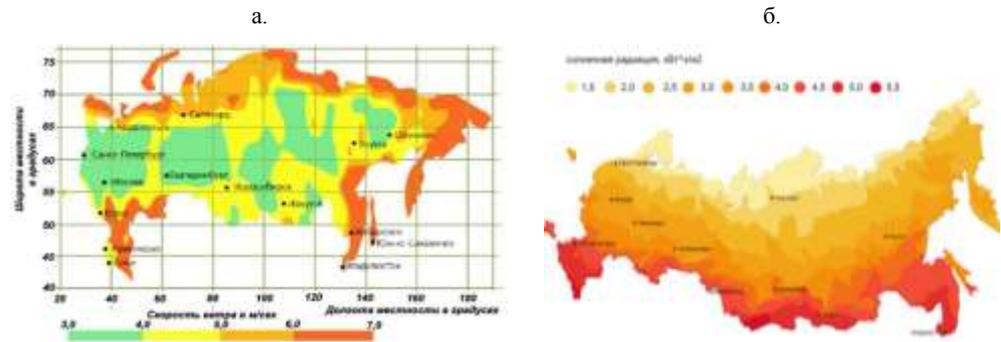


Рис. 8. Среднегодовые значения скоростей ветра (а) и солнечной инсоляции (б) в различных регионах РФ

Анализ климатических условий Приморского края показывает, что от четырех до шести месяцев в году использование плавучих домов для сезонного отдыха и проживания является целесообразным и вполне комфортным, подходят с точки зрения использования перспективных энерготехнологий, основанных на использовании возобновляемых источников энергии. Три месяца (с середины июня по середину сентября) наиболее благоприятны с точки зрения сочетания температур воды и окружающего воздуха (июнь – август - самый теплый сезон, температура воздуха достигает  $+20^{\circ}\text{C} \div +30^{\circ}\text{C}$ ).

Холодный период, когда средняя суточная температура воздуха опускается ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , в среднем составляет от 130 до 133 дней в году, и как правило, длится с 15 ноября по 25 марта. Традиционно в период с декабря по февраль самые холодные месяцы. При этом температура может изменяться от  $-1^{\circ}\text{C}$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Именно в эти месяцы море замерзает в большей части залива. На рис. 9 показаны график хода ледовитости и границы распространения дрейфующего льда в заливе Петра Великого [5, 13].

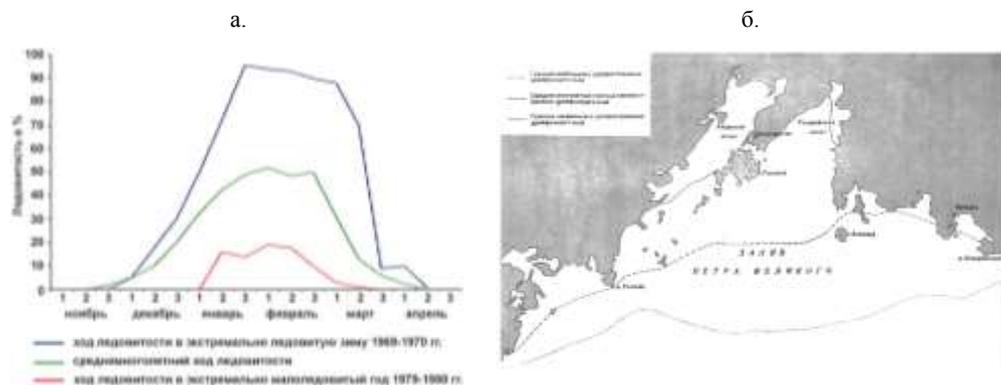


Рис. 9. Ход ледовитости (а) и границы распространения льда (б) в заливе Петра Великого

Исходя из многолетнего опыта эксплуатации маломерных судов в заливе Петра Великого период навигации, в течение которого осуществляется нормальная эксплуатация флота при благоприятных погодных условиях, начинается во второй половине апреля или начале мая (в холодные зимы) и длится до середины ноября. В целом Японское море и залив Петра Великого в частности не замерзают, за исключением мелководных закрытых бухт, но и в более глубоководных бухтах с подветренной стороны в холодные зимы образуется припай, а в последствии битый

лед, который дрейфует по заливу, что может привести к повреждению плавучих объектов, оставленных на зимовку в таких местах.

### **Перспективы использования хаусботов в Приморском крае**

Существующий отечественный и зарубежный опыт использования плавучих домов говорит об их широком использовании на внутренних водоемах - реках и озерах. В морских условиях в основном используют хаусботы баржевого, а чаще всего катамаранного типа, обладающие неплохими мореходными качествами и позволяющие в случае наступления неблагоприятных погодных условий сменить район дислокации и перейти в более закрытые и защищенные бухты. Как правило в зимний период времени такие сооружения поднимают из воды и ставят на кильблоки для сезонного хранения, т.к. их эксплуатация сопряжена с рядом существенных проблем для их владельца и не доставляет особого комфорта и удовольствия. Кроме того, возможность круглогодичной эксплуатации на море самоходных плавучих объектов, подразумевает, что хаусботы должны иметь класс Российского морского регистра судоходства, т.к. маломерный флот, поднадзорный ГИМС, осуществляет навигацию только с апреля по ноябрь. В этом случае значительно увеличивается стоимость их постройки, эксплуатации и содержания.

В Приморском крае данное направление только развивается. Набирают популярность плавучие бани и беседки, рестораны и отели (последние, как правило, имеют бетонное основание и являются стационарными). Для размещения гостей ВЭФ в 2019 году в качестве плавучей гостиницы использовали круизный лайнер Costa Neo Romantica.

В соответствии с последними планами и поручениями президента Российской Федерации в Приморском крае к 2023 году планируют создать четыре всепогодных курорта в с. Барабаш и Андреевка, во Владивостоке в б. Лазурная и в п. Ливадия, расположенном недалеко от г. Находка. Так, в 2027 году в Хасанском районе, расположенном на юге Приморского края в б. Алеут, будет построена первая очередь круглогодичного морского курорта на 3800 номеров, а также этнодеревня, кафе и рестораны, рыбный рынок, банный и термальный комплексы, аквапарк и др. объекты. Предполагаемый объем инвестиций составляет около 30 миллиардов рублей. Отличительной особенностью данного инфраструктурного объекта является близость к границе с КНР (провинция Цзилинь с населением 50 млн чел. у которой нет выходов к морю), т.е. его можно рассматривать как потенциальный центр по развитию международного сотрудничества и туризма.

Исходя из того, что на юге Приморского края имеется множество живописных бухт, то хаусботы могут быть достаточно популярными объектами при организации сезонного отдыха людей на море и выступать в качестве нового направления в развитии морского и островного туризма.

### **Заключение**

В настоящее время в отечественной практике как плавучие дома, так и хаусботы встречаются крайне редко. Данное направление в судостроении и туризме только начинает завиваться и набирать популярность, хотя во всем мире такие объекты достаточно давно и широко используются для проживания и отдыха людей на воде. В России только появляются фирмы, занимающиеся профессиональным проектированием и постройкой плавучих домов по собственным проектам.

От обычного судна, катера или яхты плавучий дом отличается тем, что он гораздо комфортнее и просторнее, при этом нет необходимости в его регистрации как объекта недвижимости. Значительная ширина уменьшает качку и увеличивает остойчивость, а автономность и энергонезависимость позволяют использовать их для длительного проживания в отдаленных и заповедных местах, там, где географические

особенности, удаленность, ландшафт местности не позволяет проложить подъездные пути, а строительство на берегу запрещено.

Природные и гидрометеорологические условия в Приморском крае допускают возможность сезонного использования плавучих домов для организации летнего отдыха и развития морского туризма в регионе. Последние достижения науки, техники и технологий позволяют использовать современные энерготехнологии и возобновляемые источники энергии для обеспечения их энергонезависимости и автономности. Преимущества такого подхода очевидны, а климатические условия рассматриваемого региона являются благоприятными.

Однако существуют определённые риски, которые требуют законодательного регулирования отдельных вопросов, связанных с безопасной эксплуатацией, обслуживанием, зимним хранением и ответственностью владельцев таких объектов.

#### Список литературы

1. Атлас по океанографии Берингова, Охотского и Японского морей: русско-английская версия / И.Д. Ростов, Г.И. Юрасов, Н.И. Рудых, В.В. Мороз, Е.В. Дмитриева [и др.]; ТОИ ДВО РАН. - Владивосток: [б. и.], 2002.
2. Бровка П.Ф. Залив Петра Великого. Географические очерки. – Владивосток: изд-во Дальневост. Ун-та, 2003. – 176 с.
3. Ветрогенератор для частного дома: виды, как выбрать, обзор лучших вариантов. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://uteplimvse.ru/interesnye-stati/vetrogenerator-dlya-chastnogo-doma-vidy-kak-vybrat-obzor-luchshix-variantov.html> (дата обращения: 25.03.23).
4. Как развивается туризм в Приморском крае. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://tass.ru/infographics/9909> (дата обращения: 25.03.23).
5. Лощия северо-западного берега Японского моря. От реки Гуманная до мыса Белкина. М. Главное управления навигации и океанографии. 1984. – 320 с.
6. Официальный сайт компании Houseboat.ru. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://houseboat.ru/model/freedom-50/> (дата обращения: 25.03.24).
7. Официальный сайт компании LUXAR. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://luxar.su/contents.asp?id=1564> (дата обращения: 25.03.23).
8. Плавдачи и хаусботы. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://fleetphoto.ru/photo/329469/> (дата обращения: 25.03.23).
9. Плавучие дома Дайджест (обзор по материалам прессы). [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ad-m.info/history.html> (дата обращения: 25.03.23).
10. Положение о классификации и освидетельствовании маломерных судов, используемых в некоммерческих целях, утвержденное постановлением Правительства РФ от 8.02.2022 № 132.
11. Сетевое издание Восток-Медиа. Развитие туристического потенциала Приморья - приоритет в масштабах страны. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://vostokmedia.com/news/2023-08-14/razvitie-turisticheskogo-potentsiala-primorya-prioritet-v-massstabah-strany-3011444> (дата обращения: 25.03.23).
12. Справочно-информационный портал «Погода и климат». [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/31960.htm> (дата обращения: 25.03.23).
13. Справочно-информационный портал «Примпогода». Ледообразование в Заливе Петра Великого. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://primpogoda.ru/articles/sezonnnye\\_osobennosti/ledobrazovanie\\_v\\_zalive\\_petra\\_veliko](https://primpogoda.ru/articles/sezonnnye_osobennosti/ledobrazovanie_v_zalive_petra_veliko) (дата обращения: 25.03.23).
14. Справочно-информационный портал Sea temperature. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://seatemperature.ru/current/russia/vladivostok-primorskiy-russia-sea-temperature>
15. Справочно-информационный портал Хаусботы. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://itboat.com/ru/explore/78-hausboty> (дата обращения: 25.03.23).
16. Справочно-информационный портал. Климатические условия г. Владивосток. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://hikersbay.com/climate->

- conditions/russia/vladivostok/klimaticheskie-usloviya-v-vladivostok.html?lang=ru (дата обращения: 25.03.23).
17. Характеристики Real Ships Voyage 1500 Eco. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://itboat.com/ru/models/10774-real-ships-voyage-1500-eco> (дата обращения: 25.03.23).
  18. Baikal Yachts Group. Электронный ресурс. URL: <https://baikalyachts.com/houseboats/sea-houseboat-baikal-15-expedition> (дата обращения: 25.03.23).
  19. Category: History of Houseboats. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.buildahouseboat.com/category/history/> (дата обращения: 25.03.23).
  20. CE Yacht compliance classification. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://alliedyachting.com/faq/ce-yacht-compliance-classification/> (дата обращения: 25.03.23).
  21. Wind & Solar Powered Houseboats. The sun power of solar panels for energy. // All about houseboats. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.all-about-houseboats.com/solar-powered-houseboats.html> (дата обращения: 25.03.23).

### References

1. Atlas po okeanografii Beringova, Okhotskogo i Yaponskogo morei: rusko-angliiskaya versiya / I.D. Rostov, G.I. Yurasov, N.I. Rudykh, V.V. Moroz, E.V. Dmitrieva [i dr.]; TOI DVO RAN. - Vladivostok: [b. i.], 2002.
2. Brovko P.F. Zaliv Petra Velikogo. Geograficheskie ocherki. – Vladivostok: izd-vo Dal'nevost. Un-ta, 2003. – 176 s.
3. Vetrogenerator dlya chastnogo doma: vidy, kak vybrat', obzor luchshikh variantov. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://uteplimvse.ru/interesnye-statii/vetrogenerator-dlya-chastnogo-doma-vidy-kak-vybrat-obzor-luchshix-variantov.html>
4. Kak razvivaetsya turizm v Primorskom krae. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://tass.ru/infographics/9909>
5. Lotsiya severo-zapadnogo berega Yaponskogo morya. Ot reki Tumannaya do mysy Belkina. M. Glavnoe upravleniya navigatsii i okeanografii. 1984. – 320 s.
6. Ofitsial'nyi sait kompanii Houseboat.ru. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://houseboat.ru/model/freedom-50/>
7. Ofitsial'nyi sait kompanii LUXAR. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <http://luxar.su/contents.asp?id=1564>
8. Plavdachi i khausboty. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://fleetphoto.ru/photo/329469/>
9. Plavuchie doma Daidzhest (obzor po materialam pressy). [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <http://www.ad-m.info/history.html>
10. Polozhenie o klassifikatsii i osvidetel'stvovanii malomernykh sudov, ispol'zuemykh v nekommercheskikh tselyakh, utverzhdennoe postanovleniem Pravitel'stva RF ot 8.02.2022 № 132.
11. Setevoe izdanie Vostok-Media. Razvitie turisticheskogo potentsiala Primor'ya - prioritet v masshtabakh strany. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://vostokmedia.com/news/2023-08-14/razvitie-turisticheskogo-potentsiala-primorya-prioritet-v-masshtabah-strany-3011444>
12. Spravochno-informatsionnyi portal «Pogoda i klimaT». [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/31960.htm>
13. Spravochno-informatsionnyi portal «Primpogoda». Ledoobrazovanie v Zalive Petra Velikogo. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: [https://primpogoda.ru/articles/sezonnye\\_osobennosti/ledoobrazovanie\\_v\\_zalive\\_petra\\_velikogo](https://primpogoda.ru/articles/sezonnye_osobennosti/ledoobrazovanie_v_zalive_petra_velikogo)
14. Spravochno-informatsionnyi portal Sea temperature. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://seatemperature.ru/current/russia/vladivostok-primorskiy-russia-sea-temperature>
15. Spravochno-informatsionnyi portal Khausboty. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://itboat.com/ru/explore/78-hausboty>
16. Spravochno-informatsionnyi portal. Klimaticheskie usloviya g. Vladivostok. [Ehlektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://hikersbay.com/climate-conditions/russia/vladivostok/klimaticheskie-usloviya-v-vladivostok.html?lang=ru>

17. Karakteristiki Real Ships Voyage 1500 Eco. [Elektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://itboat.com/ru/models/10774-real-ships-voyage-1500-eco>
18. Baikal Yachts Group. Elektronnyi resurs. URL: <https://baikalyachts.com/houseboats/sea-houseboat-baikal-15-expedition>
19. Category: History of Houseboats. [Elektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://www.buildahouseboat.com/category/history/>
20. CE Yacht compliance classification. [Elektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://alliedyachting.com/faq/ce-yacht-compliance-classification/>
21. Wind & Solar Powered Houseboats. The sun power of solar panels for energy. // All about houseboats. [Elektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: <https://www.all-about-houseboats.com/solar-powered-houseboats.html>

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

**Китаев Максим Владимирович**, к.т.н., доцент  
Департамента морской техники и транспорта,  
Дальневосточный федеральный университет,  
690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.  
e-mail: [kitaev.mv@dvfu.ru](mailto:kitaev.mv@dvfu.ru)

**Дмитриева Наталья Романовна**, ассистент  
Департамента морской техники и транспорта,  
Дальневосточный федеральный университет,  
690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.  
e-mail: [dmitrieva.nr@dvfu.ru](mailto:dmitrieva.nr@dvfu.ru)

**Новосельцев Игорь Александрович**,  
ассистент Департамента морской техники и  
транспорта, Дальневосточный федеральный  
университет, 690922, г. Владивосток, о.  
Русский, п. Аякс, 10. e-mail:  
[novoseltcev.ia@dvfu.ru](mailto:novoseltcev.ia@dvfu.ru)

**Maksim V. Kitaev**, PhD of Engineering, the  
Associate professor of Department of Marine  
Engineering and Transport, Far Eastern Federal  
University, 690922, Vladivostok, Russkiy,  
Ayaks, 10

**Natalia R. Dmitrieva**, the assistant of  
Department of Marine Engineering and  
Transport, Far Eastern Federal University,  
690922, Vladivostok, Russkiy, Ayaks, 10

**Igor A. Novoseltcev**, the assistant of  
Department of Marine Engineering and  
Transport, Far Eastern Federal University,  
690922, Vladivostok, Russkiy, Ayaks, 10

Статья поступила в редакцию 27.03.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 27.03.2024; published online 20.06.2024.

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi79.487

## **Особенности применения естественных элементов жесткости в конструкциях судов из композиционных материалов**

**С. А. Королев<sup>1</sup>**

ORCID: 0000-0001-8425-3096

**К. Е. Корольков<sup>1</sup>**

ORCID: 0009-0005-8464-7366

**А. Г. Назаров<sup>1</sup>**

ORCID: 0000-0002-6313-6277

<sup>1</sup>ООО АН Марин Консалтинг, г. Москва, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается круг вопросов, связанных с проектированием судовых конструкций из композиционных материалов. Для формирования поверхности таких конструкций часто используются естественные элементы жесткости, определяющие форму и функциональность изделия и одновременно обеспечивающие его прочность и жесткость. К таковым относятся углы, гофры, кривизна и подобные элементы, которые проанализированы в статье путем серийных расчетов методами конечных элементов и пакетного анализа ламинатов. Выделены факторы снижения массы конструкций за счет элементов жесткости. Выполнен обзор нормативных методов учета указанных элементов в разных правилах и даны рекомендации по внедрению их в отечественные нормативные документы. Подчеркивается необходимость принципиально иного подхода к проектированию конструкций из композиционных материалов.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, прочность конструкции, элементы жесткости, малые суда.

## **Specifics of application of natural stiffening elements in ship structures made of composite materials**

**Sergey A. Korolev<sup>1</sup>**

ORCID: 0000-0001-8425-3096

**Konstantin E. Korolkov<sup>1</sup>**

ORCID: 0009-0005-8464-7366

**Albert G. Nazarov<sup>1</sup>**

ORCID: 0000-0002-6313-6277

<sup>1</sup>AN Marine Consulting, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The article discusses a range of issues related to the design of ship structures made of composite materials. To form the surface of such structures, natural stiffening elements are often used, which determine the shape and functionality of the product, and at the same time ensure its strength and rigidity. These include angles, corrugations, curvature and similar elements, which are analyzed in the article by serial calculations using finite element methods and batch analysis of laminates. The factors of reducing the weight of structures due to stiffening elements are highlighted. A review of the normative methods of accounting for these elements in different rules has been carried out and recommendations for their implementation in domestic regulatory documents have been given. The necessity of a fundamentally different approach to the design of structures made of composite materials is emphasized.

**Keywords:** composite materials, structural strength, stiffeners, small vessels.

## **Введение**

В современном судостроении все более широкое применение находят полимерные композиционные материалы (КМ); так, среди судов малого размера (до 24м) доля судов с корпусом из КМ сегодня составляет до 80%. Из КМ создаются также конструкции судов более крупного размера, в том числе и для «конвенционных» транспортных судов.

При этом применение КМ требует переосмысления подходов к проектированию судовых конструкций с учетом особенностей материала. Во-первых, материал корпуса проектируется вместе с судном, с учетом действующих нагрузок. Во-вторых, материал образуется из компонентов непосредственно в процессе постройки судна. Свойства получаемого при этом материала в значительной степени зависят от технологического процесса постройки.

Одним из преимуществ композитов, наряду со снижением массы конструкций, является возможность придавать им практически любую форму, что позволяет создавать изделия с высокой эстетической привлекательностью и функциональностью, что в последние годы облегчается наличием станков с ЧПУ для фрезерования технологической оснастки. Сложные формы позволяют создавать легкие оболочковые конструкции с минимумом набора, тем самым снижая трудоемкость изготовления конструкции. При этом, в отличие от других материалов, в составе конструкций из КМ широко используются естественные элементы жесткости (ЕЭЖ), которые позволяют еще более минимизировать применение набора (рис.1). Таким образом, в дополнение к указанным выше проявляется еще одна особенность проектирования судов из КМ: геометрия судна проектируется с учетом особенностей технологии постройки и действующих нагрузок.

Следует сказать, что преимущества ЕЭЖ известны давно и они в полной мере используются в практике проектирования конструкций из КМ. Достоверный учет ЕЭЖ при проектировании конструкций позволяет снизить массу корпуса и трудоемкость изготовления изделия. Однако с точки зрения правил и стандартов не всегда удается обосновать применение ЕЭЖ, в первую очередь при работе с классификационными обществами (КО), чьи правила в основном ориентированы на представление конструкции в виде классических «пластин» и «балок набора». С другой стороны, встречаются случаи, когда ЕЭЖ не выполняют ожидаемую от них функцию: например, переборка не имеет необходимого усиления по периметру примыкания к конструкции, и потому происходит ее разрушение. В целом, методы инженерного анализа конструкций с ЕЭЖ недостаточно разработаны; применение МКЭ позволяет анализировать частные случаи конструкций, однако при этом следует использовать адаптированные коэффициенты запасов прочности, что не всегда прописано в правилах КО. С целью повышения эффективности конструкций из КМ на основе расчетов примеров конструкций и анализа действующих правил и стандартов в настоящей работе рассматриваются особенности применения ЕЭЖ при проектировании судов.

### **Типы естественных элементов и их учет в стандартах**

Типы ЕЭЖ, встречающиеся в современных конструкциях, отличаются значительным разнообразием. К ним относятся, в первую очередь, части самих конструкций их КМ:

- Примыкающие конструкции и соединения – например стыки формованных секций корпуса и палубы, палубы и рубки, корпуса и секции интерьера т.д.;
- Кривизна, образуемая пластинами обшивки корпуса, надстройки т.д.;

- Углы, например скуловой слом в месте перехода днища в борт скоростного катера, фаски в мостовых конструкциях катамаранов (см. рис.1 и 2);
- Местные элементы – уступы, гофры, зиги; например, продольные и поперечные реданы, имитация клинкерной обшивки; зачастую эти элементы вводятся в конструкцию из КМ специально;
- Изменения в толщине конструкции, например, некоторые узлы перехода от однослойной к трехслойной обшивке;

Кроме того, в качестве ЕЭЖ могут рассматриваться накладные элементы из иных материалов, отличных от КМ: килевые накладки из металла или дерева; обстройка, включающая интерьерные переборки и мебель из фанеры, а также некоторое оборудование, например контур литого водозаборника водомета, рама подъемной купальной платформы (см. рис.1) и т.д.

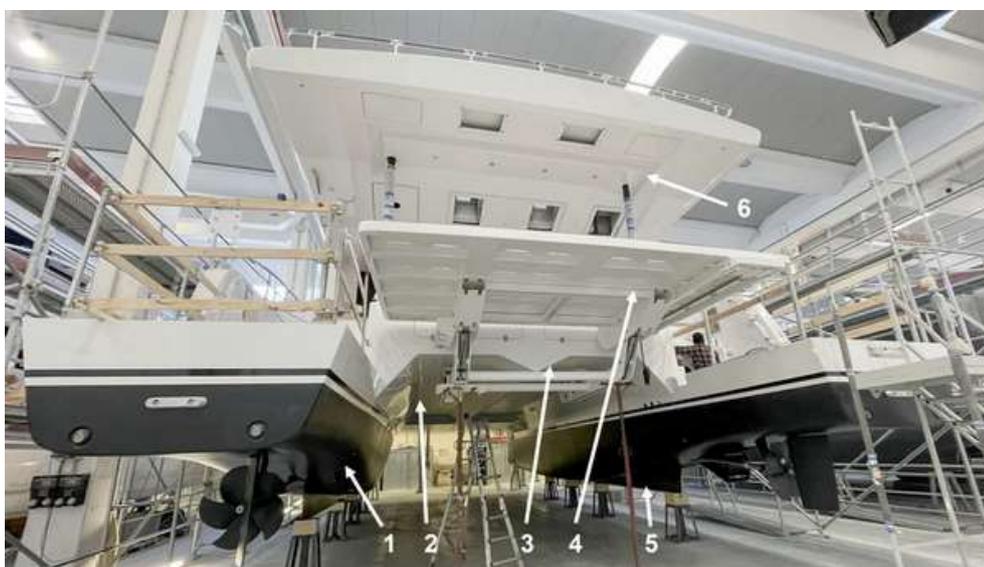


Рис. 1. ЕЭЖ на катамаране пр.SY60 из КМ

- 1 – кривизна борта; 2 – фаска/угол в месте соединения моста и корпуса; 3 - балка-«волнорез» на мосту катамарана, являющаяся элементом жесткости; 4 – алюминиевая рама подъемной платформы, обеспечивающая жесткость конструкции настила из КМ; 5 – киль-плавник; 6 – элементы формы крыши.

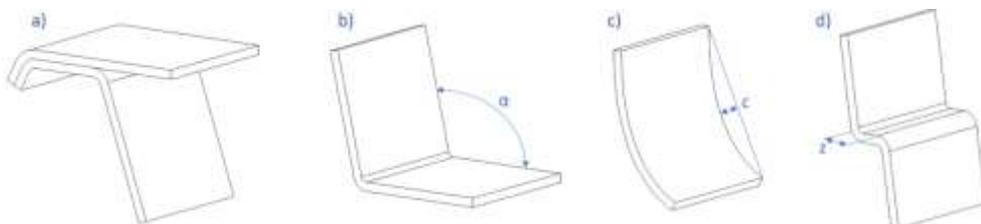


Рис. 2. Некоторые типы естественных элементов жесткости и их геометрические параметры а) – соединение секций; б) – угол; с) – кривизна; д) – уступ

Ряд нормативных документов и правил КО предусматривают учет ЕЭЖ при расчетах прочности конструкций из КМ. Наиболее ориентированным на ЕЭЖ

является стандарт ISO12215-5:2019 [1] применяемый для судов с длиной корпуса  $L_H \leq 24$  м, который содержит методы учета кривизны панелей и набора за счет коэффициента кривизны (причем кривизна в новой версии стандарта учитывается в двух направлениях) и учета угла скулы. Также, в стандарте рассматриваются криволинейные пластины больших размеров; указанными методами достигается высокая эффективность проектирования оболочковых конструкций с минимумом набора, особенно для судов малого размера.

По мнению авторов, в отечественных нормативных документах ЕЭЖ уделено недостаточно внимания. РД [13] предусматривает установку гофров и зигов, однако методы их расчета не рассматриваются. В правилах отечественных КО [10,12] отсутствует даже учет кривизны, что отличает их от зарубежных (табл.1). Причиной этого можно назвать то обстоятельство, что отечественные правила разработаны на основе опыта создания однослойных корпусов длиной 60...70 м, где из-за масштаба конструкции значение ЕЭЖ не столь значительно.

Таблица 1

**Учет естественных элементов жесткости в правилах КО и стандартах**

Стандарт или правила КО	Рассматриваемые угловые элементы	Рассматриваемые величины углов	Приведенный размер пластин в зависимости от угла*	Скругленные участки	Нормирование скруглений	Учет кривизны пластин
ISO12215-5:2008 [2]	да	130...150	нет	да	нет	да
ISO12215-5:2019 [1]	да	90...170	$c_s(\alpha)$	да	$R \leq 0,40$ длины диагонали, хорда $> 0,8R$ **	да
DNV HSLC [3]	да	90...170	$c_s(\alpha)$	да	касательная 25...55°***	да
ABS HSC [4]	скула, киль	нет	нет	нет	нет	да
GL HSC [5]	да	90...170	$c_s(\alpha)$	нет	нет	да
TL HSC [6]	да	90...170	$c_s(\alpha)$	нет	нет	да
IRS HSLC [7]	скула, киль	нет	нет	нет	нет	да
KR HSLC [8]	нет	нет	нет	нет	нет	да
VTT [9]	скула, киль	нет	нет	нет	нет	да
PC [10]	скула, киль, реданы	нет	нет	нет	нет	нет

\*Корректируется расчетный размер пластины за счет коэффициента  $c_s$  в зависимости от угла между смежными пластинами  $\alpha$ ;

\*\*Нормируется максимальный радиус  $R$  кривизны панели, при котором панель может считаться естественным элементом жесткости;

\*\*\*Нормируется область обшивки, которая может приниматься как ребро жесткости в зависимости от угла наклона пластины.

### **МКЭ моделирование элементов конструкций**

В рамках исследования, авторами выполнено численное моделирование нескольких типов судовых конструкций с использованием программы МКЭ Strand7. Были рассмотрены пластины обшивки с ЕЭЖ наиболее распространенных типов «уступ», «угол» и «кривизна», а также для «привязки» результатов - плоская

пластина; при этом габарит всех пластин составлял 1000×2000мм. Во всех случаях нагрузка принималась равномерно распределенной в виде расчетного давления 20кПа, края пластин предполагаются защемлёнными. Ламинат всех пластин одинаков и составляет 9 слоев квадраксиальной ткани QX1000 при общей толщине слоя пластины 11мм; использована ортотропная модель представления ламината с модулями упругости слоя  $E_x=E_y=1,4 \times 10^7$ кПа, модулем упругости при сдвиге  $G_{xy}=3,09 \times 10^6$ кПа, коэффициентами Пуассона  $\nu_{xy}=\nu_{yx}=0,3$ . Дополнительное армирование зоны уступов и углов не применялось (кроме уступа 50мм, где в одном из вариантов в зоне уступа введено дополнительное армирование равное 1/3 от основного ламината). Для элемента типа «уступ» варьировалась ширина уступа, для элемента типа «кривизна» варьировалась кривизна, для элементов типа «угол» варьировалось значение угла между днищевой и бортовой пластинами.

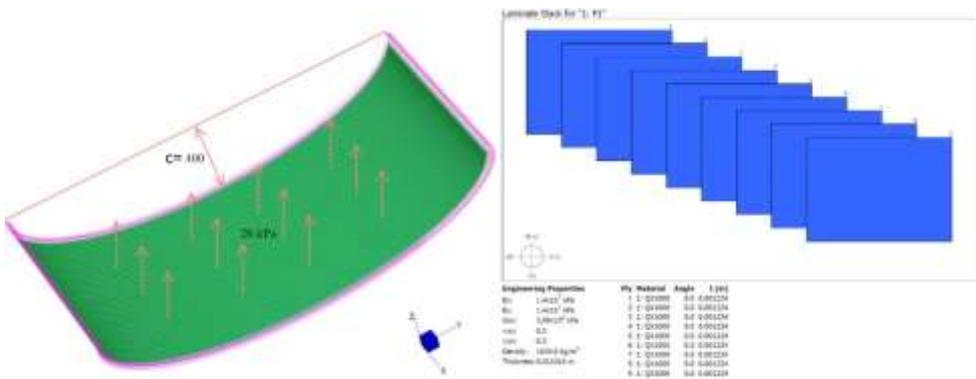


Рис. 3. Моделирование ЕЭЖ типа «кривизна» в МКЭ; показана модель пластины с защемлением кромок и равномерно распределенной нагрузкой и модель материала из слоев QX1000

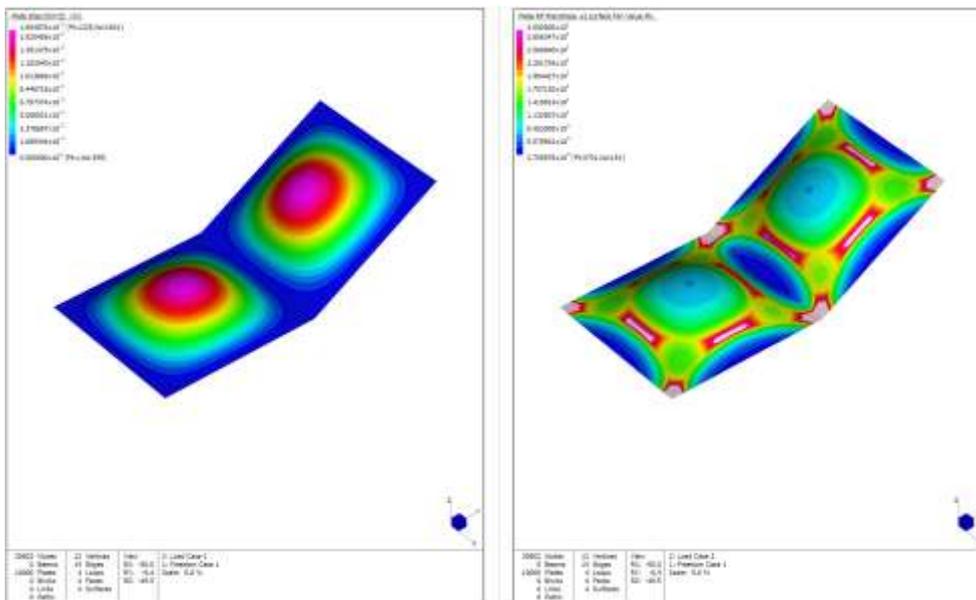


Рис. 4. Пример МКЭ расчета ЕЭЖ типа «угол» с  $\alpha=150^\circ$ ; показаны деформации и коэффициент запаса RF по тензорному критерию напряжений

В рамках исследования выполнены также расчеты плоской пластины с использованием изотропной модели в программе Liga. Примеры результатов МКЭ-моделирования представлены на рис. 3–5 в виде распределения абсолютных деформаций, а также коэффициентов запаса  $RF$  по тензорному критерию напряжений и по критерию Цзя-Ву.

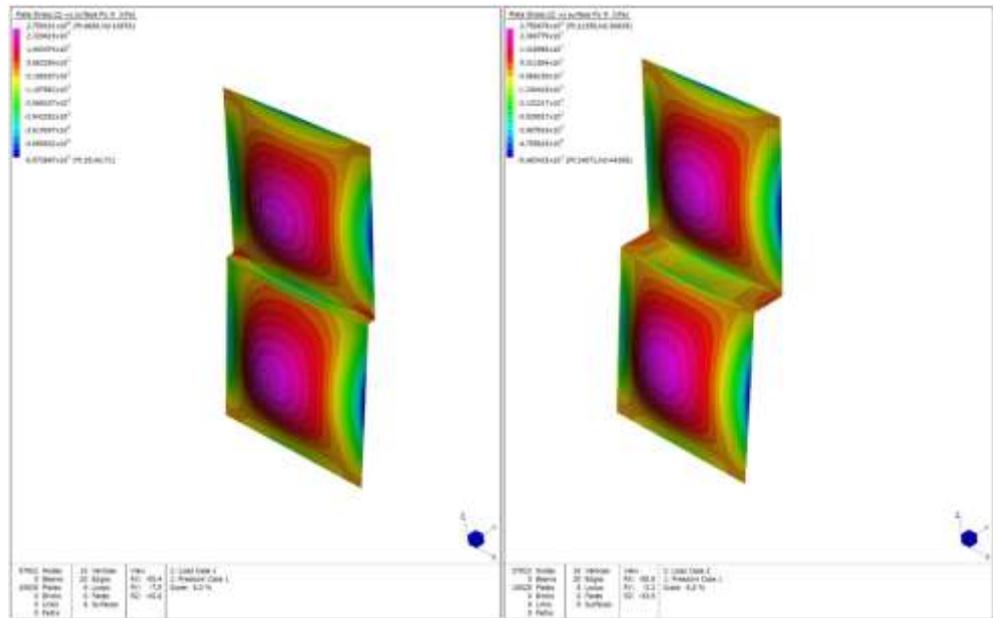


Рис. 5. Пример МКЭ расчета пластины с уступом шириной  $z=50$  и  $200$ мм; показаны напряжения в направлении 2-2 в наиболее нагруженном слое

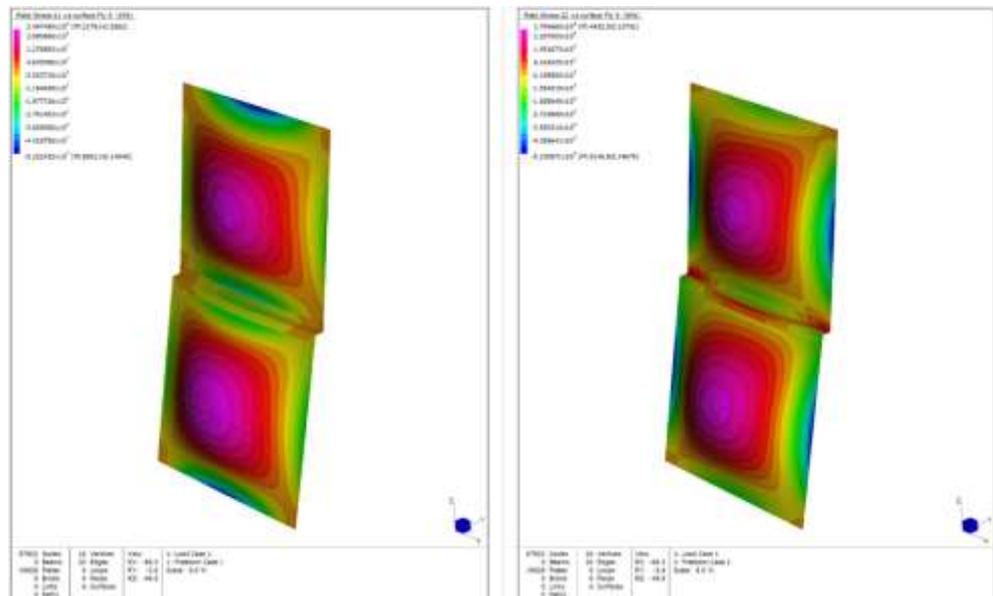


Рис. 6. Пример МКЭ расчета пластины с уступом  $z=50$ мм с дополнительным армированием уступа, показаны напряжения в направлении 1-1 и 2-2 в наиболее нагруженном слое

### Расчет элементов конструкций пакетным методом

С целью автоматизации расчетов местной прочности судов из КМ в АНМК ранее было разработано программное обеспечение SigmaLAM [11]. Характерной особенностью SigmaLAM является реализация расчетов по ISO12215-5:2019, РС [10] и РК0 [12], а также IRS [7] в одном интерфейсе и с использованием одного файла данных, что позволяет сравнивать результаты, получаемые по различным методикам. Поэтому интерес представляет оценка прочности одной и той же пластины по методикам, позволяющим учесть кривизну, и без такого учета. В рамках настоящего исследования выполнена серия расчетов плоских пластин (рис.6), их результаты представлены на рис.7. Расчет выполнялся в предположении, что края пластины зашпелены; использована ортотропная модель представления слоев ламината. Размеры пластин и действующие нагрузки соответствуют таковым в анализе МКЭ.

Также, для анализа влияния ЕЭЖ на массу пластин выполнена серия расчетов пластин размеров 2000x1000мм с варьированием кривизны  $c=0, 200$  и  $400$ мм. Для уменьшения дискретности изменения толщины, в качестве армирующего материала принята мультиаксиальная ткань типа LT 0/90° поверхностной плотностью  $600\text{г/м}^2$ . Расчет пластин выполнен по методике ISO12215-5:2019 [2], т.к. она позволяет учитывать кривизну; все пластины полагаются равнопрочными с  $CF=1,05$  по нормальным напряжениям, где  $CF$  – фактор соответствия, отношение требуемого значения критерия прочности к полученному значению критерия. Как и следовало ожидать, равнопрочность пластин с разной кривизной обеспечивается при разным количестве слоев ламината: где для плоской пластины требуется 15 слоев LT600, для пластины с  $c=200$ мм достаточно всего 11 слоев.

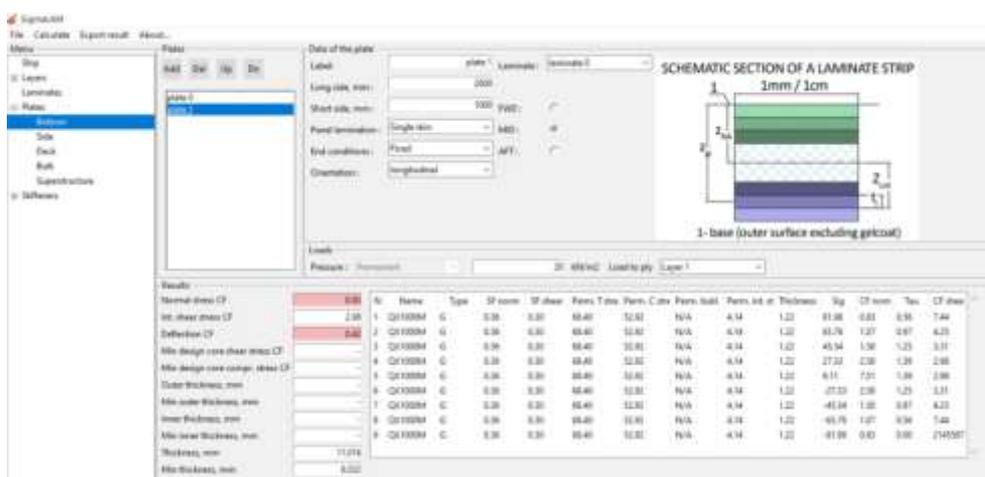


Рис. 7. Интерфейс программы SigmaLAM с расчетом рассматриваемой пластины

### Возможность образования дефектов

Помимо повышения жесткости, ЕЭЖ могут способствовать образованию дефектов при изготовлении конструкции и в ее эксплуатации. В работе [15] М.Э.Францевым выполнена серия исследований методами неразрушающего контроля и установлено значительное число дефектов в районе скулового слома судов из стеклопластика, например, дефектов типа «расслоение». Исходя из особенностей укладки армирующего материала и концентрации напряжений очевидно, что наибольшая склонность к образованию дефектов для ЕЭЖ «угол» и особенно «куст». Однако с точки зрения расчетов прочности конструкций из КМ применение в судостроении высоких коэффициентов запаса по напряжениям (2,0 для прогулочных судов, и до 3,3 для судов коммерческого и профессионального

назначения) как раз покрывает возможность появления подобных дефектов, поэтому к их существованию в конструкциях следует относиться с пониманием.

С другой стороны, выступающие элементы ЕЭЖ, будучи расположенными в неудачных местах, сами по себе способствуют образованию сколов и трещин. Например, на судах, для которых предусматривается частый подъем на трейлер, следует избегать применения поперечных реданов в зоне контакта с трейлером, во избежание повреждения корпуса.

Наиболее устойчивой к образованию дефектов оказывается ЕЭЖ типа «кривизна», которая в общем случае способствует плавной укладке армирующего материала и лишена концентраторов напряжений.

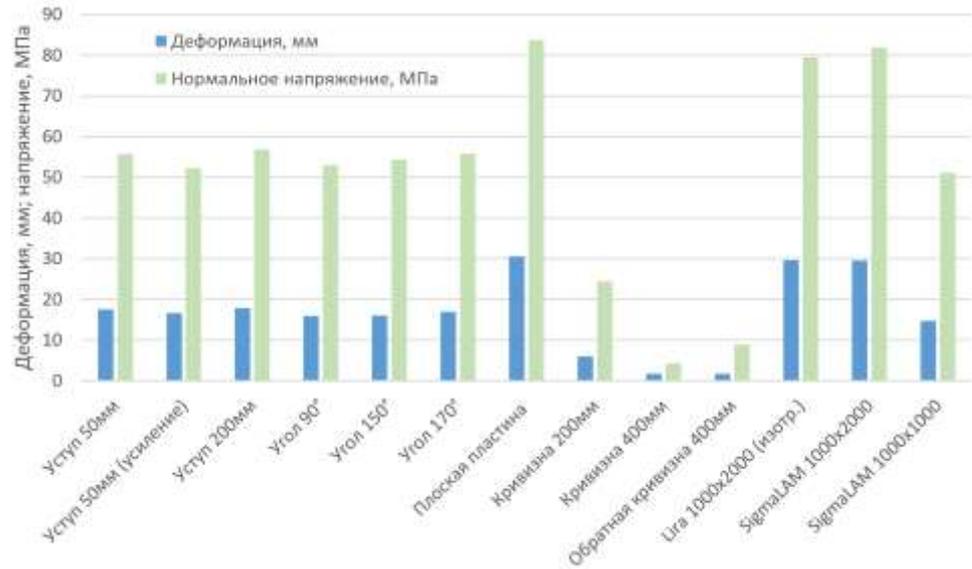


Рис. 8. Результаты расчета пластин с различными видами ЕЭЖ

#### Анализ полученных результатов и рекомендации

Выполненная авторами серия сравнительных расчетов ЕЭЖ, применяемых в практике проектирования конструкций из КМ, позволяет сделать следующие выводы:

- Элемент типа «угол» оказывается эффективен даже при  $\alpha=170^\circ$ . Графики, приведенным в правилах GL [5] и ISO12215-5:2019 [1] связывают величину угла с приведенным размером пластины и в целом более консервативны, чем полученные авторами результаты.
- Элемент типа «уступ» даже без дополнительного армирования эффективно снижает деформации и напряжения. При этом, сам по себе уступ при отношении его ширины к ширине пластины  $z/b > 0,05$  позволяет на практике рассматривать разбиваемую им пластину в качестве двух независимых пластин, при «пакетном» расчете.
- При добавлении дополнительного армирования «уступа» его эффективность повышается незначительно.
- Как можно видеть из результатов анализа, наибольшую эффективность демонстрирует применение элементов типа «кривизна» (пластины выпуклостью наружу), позволяющих существенно уменьшить как величину действующих напряжений, так и соответствующие деформации. К сожалению, этот тип ЕЭЖ не учитывается в российских нормативных документах.

- Пластина с ЕЭЖ «обратная кривизна» (т.е. когда, нагрузка действует с обратной стороны - пластина является вогнутой) обладает несколько меньшей эффективностью, чем выпуклая пластина.

В связи с использованием ЕЭЖ может возникнуть вопрос: как влияет возможность потери устойчивости второго рода у выпуклых элементов при нормальной нагрузке на полученные результаты? Действительно, т.н. «прошелкивание» конструкции теоретически возможно, особенно для элементов с малой кривизной. Однако у типичных конструкций надводных судов из КМ, подобное явление на практике не наблюдается, что позволяет КО использовать угол  $170^\circ$  в качестве ЕЭЖ без дополнительных проверок (см.табл.1). Таким образом, указанный вид потери устойчивости не характерен для конструкций рассматриваемых судов [16], хотя его нельзя исключать в конструкциях с необычно тонкими оболочками – этот эффект требует дополнительного исследования.

Результаты расчетов (рис.9) по правилам [2] пластин с различной кривизной показывают, что при надлежащем использовании ЕЭЖ масса конструкций может быть снижена на 20...25% без существенного увеличения трудоемкости изготовления. При этом, результаты расчета по стандарту [2] не совпадают с расчетами МКЭ, что связано с более консервативным подходом стандартов к оценке ЕЭЖ. Интересно отметить, что согласно представленным на рис.9 результатам при увеличении кривизны удельная масса пластины снижается, но эффект снижения массы постепенно нивелируется из-за роста площади конструкции, связанного с криволинейностью пластины.

Можно отметить, что методы МКЭ являются наиболее перспективными для анализа ЕЭЖ. При этом, использование МКЭ при работе некоторыми КО не всегда воспринимается положительно и сталкивается с требованиями пресловутой «сертификации» программного обеспечения. Результаты настоящего исследования использованы в КБ АНМК при практическом проектировании судов из КМ, в частности геометрии и конструкции корпуса судна пр.SP15 (рис.10).

### **Заключение**

К сожалению, в правилах отечественных КО можно до сих пор встретить «атавизмы» применения подходов металлического судостроения к судам из КМ. Например, в [10,12] директивно указывается типа набора, величина шпации и т.д., в зависимости от длины судна и зоны корпуса и т.д. – эти консервативные требования кочуют из документа в документ, а их происхождение теряется в 1960-м годах, когда применение КМ в судостроении делало первые шаги. С учетом современных расчётных методов и развития технологий КМ смысл в подобных директивных требованиях полностью отсутствует [14]. На самом деле, конструкция корпуса современного судна из КМ вообще может не иметь выраженного набора, для чего необходим творческий подход с формированием ЕЭЖ на этапе проектирования.

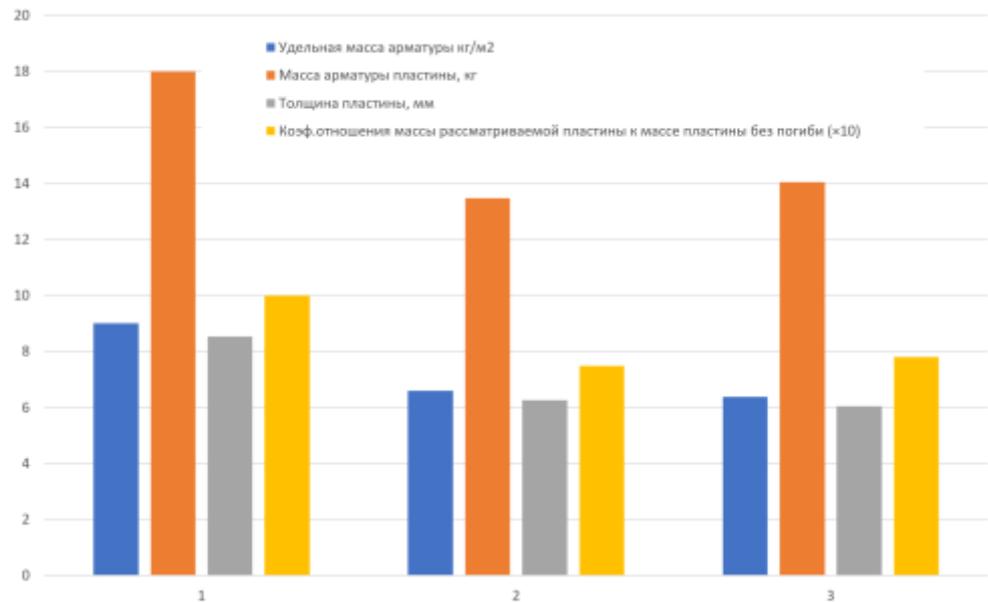


Рис.9. Результаты расчетов плоской и криволинейных пластин 2000×1000мм по методике [2]: (1) – плоская пластина, площадь  $A=2,00\text{м}^2$ ; (2) – пластина  $c=200\text{мм}$ ,  $A=2,04\text{м}^2$ ; (3) – пластина  $c=400\text{мм}$ ,  $A=2,20\text{м}^2$

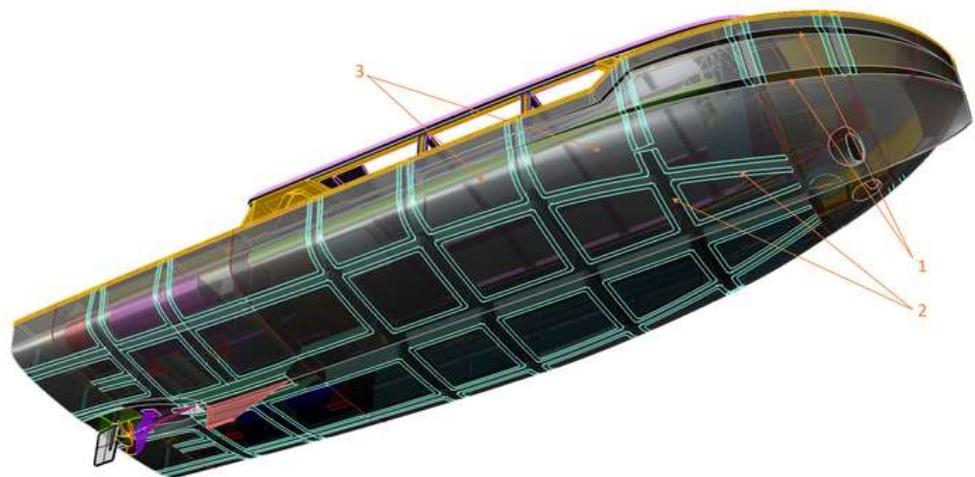


Рис. 10. Естественные элементы жесткости и набор малого пассажирского судна пр.SP15: 1 – уступы в носовой части; 2 – обычный П-образный набор; 3 – кривизна в скуловой части.

Сама идеология разработки конструкций из КМ (особенно малого размера) требует от проектировщика стратегии, принципиально отличающейся от таковой для судов из металла. Технологичность постройки судов из металла заставляет отдавать предпочтение преимущественно плоским секциям, подкреплённым набором, возможно, из профильного проката или в виде прессованных панелей с ребрами жесткости. То есть, действует принцип «минимизировать кривизну, плоские элементы подкрепить набором».

Для судов из КМ наоборот, используется принцип «форма держит», когда за счет формы с естественными элементами жесткости или трехслойных конструкций можно минимизировать набор (или вообще обойтись без него), тем самым снизив массу и трудоемкость изготовления. В предельном случае для КМ можно получить так называемый «монокок» – оболочковую безнаборную конструкцию сложной геометрии. Указанный подход обеспечивает высокую технологичность постройки судов из КМ, недостижимый для судов из металла; особенно это относится к судам малых размеров.

#### Список литературы

1. ISO-12215 - 5:2008 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
2. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
3. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV– 2023.
4. ABS Rules for Building and Classing High-Speed Craft (HSC Rules), 2023.
5. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. German Lloyd, 2012.
6. Turk Loydu Rules – Chapter 7 - High Speed Crafts – July 2023. Turkish Lloyd.
7. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. IRS, 2021.
8. Rules for the classification of High Speed and Light Crafts – Korean Register, 2023 -KR.
9. Guidelines for Commercial Craft. VTT. Version 2016-2.
10. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов. Российский морской регистр судоходства, 2023.
11. Королев С.А., Назаров А.Г. Автоматизация расчетов прочности судовых конструкций из композиционных материалов// «Судостроение» №2-2023 (867), с.23-29.
12. Правила классификации и постройки судов. Российский Речной Регистр, 2019.
13. Корпуса и корпусные конструкции из стеклопластика. Правила проектирования и методические указания по расчетам прочности. РД5.1186-90.
14. Nazarov A. Composite High Speed Craft: Practical Design Approaches// 4nd Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2014.
15. Францев М.Э. Дефектоскопия корпусов судов из композиционных материалов, находящихся в эксплуатации, акустическими методами неразрушающего контроля. — Дефектоскопия. 2013. №1. С. 3–11.
16. Marine Composites. Design and Performance. Edited by Pemberton R., Woodhead Publishing, 2019.

#### References

1. ISO-12215 - 5:2008 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
2. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
3. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV– 2023.
4. ABS Rules for Building and Classing High-Speed Craft (HSC Rules), 2023.
5. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. German Lloyd, 2012.
6. Turk Loydu Rules – Chapter 7 - High Speed Crafts – July 2023. Turkish Lloyd.
7. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. IRS, 2021.
8. Rules for the classification of High Speed and Light Crafts – Korean Register, 2023 -KR.
9. Guidelines for Commercial Craft. VTT. Version 2016-2.
10. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. [Rules for the classification and construction of sea vessels]. Chast' XVI. Konstruktsiya i prochnost' sudov iz polimernykh kompozitsionnykh materialov. Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva, 2023.
11. Korolev S.A., Nazarov A.G. Avtomatizatsiya raschetov prochnosti sudovykh konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov. [Automation of strength calculation of composite ship hull structures]// «Sudostroenie» №2-2023 (867), s.23-29.

12. Pravila klassifikatsii i postroiki sudov. [Rules for the classification and construction of ships]. Rossiiskii Rechnoi Registr, 2019.
13. Korpusa i korpusnye konstruksii iz stekloplastika. Pravila proektirovaniya i metodicheskie ukazaniya po raschetam prochnosti. [Hulls and hull structures made of fiberglass. Design rules and guidelines for strength calculations]. RD5.1186-90.
14. Nazarov A. Composite High Speed Craft: Practical Design Approaches// 4nd Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2014.
15. Frantsev M.EH. Defektoskopiya korpusov sudov iz kompozitsionnykh materialov, nakhodyashchikhsya v ehkspluatatsii, akusticheskimi metodami nerazrushayushchego kontrolya. [Flaw detection of ship hulls made of composite materials located in operation, acoustic methods of non-destructive testing] — Defektoskopiya, 2013. №1. S. 3–11.
16. Marine Composites. Design and Performance. Edited by Pemberton R., Woodhead Publishing, 2019.

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

**Королев Сергей Александрович**, ведущий инженер «АН Марин Консалтинг», Севастополь, ул.Портовая 17, 299009, Россия

**Sergey A. Korolev**, senior engineer "AN Marine Consulting", Sevastopol, 17, Portovaya str., 299099, Russian Federation

**Корольков Константин Евгеньевич**, ведущий инженер «АН Марин Консалтинг», Севастополь, ул.Портовая 17, 299009, Россия

**Konstantin E. Korolkov**, senior engineer "AN Marine Consulting", Sevastopol, 17 Portovaya str., 2990099, Russian Federation

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

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

Статья поступила в редакцию 27.03.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 27.03.2024; published online 20.06.2024.

УДК 629.123; 629.5.065.2  
DOI: 10.37890/jwt.vi79.475

## **Способ определения положения центра тяжести крупногабаритного груза для безопасной перегрузки на судне**

**Е.В. Никитин<sup>1</sup>**

ORCID: 0000-0002-1980-5285

**С.А. Симененко<sup>2</sup>**

ORCID: 0009-0006-7615-5094

<sup>1</sup>*Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова, 299028*

*Севастополь, Россия*

<sup>2</sup>*Севастопольский государственный университет, 299053, Севастополь, Россия*

**Аннотация.** На основе анализа уравнений равновесия двухзвенной системы подвешивания крупногабаритного груза предложены два способа определения положения центра тяжести этого груза. Суть способов заключается в двукратном подвешивании этой системы и измерении углов ее отклонения в подвешенном положении равновесия. При этом разница в углах отклонения системы между подвешиваниями обеспечивается либо путем изменения высоты первичного подвеса (длины первичных строп), либо путем изменения отношения масс траверсы и груза. Проведен сравнительный анализ точности и практической реализуемости обоих способов, при этом, показано, что при осуществлении грузовых операций в порту или на судне, практически реализуемым и более точным является способ, в котором разница углов отклонения системы между подвешиваниями осуществляется путем изменения длины первичных строп (высоты первичного подвеса).

В работе подчеркивается, что важным условием для обеспечения устойчивости системы при подвешивании и предотвращения опрокидывания груза является то, что первичные стропы (соединяющие крюк и траверсу), должны быть такой длины, чтобы груз виртуально мог быть вписан внутрь пирамиды (пирамиды безопасности), образованной траверсой и этими стропами. Показано также, что длина вторичных строп (соединяющих траверсу и груз) не имеет значения, однако они должны быть равной длины и параллельны друг другу, что обеспечит их вертикальное положение после подвешивания системы. Чем тяжелее траверса (в сравнении с весом подвешиваемого груза) – тем выше пирамида безопасности, а значит и более устойчивой становится система подвешивания груза в целом. С другой стороны, чем длиннее первичные стропы (выше пирамида безопасности), тем меньше углы отклонения траверсы (и системы с целом) от исходного положения перед подвешиванием. Для демонстрации возможностей предлагаемого нового способа определения положения ЦТ груза приведен численный пример его реализации.

**Ключевые слова:** крупногабаритный груз, центр тяжести, двукратное подвешивание, устойчивость системы подвешивания, пирамида безопасности, углы отклонения траверсы или погрузочной платформы.

## **A method for determining the position of gravity center of bulky cargo for safe reloading on a ship**

**Yevgeny V. Nikitin<sup>1</sup>**

ORCID: 0000-0002-1980-5285

**Sofia A. Simenenko<sup>2</sup>**

ORCID: 0009-0006-7615-5094

<sup>1</sup>*The Black Sea Naval College named after P. S. Nakhimov, Sevastopol, Russian Federation*

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

**Abstract.** Based on the analysis of the equilibrium equations of a two-link suspension system for bulky cargo, two methods for determining the position of the gravity center of this cargo are proposed. The essence of the methods consists in double suspension of this system and measuring the angles of its deviation in the suspended equilibrium position. In this case, the difference in the angles of deviation of the system between suspensions is provided either by changing the height of the primary suspension (the length of the primary slings), or by changing the ratio of the masses of the traverse and the load. A comparative analysis of the accuracy and practical feasibility of both methods is carried out. It is shown that when carrying out cargo operations in a port or on a ship, a method in which the difference in the angles of deviation of the system between suspensions is carried out by changing the length of the primary slings (the height of the primary suspension) is practically feasible and more accurate.

The work emphasizes that an important condition for ensuring the stability of the system when hanging and preventing overturning of the load is that the primary slings (connecting the hook and the traverse) must be of such length that the suspended load can virtually be inscribed inside the pyramid (safety pyramid) formed by the traverse and these slings. It is also shown that the length of the secondary slings (connecting the traverse and the load) does not matter, but they must be of equal length and parallel to each other, which will ensure their vertical position after hanging the system. The heavier the traverse (in comparison with the weight of the suspended cargo), the higher the safety pyramid, and therefore the more stable the cargo suspension system as a whole becomes. On the other hand, the longer the primary slings (the higher the safety pyramid), the smaller the angles of deviation of the traverse (and the system as a whole) from the initial position when suspended. To demonstrate the possibilities of the proposed new method for determining the position of the cargo center, a numerical example of its implementation is given.

**Keywords:** bulky cargo, center of gravity, double suspension, stability of the suspension system, safety pyramid, angles of deflection of the traverse or loading platform.

### **Введение**

Опыт эксплуатации показывает, что погрузка (выгрузка) крупногабаритных и тяжеловесных грузов (КТГ), а также их транспортировка с помощью морских судов представляет собой достаточно сложный и опасный процесс, зачастую приводящий к серьезным последствиям. Одной из причин такого положения может быть отсутствие точной информации о положении центра тяжести (ЦТ) загружаемого судно груза. Приблизительная или неточная информация о координатах ЦТ КТГ особенно опасна, если при его погрузке/выгрузке применяется сложная (многозвенная) система подвешивания к гаку подъемного устройства. Примеры такого рода систем представлены на рис. 1-2, а схематично – на рис. 3.

Многозвенные (как правило, двухзвенные) системы подвешивания, в которых груз соединяется с гаком подъемного крана через промежуточные погрузочные элементы (траверсы, балки и т. п.), обладают гораздо меньшей устойчивостью, чем, например, простые, однозвенные, в которых груз с помощью гибких строп непосредственно крепится к грузовому гаку.

Причиной пониженной устойчивости двухзвенных систем является то, что они, с точки зрения классической механики, имеют по меньшей мере две степени свободы и, как следствие, обладают меньшей устойчивостью и большей чувствительностью к малейшим внешним воздействиям. Более того, если ЦТ груза в такой двухзвенной системе размещен достаточно высоко, и при этом, он не находится на одной вертикали с гаком подъемного устройства (точкой подвеса), то такая система после ее подвешивания может существенно деформироваться или полностью потерять устойчивость и опрокинуться.



Рис.1. Погрузка судовыми кранами ядерного реактора (взято из [4])

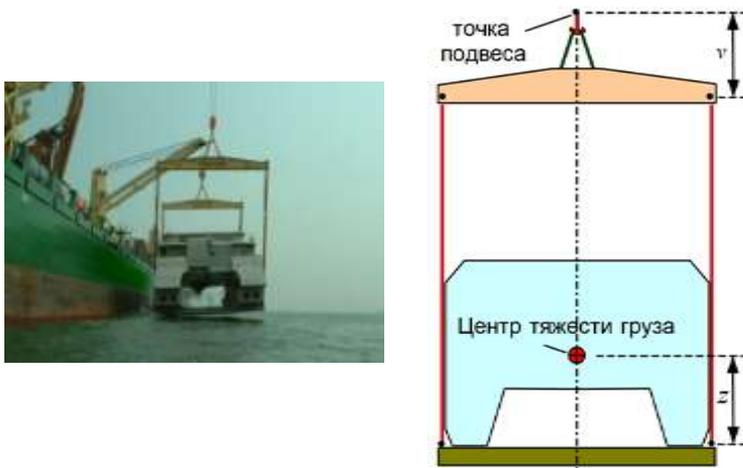


Рис. 2. Погрузка на судно катамарана (двухзвенная система подвешивания груза)

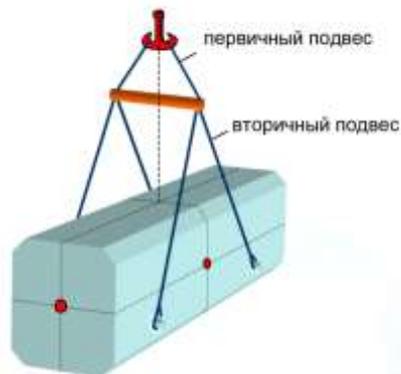


Рис. 3. Типичная двухзвенная система подвешивания груза

Недостоверная (приблизительная) информация о положении ЦТ КТГ не позволяет также с достаточной точностью оценить изменение остойчивости и посадки судна при погрузке (выгрузке), особенно, если такая погрузка осуществляется судовыми кранами. Наконец, неточная оценка координат ЦТ КТГ может приводить к серьезным ошибкам при составлении грузового плана и оценке остойчивости судна на переходе морем. Исходя из вышеизложенного, становится ясным, что корректная и надежная оценка положения ЦТ транспортируемого КТГ является важной задачей.

В настоящее время известны несколько различных способов определения положения центра тяжести КТГ путем их частичного или полного подвешивания с помощью подъемного устройства. Например, в работе [1] предлагается способ, суть которого состоит в том, что объект (груз), чей ЦТ необходимо определить, с помощью траверсы и петли навески присоединяют к подъемному устройству. После присоединения груз подъемным устройством частично приподнимается, так чтобы продолжать опираться одной стороной на то место, где он первоначально находился. В полу-подвешенном состоянии измеряют усилие, действующее на крюк подъемного устройства, а из условия равновесия груза при его одностороннем опирании определяют расстояние от точки подвеса до приблизительного месторасположения ЦТ груза. Затем, перемещают петлю навески траверсы на это расстояние по направлению к месторасположению ЦТ груза и последовательно повторяют этот процесс до тех пор, пока петля навески не окажется на одной вертикали с ЦТ груза. Очевидно, что этот способ достаточно сложен в реализации, так как перед каждым подвешиванием необходимо каким-то образом перемещать объект относительно точки подвеса (крюка грузового устройства). Кроме того, при каждом подвешивании нужно контролировать пространственную ориентацию полу-подвешенного груза, а также измерять силу, действующую на крюк подъемного устройства.

Известен также способ определения положения ЦТ груза, заключающийся в присоединении последнего (с помощью двух групп гибких строп попарно разной длины) через промежуточную прямоугольную траверсу к крюку подъемного устройства, его двукратном поднятии и свободном подвешивании до положения равновесия, а также измерении параметров ориентации груза в подвешенном положении равновесия и последующем вычислении на их основе координат его ЦТ [2]. При этом, разница между первым и вторым подвешиваниями груза состоит в том, что вторичные стропы, которые должны быть обязательно попарно разной длины, меняют местами.

Однако и этот способ достаточно сложен и громоздок, так как, во-первых, при каждом подвешивании необходимо измерять не только угловые отклонения самого груза, но и углы отклонения строп (которые будут разные, так как стропы разной длины). Во-вторых, предлагаемая математическая процедура вычисления координат ЦТ груза также достаточно сложна, требует, при этом, решения системы достаточно большого количества уравнений [2]. Наконец, предлагаемая система подвешивания груза сама по себе может быть неустойчивой, если стропы будут крепиться в нижней части груза, а точнее, ниже его ЦТ, положение которое на момент измерения (подвешивания) неизвестно.

И первый, и второй вышеописанные способы обладают еще одним существенным недостатком: они вряд ли могут быть реализованы в условиях порта, перед погрузкой на судно, так как требуют довольно сложного оборудования и измерительных приборов. Кроме того, сама процедура подвешивания и измерения занимает достаточно продолжительное время.

Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования является разработка такого подхода (способа), при котором упрощается процедура измерения и расчета положения центра тяжести (ЦТ) груза при его подвешивания, а также гарантируется устойчивость самой системы подвешивания груза в процессе измерения.

### Методы

Для реализации поставленной цели могут быть использованы наработки, связанные с анализом и оценкой устойчивости так называемых *двухзвенных систем подвешивания груза*, выполненные в [3-7]. В этих работах показано, что при подъеме (подвешивании) груза с помощью двухзвенной системы последняя будет деформироваться (изменять свою первоначальную конфигурацию) если ЦТ груза изначально не находился на одной вертикали с точкой подвеса (крюком подъемного устройства). Более того, в работах [5-7] проанализировано, при каких условиях такая двухзвенная система подвешивания будет устойчивой, а также получены аналитические соотношения, связывающие координаты ЦТ груза (относительно точки подвеса) с углами отклонения элементов системы подвешивания. Таким образом, для достижения нашей цели, положение ЦТ груза может быть вычислено путем решения обратной задачи, а именно: путем подвешивания двухзвенной системы с грузом и, в случае ее деформации (отклонения) – измерения углов отклонения ее элементов и последующим вычислением координат ЦТ груза.

Рассмотрим более подробно предлагаемый подход. На рис. 4 представлена типичная двухзвенная система, достаточно часто применяемая при погрузке (выгрузке) груза (как правило, крупногабаритного) на судно. Ее первое звено (первичный подвес), включает крюк подъемного устройства 1, гибкие стропы 2 и жесткую прямоугольную траверсу 3. Второе звено (вторичный подвес) включает вторичные гибкие стропы 4, параллельные и равные друг другу, соединенные с погрузочной платформой 6, на которой и закреплен поднимаемый груз 5.

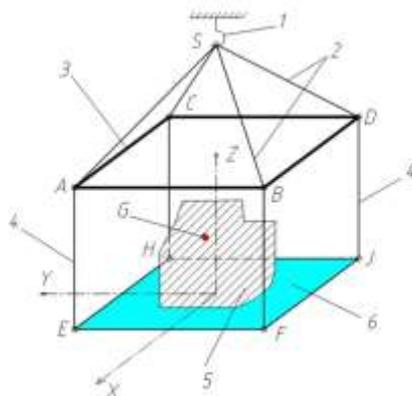


Рис. 4. Типичная двухзвенная система с грузом (до ее свободного подвешивания)

В работах [5-7] показано, что с позиций теоретической механики, такая система имеет две степени свободы, поэтому при ее подвешивании и первичный, и вторичный подвесы могут отклоняться от первоначального положения, в случае, если первоначально (до подвешивания) ЦТ груза 5 был смещен относительно вертикали, проходящей через точку подвеса 1. Более того, было также показано, что при значительном смещении ЦТ груза 5 относительно точки подвеса 1, а также при достаточно его высоком расположении относительно погрузочной платформы 6, система в целом становится неустойчивой, что может привести к ее значительной деформации и опрокидыванию груза. При этом, если свести пространственную систему подвешивания (рис.4) путем ее проецирования на две взаимно перпендикулярные плоскости, то получим две плоские системы подвешивания, представленные на рис. 5. Для таких плоских систем в работах [5-7] исследованы условия их устойчивого равновесия после подвешивания. При этом, было строго доказано, что каждая из таких плоских систем будет устойчивой после подвешивания если ЦТ груза находится внутри соответствующего равнобедренного треугольника

(треугольника безопасности [5-7]), основание которого определяется шириной первичного подвеса (AB, BD – рис.5), а его высота  $z_m$  равна не менее, чем высота первичного подвеса  $h$  – вертикального расстояния от точки подвеса S до траверсы ABCD.

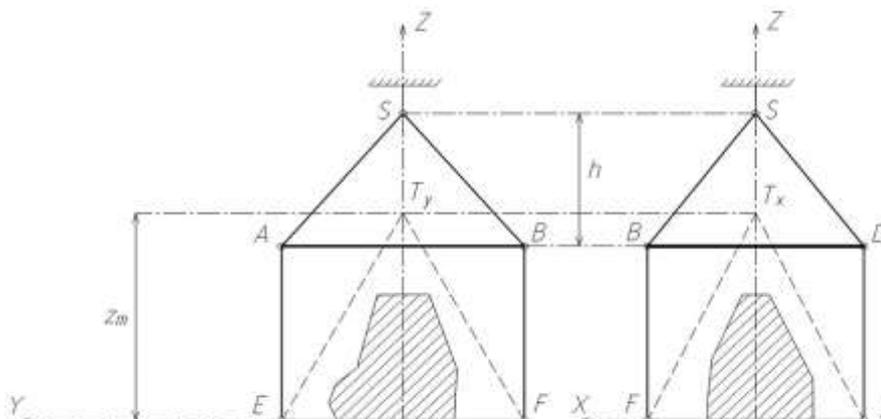


Рис. 5. Взаимно перпендикулярные проекции исходной пространственной системы подвешивания груза с треугольниками безопасности

При этом, высота каждого из треугольников безопасности (EFT<sub>y</sub> (или FJT<sub>x</sub> – рис. 5) будет тем больше, чем тяжелее масса траверсы ABCD. Как показано в [5-7]), на может вычислена по формуле:

$$z_m = h \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) \quad (1)$$

где  $h$  – высота первичного подвеса, вычисляемая по формуле:

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{4l^2 - a^2 - b^2}, \quad (2)$$

где  $l$  – длина первичных строп, м;

$a=AB=CD$ ,  $b=BD=AC$  – длины сторон траверсы, м;

$P_c$ ,  $p$  – масса груза и траверсы, кг.

**Замечание 1.** Двухзвенная система подвешивания (рис.4) представляет собой более общий случай, чем система на рис.3. Действительно, при трансформации последней в две плоские системы (путем соответствующего проецирования) мы получаем одну систему с параллельными вторичными стропами и траверсой, длина которой соответствует длине фактической траверсе, а также вторую плоскую двухзвенную систему с разведенными вторичными стропами (и нулевой длиной основания первичного подвеса).

**Замечание 2.** Очевидно, что в большинстве случаев ЦТ груза (даже если не известно его точное местоположение) расположен внутри внешней (наружной) поверхности этого груза. Следовательно, логично предположить, что для того, чтобы двухзвенная система с грузом была устойчивой после подвешивания необходимо и достаточно, чтобы наружная поверхность этого груза (ее проекции на плоскостях) были вписаны внутрь соответствующих треугольников безопасности EFT<sub>y</sub> и FJT<sub>x</sub> (рис. 5).

Если перейти к анализу и оценке устойчивости пространственной двухзвенной системы подвешивания (см. рис. 4), то с большой долей уверенности можно предположить, что она будет устойчива, если ЦТ груза расположен внутри прямоугольной пирамиды EFNJT (рис.6), образованной путем обратного проецирования треугольников безопасности EFT<sub>y</sub> и FJT<sub>x</sub> (рис.6). Как видно из рисунка, основанием этой пирамиды (пирамиды безопасности) является

прямоугольник EFHJ (или ABCD), а высота пирамиды равна высоте соответствующих треугольников безопасности и может быть вычислена по формулам (1), (2).

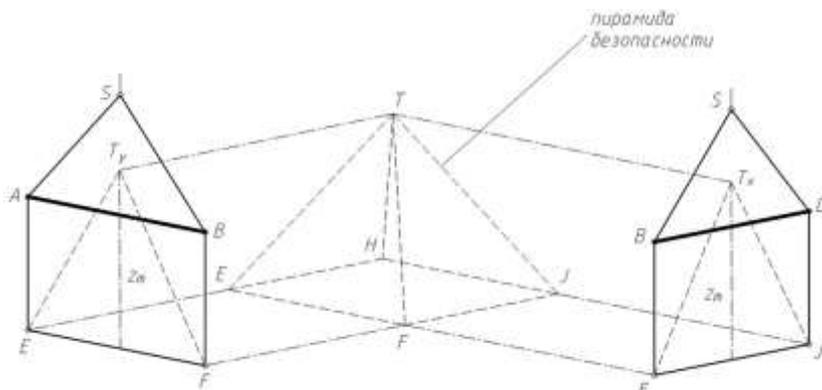


Рис. 6. Пирамида безопасности для исходной пространственной двухзвенной системы подвешивания

Предположим, что координаты ЦТ груза 5, закрепленного на платформе 6, первоначально неизвестны. И наша задача – определить их путем подвешивания системы, представленной на рис. 4. Для определенности, выберем систему координат OXYZ, как показано на рис. 4. Пусть эта система координат жестко привязана к погрузочной платформе 6, при этом, ось OZ направлена вертикально вверх и первоначально (до подвешивания) проходит через точку подвеса S. Оси OX и OY расположим горизонтально и параллельно сторонам траверсы ABCD (погрузочной платформы EFHJ) соответственно (рис.4). Поскольку координаты ЦТ груза принимаются неизвестными, то будем полагать, что ЦТ груза (точка G) смещен относительно точки подвеса S. Кроме того, пусть все три координаты ЦТ не равны нулю и имеют значения x, y, z. Условимся также, что значения всех трех координат таковы, что ЦТ находится внутри вышеназванной пирамиды безопасности EFHJT (рис. 6).

Если такую двухзвенную систему поднять и подвесить в точке S, то, как было показано ранее в [5-7]), элементы системы (первичный подвес, а также погрузочная платформа с грузом) отклонятся от первоначального положения. При этом вторичные стропы (AE, BF, DJ, CH) останутся вертикальными и параллельными друг другу. Последнее означает, что в подвешенном состоянии платформа EFHJ и траверса ABCD, отклонившись, также останутся параллельными друг другу. И самое главное, отклонившись после подвешивания, система займет устойчивое положение равновесия (поскольку ЦТ находится внутри пирамиды безопасности).

В плоскости ZOY траверса и погрузочная платформа с грузом отклонятся на одинаковый угол  $\alpha$ , который можно вычислить по формуле [5-7]:

$$tg \alpha = \frac{y}{h \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) - z} . \tag{3}$$

В плоскости ZOX траверса и платформа отклонятся на угол  $\beta$ , который можно вычислить по формуле [5-7]:

$$tg \beta = \frac{x}{h \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) - z} . \tag{4}$$

Уравнения (3) и (4) можно рассматривать как систему уравнений с неизвестными переменными x, y, z, которые необходимо найти. Поскольку уравнений – два, а переменных – три, то для нахождения всех координат ЦТ груза одним подвешиванием системы ограничиться нельзя. Необходимо провести, как минимум,

два подвешивания с разными исходными параметрами системы, входящими в уравнения (3) и (4). Таких параметров системы подвешивания в этих уравнениях два: высота первичного подвеса  $h$  и отношение масс траверсы и груза  $\frac{p}{P_c}$ . (Величины углов отклонения  $\alpha$  и  $\beta$  не являются параметрами системы, они должны быть измерены при каждом подвешивании.)

Если после первого подвешивания системы изменить один из ее исходных параметра ( $h$  или  $\frac{p}{P_c}$ ), то при втором подвешивании углы отклонения  $\alpha$  и  $\beta$  будут иными. Это означает, что вместо системы двух уравнений типа (3-4) мы получим систему четырех уравнений с тремя неизвестными. Таким образом, задача определения координат ЦТ груза может быть успешно решена. Рассмотрим, оба возможных варианта (способа) определения координат ЦТ груза путем двукратного подвешивания более подробно.

### Обсуждение

**Первый способ** – изменение высоты первичного подвеса  $h$ . Предположим, что при первом подвешивании (опыте) высота первичного подвеса была равна  $h_1$ . При этом измеренные углы отклонения траверсы (или погрузочной платформы с грузом) –  $\alpha_1, \beta_1$ .

Предположим также, что при втором подвешивании высота первичного подвеса равна  $h_2$ , а измеренные углы отклонения –  $\alpha_2, \beta_2$ . Тогда по результатам двух подвешиваний можно составить следующую систему уравнений:

$$tg \alpha_1 = \frac{y}{h_1 \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) - z}, \quad (5)$$

$$tg \beta_1 = \frac{x}{h_1 \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) - z}, \quad (6)$$

$$tg \alpha_2 = \frac{y}{h_2 \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) - z}, \quad (7)$$

$$tg \beta_2 = \frac{x}{h_2 \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) - z}, \quad (8)$$

Решая совместно уравнения (6-8) можно получить следующие соотношения:

$$z = \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) \left[ \frac{h_2 tg \alpha_2 - h_1 tg \alpha_1}{tg \alpha_2 - tg \alpha_1} \right], \quad (9)$$

$$y = \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) tg \alpha_1 tg \alpha_2 \left[ \frac{h_2 - h_1}{tg \alpha_1 - tg \alpha_2} \right], \quad (10)$$

а решая совместно уравнения (6-8), соответственно получим:

$$z = \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) \left[ \frac{h_2 tg \beta_2 - h_1 tg \beta_1}{tg \beta_2 - tg \beta_1} \right], \quad (11)$$

$$x = \left( \frac{p}{P_c} + 1 \right) tg \beta_1 tg \beta_2 \left[ \frac{h_2 - h_1}{tg \beta_1 - tg \beta_2} \right]. \quad (12)$$

Таким образом, получены расчетные формулы (9-12), позволяющие вычислить все три координаты ЦТ подвешиваемого груза. Более того, вертикальная координата ЦТ груза  $z$  может быть вычислена по любой из формул (9) или (11), которые, по существу, независимы друг от друга. Это предоставляет нам возможности по увеличению точности расчетов путем сравнения результатов, полученных по двум независимым формулам.

**Второй способ** – изменение отношения масс траверсы и груза  $\frac{p}{P_c}$ . Этот способ, по существу, включает два варианта, так как отношение  $\frac{p}{P_c}$  можно изменять либо путем изменения массы траверсы  $p$ , либо массы груза  $P_c$ . (Второй вариант может быть реализован путем установки дополнительного груза массой  $m$  на погрузочную платформу).

Следуя логике первого способа, предположим, что в первом подвешивании (опыте) отношение массы траверсы и груза было равно  $\bar{p}_1 = \left(\frac{p}{P_c}\right)_1$ . При этом измеренные углы отклонения траверсы (или погрузочной платформы с грузом) –  $\alpha_1, \beta_1$ . Во втором подвешивании будем полагать, что отношение масс –  $\bar{p}_2 = \left(\frac{p}{P_c}\right)_2$ , а измеренные углы отклонения –  $\alpha_2, \beta_2$ . Тогда по результатам двух подвешиваний можно составить следующую систему уравнений:

$$tg \alpha_1 = \frac{y}{h(\bar{p}_1 + 1) - z}, \quad (13)$$

$$tg \beta_1 = \frac{x}{h(\bar{p}_1 + 1) - z}, \quad (14)$$

$$tg \alpha_2 = \frac{y}{h(\bar{p}_2 + 1) - z}, \quad (15)$$

$$tg \beta_2 = \frac{x}{h(\bar{p}_2 + 1) - z}, \quad (16)$$

где  $\bar{p}_1 = \left(\frac{p}{P_c}\right)_1, \bar{p}_2 = \left(\frac{p}{P_c}\right)_2$  – отношения масс траверсы и груза при первом и втором подвешиваниях соответственно.

Решая совместно вначале систему (13-15), а затем (14-16), в итоге можно получить следующее:

$$z = h \left[ \frac{(\bar{p}_2 + 1)tg \alpha_2 - (\bar{p}_1 + 1)tg \alpha_1}{tg \alpha_2 - tg \alpha_1} \right], \quad (17)$$

$$y = h \cdot tg \alpha_1 \cdot tg \alpha_2 \left[ \frac{\bar{p}_2 - \bar{p}_1}{tg \alpha_1 - tg \alpha_2} \right], \quad (18)$$

$$z = h \left[ \frac{(\bar{p}_2 + 1)tg \beta_2 - (\bar{p}_1 + 1)tg \beta_1}{tg \beta_2 - tg \beta_1} \right], \quad (19)$$

$$x = h \cdot tg \beta_1 \cdot tg \beta_2 \left[ \frac{\bar{p}_2 - \bar{p}_1}{tg \beta_1 - tg \beta_2} \right], \quad (20)$$

Сравним между собой оба способа по точности определения координат ЦТ груза. Очевидно, что эта точность зависит, в том числе, и от того, насколько большей будет разница между  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  ( $\beta_1$  и  $\beta_2$ ) при изменении высоты первичного подвеса  $h$  (в первом способе) и изменения отношения масс траверсы и груза  $\frac{p}{P_c} = \bar{p}$  (во втором). Иными словами, насколько чувствительна система подвешивания (степень ее наклона) при изменении вышеуказанных параметров ( $h$  и  $\bar{p}$ ).

Оценим эту чувствительность на примере изменения угла  $\alpha$ , для чего проанализируем уравнение (3). Для оценки чувствительности первого способа представим это уравнение в виде:

$$tg \alpha = \frac{y}{h - z} \quad (21)$$

Такой упрощенный вид уравнения (3) следует из того обстоятельства, что при подъеме и погрузке на судно крупногабаритных или тяжеловесных грузов масса траверсы намного меньше массы самого груза ( $p \ll P_c$ ), откуда следует:

$$\left(\frac{p}{P_c} + 1\right) \approx 1 \quad (22)$$

Из уравнения (21) видно, что при фиксированных значениях  $y, z$  (координат ЦТ груза) изменение угла наклона системы  $\alpha$  будет зависеть только от изменения высоты первичного подвеса  $h$ .

Пусть при первом подвешивании эта высота равна  $h_1$ , а угол отклонения –  $\alpha_1$ , а при втором подвешивании –  $h_2$  и  $\alpha_2$  соответственно. Тогда, используя (21), можно получить:

$$\frac{tg\alpha_2}{tg\alpha_1} = \frac{h_1 - z}{h_2 - z} = \frac{1 - \frac{z}{h_1}}{\frac{h_2}{h_1} - \frac{z}{h_1}}. \quad (23)$$

Графики изменения величины  $\frac{tg\alpha_2}{tg\alpha_1}$  от отношения  $\frac{h_2}{h_1}$  при разных значениях аппликаты ЦТ груза ( $z$ ), построенные в соответствии с (23), представлены на рис. 7.

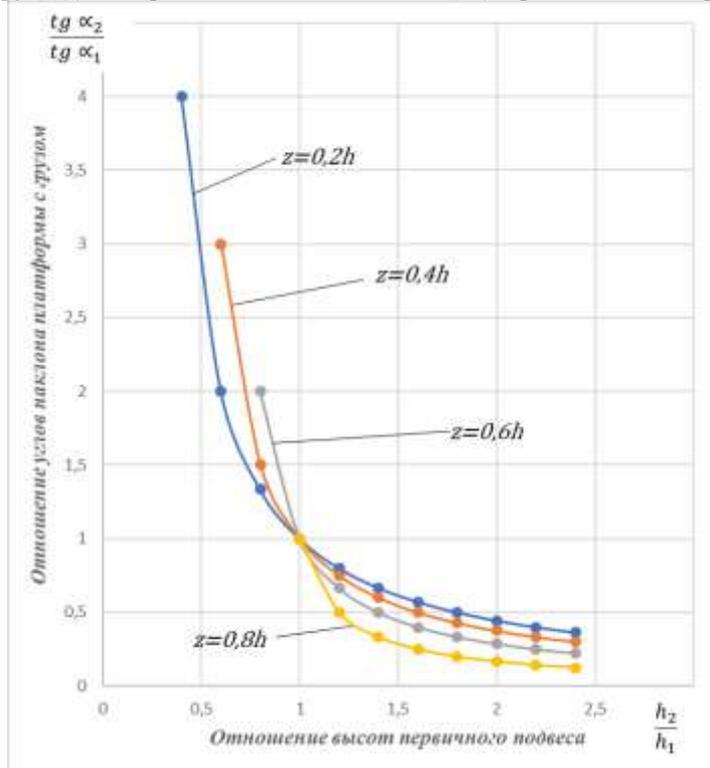


Рис.7. Изменение отношения углов наклона системы  $\left(\frac{tg\alpha_2}{tg\alpha_1}\right)$  от отношения высот первичного подвеса  $\frac{h_2}{h_1}$

Из рис. 7 видно, что увеличение высоты первичного подвеса в 1,5 раза ( $\frac{h_2}{h_1} = 1,5$ ) уменьшает угол отклонения системы во втором подвешивании в 1,4÷4,0 раза ( $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \approx 0,25 \div 0,75$ ). А ее уменьшение на четверть ( $\frac{h_2}{h_1} \approx 0,75$ ) – увеличивает угол  $\alpha$  в 1,4÷2,0 раза ( $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \approx 1,4 \div 2,0$ ).

**Замечание 3.** Общеизвестно [8], что при относительно небольших углах ( $\alpha \leq 10^0$ ) справедливо приближенное равенство  $tg\alpha \approx \alpha$ , если этот угол измеряется в радианах. При этом ошибка не превышает 1%. При углах  $\alpha \leq 15^0$  эта ошибка составляет не более 4%. Поскольку при подвешиваниях углы отклонения нашей системы, как правило, не превышают значений  $15^0 \div 16^0$ , то можно положить, что:

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \approx \frac{tg \alpha_2}{tg \alpha_1}; \quad \frac{\beta_2}{\beta_1} \approx \frac{tg \beta_2}{tg \beta_1}. \quad (24)$$

Для сравнения, если мы хотим добиться вторым подвешиванием уменьшения угла отклонения системы в 2 раза ( $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \approx 0,5$ ) путем изменения отношения масс траверсы и груза ( $\frac{p}{P_c} = \bar{p}$ ), то следуя логике уравнения (3), необходимо увеличить соотношение ( $\frac{p}{P_c} + 1$ ) в два раза, то есть должно быть достигнуто следующее равенство:  $(\bar{p}_2 + 1) = 2$ , откуда следует:

$$\bar{p}_2 = \left(\frac{p}{P_c}\right)_2 = 1. \quad (25)$$

Из последнего уравнения следует, что во втором подвешивании либо масса траверсы должна увеличиться до массы груза, либо масса груза (вместе с погрузочной платформой) должны уменьшиться до массы траверсы. И то, и другое неприемлемо из практических соображений, так как противоречит здравому смыслу.

Этот простой анализ показывает, что определение положения ЦТ груза с помощью двукратного подвешивания вторым способом, а именно путем изменения отношения масс траверсы и груза обладает гораздо более низкой чувствительностью, и соответственно, точностью. Поэтому с практической точки зрения трудно реализуем и, поэтому, неприемлем.

Это же анализ показал, что первый способ определения положения ЦТ груза (путем двукратного подвешивания и изменением высоты первичного подвеса) обладает довольно хорошей чувствительностью и, соответственно, точностью, а также довольно простой реализацией на практике.

**Замечание 4.** Несмотря на то, что высота первичного подвеса определяется как размерами траверсы, так и длиной первичных строп, с практической точки зрения изменять эту высоту проще путем изменения длины строп. (Изменение размеров траверсы повлечет перестройку всей системы подвешивания с грузом, так как необходимо соблюсти при этом условие одинаковости и параллельности вторичных строп.) Поэтому, первый способ определения положение ЦТ по существу является способом, при котором между подвешиваниями (опытами) изменяется длина первичных строп.

В заключение рассмотрим пример реализации первого способа на численном примере. Пусть имеется груз, закрепленный на погрузочной платформе EFHJ (рис. 4). Масса груза вместе с платформой  $P_c=80$ т (80 000кг). Положение ЦТ груза (вместе с платформой EFHJ) неизвестно. Пусть имеется прямоугольная траверса массой  $p=15$ т (15 000кг). Размеры траверсы (между точками крепления) одинаковы с размерами погрузочной платформы и составляют:  $a=AB=ED=8$ м;  $b=AE=BD=4$ м. Имеются в наличии две группы первичных строп длиной  $l_1=7$ м и  $l_2=11$ м, а также вторичных – длиной 12м. Используя двухзвенную систему (рис. 4), необходимо определить координаты ЦТ груза с платформой путем двукратного подвешивания с изменением длины первичных строп и измерения углов отклонения платформы (углов  $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ ).

### Решение

Подсоединяем груз на платформе с помощью вторичных строп к траверсе ABCD, а затем к гаку подъемного устройства (крана) с помощью первичных строп длиной  $l_1=7$ м. Будем полагать, что этой длины достаточно, для того чтобы измеряемый груз был полностью вписан в пирамиду первичного подвеса SABCD (рис. 6). В этом случае устойчивость системы в процессе опыта (подвешивания) будет гарантирована. Кроме того, такая длина строп обеспечивает максимальный угол между ними не

менее  $72^0$ , что соответствует требованиям безопасности [8]. (Расчет максимального угла несложно выполнить, зная длину первичных строп и размеры траверсы).

Производят первое подвешивание системы, в результате которого (из-за смещения ЦТ груза относительно точки подвеса) система деформируется, при этом вторичные стропы останутся в вертикальном положении (рис. 8).

В подвешенном положении равновесия системы измеряют (например, с помощью жидкостного уровня с мерными стеклами) угол отклонения стороны погрузочной платформы EF –  $\alpha_1=17,5^0$ , а также угол отклонения стороны платформы FJ от исходного (горизонтального) положения –  $\beta_1=8,9^0$  (рис. 8).

Систему опускают в исходное положение и заменяют первичные стропы на другие, имеющие большую длину  $l_2=11\text{м}$ . После этого систему вновь подвешивают и измеряют углы отклонения погрузочной платформы EFJH:  $\alpha_2=4,6^0$  и  $\beta_2=2,3^0$ .

Для расчета координат ЦТ груза с платформой по формулам (9-12) необходимо вначале рассчитать высоты первичного подвеса  $h_1$  и  $h_2$  по формуле типа (2), а именно:

$$h_1 = \frac{1}{2} \sqrt{4l_1^2 - BD^2 - AB^2} = \frac{1}{2} \sqrt{4 \cdot 7^2 - 4^2 - 8^2} = 5,39\text{м}$$

$$h_2 = \frac{1}{2} \sqrt{4l_2^2 - BD^2 - AB^2} = \frac{1}{2} \sqrt{4 \cdot 11^2 - 4^2 - 8^2} = 10,05\text{м}$$

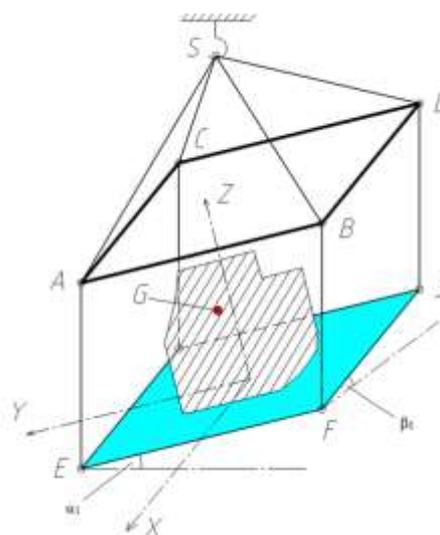


Рис. 8. Система в положении равновесия после первого свободного подвешивания

Далее по формулам (9) и (11) вычисляют координату z:

$$z = \left(\frac{p}{P_c} + 1\right) \left[ \frac{h_2 \text{tg } \alpha_2 - h_1 \text{tg } \alpha_1}{\text{tg } \alpha_2 - \text{tg } \alpha_1} \right] = \left(\frac{15}{80} + 1\right) \left( \frac{10,05 \cdot \text{tg}4,6 - 5,39 \cdot \text{tg}17,5}{0,0805 - 0,3153} \right) = 4,506\text{м}$$

$$z = \left(\frac{p}{P_c} + 1\right) \left[ \frac{h_2 \text{tg } \beta_2 - h_1 \text{tg } \beta_1}{\text{tg } \beta_2 - \text{tg } \beta_1} \right] = \left(\frac{150}{80} + 1\right) \left( \frac{10,05 \text{tg}2,3 - 5,39 \text{tg}8,9}{\text{tg}2,3 - \text{tg}8,9} \right) = 4,493.$$

Полученные два значения z практически равны друг другу, что свидетельствует о качественном проведении обоих опытов (измерений).

1). Теперь по формулам (10) и (12) вычисляются координаты  $y$  и  $x$  соответственно:

$$y = \left(\frac{p}{P_c} + 1\right) \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 \left[ \frac{h_2 - h_1}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2} \right] = 1,1875 \cdot 0,3153 \cdot 0,0805 \cdot \left( \frac{10,05 - 5,39}{0,3153 - 0,0805} \right) = 0,0301 \text{ м,}$$

$$x = \left(\frac{p}{P_c} + 1\right) \operatorname{tg} \beta_1 \operatorname{tg} \beta_2 \left[ \frac{h_2 - h_1}{\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta_2} \right] = 1,1875 \cdot 0,1566 \cdot 0,04016 \cdot \left( \frac{10,05 - 5,39}{0,1566 - 0,04016} \right) = 0,299 \text{ м,}$$

Таким образом, в результате подвешивания и расчетов установлено, что высота ЦТ груза с платформой (относительно плоскости ЕФJH) составляет  $z \approx 4,5$  м, при этом его смещение относительно точки подвеса составляет соответственно:  $x=0,299$  м и  $y=0,030$  м.

**Замечание 3.** Если необходимо определить координаты ЦТ только груза (без погрузочной платформы), то это также нетрудно выполнить, если известны массы и груза, и платформы. Так, если в выше рассмотренном примере положить, что масса груза (без платформы) составляет  $P=78$  т, а самой платформы –  $p_b=2$  т, при этом координаты ЦТ последней:  $x_b=y_b=0$ ,  $z_b=0,3$  м, то координаты ЦТ ( $x_\Gamma$ ,  $y_\Gamma$ ,  $z_\Gamma$ ) можно вычислить следующим образом:

$$z_\Gamma = \frac{P_c z - p_b z_b}{P_c - p_b} = \frac{80 \cdot 4,5 - 2 \cdot 0,3}{78} = 4,61 \text{ м;}$$

$$x_\Gamma = \frac{P_c x - p_b x_b}{P_c - p_b} = \frac{80 \cdot 0,299 - 0}{78} = 0,307 \text{ м;}$$

$$y_\Gamma = \frac{P_c y - p_b y_b}{P_c - p_b} = \frac{80 \cdot 0,03 - 0}{78} = 0,031 \text{ м.}$$

В заключение хотелось бы отметить, что предлагаемый нами способ определения положения ЦТ КТГ, несмотря на его простоту и безопасность (в сравнение с прототипами) все же достаточно сложен для повседневного применения в судовых или портовых условиях. Однако, по нашему мнению, в случае крайней необходимости он может быть использован непосредственно перед погрузкой/выгрузкой на судне, так как не требует для своей реализации какого-либо специального оборудования или сложных измерительных приборов. Например, он может быть полезен и применен перед погрузкой на судно с необорудованного причала крупногабаритного (или тяжелого груза) груза, ЦТ которого, по каким-либо причинам не был заранее определен.

### Заклучение

На основе результатов проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- 1) На основе уравнений равновесия двухзвенной системы подвешивания предложены два возможных способа определения положения ЦТ груза, суть которых заключается в двукратном подвешивании двухзвенной системы с грузом и измерении углов ее отклонения в подвешенном положении равновесия. При этом разница в углах отклонения системы между подвешиваниями обеспечивается либо путем изменения высоты первичного подвеса (длины первичных строп) – первый способ, либо путем изменения отношения масс траверсы и груза – второй способ. Определение координат ЦТ груза осуществляется с помощью разработанных в статье формул в зависимости от полученных значений углов отклонения системы при двух подвешиваниях, а также высоты первичного подвеса и отношения масс траверсы и груза.

- 2) Проведен сравнительный анализ точности и практической реализуемости обоих способов. При этом, показано, что с практической точки зрения, в том числе при осуществлении грузовых операций в порту или на судне, наиболее подходящим и более точным является первый способ, в котором разница углов отклонения системы в подвешиваниях осуществляется путем изменения длины первичных строп (высоты первичного подвеса).
- 3) Показано, что для обеспечения устойчивости двухзвенной системы подвешивания в процессе измерения координат ЦТ груза, важным условием является то, что первичные стропы (соединяющие крюк и траверсу), должны быть одинаковой длины и таковой, чтобы измеряемый (подвешиваемый) груз виртуально мог быть вписан внутрь пирамиды (*пирамиды безопасности*), образованной траверсой и этими стропами. Длина вторичных строп (соединяющих траверсу и груз) не имеет значения, однако, важно, чтобы они были равной длины и параллельны друг другу.
- 4) Чем тяжелее траверса (в сравнение с массой груза) – тем выше пирамида безопасности, а значит и более устойчивой становится система подвешивания в целом. Характерно также, что длина вторичных строп не влияет на устойчивость двухзвенной системы подвешивания.
- 5) Ввиду избыточности получаемой в результате подвешиваний информации, аппликата ЦТ груза  $z$  может быть вычислена двумя различными способами (по формулам 9 или 11). Это предоставляет дополнительные возможности для повышения точности получаемых результатов. Например, вычисленные разными способами значения  $z$ , можно сравнивать между собой или определять среднее между ними. Если же они окажутся слишком разными, то это может быть свидетельством какой-либо ошибки, требующей анализа и, возможно, дополнительного подвешивания (измерения).

#### Список литературы

1. Умрихин В.И., Черный Н. В. Способ определения центра тяжести груза и устройство для его осуществления. Патент на изобретение: SU1 404 431 A1. Опубликовано: 1988.06.23
2. Блинов И.А. Способ определения положения центра тяжести массивных изделий. Патент на изобретение RU 2 721 158 C1. 2020.05.18.
3. Kaps H. (2009) BBC Guideline. Safe Solutions for Project Cargo Operations. Version 1.0. BBC Chartering & Logistics GmbH&Co. KG—68p. deckofficer.ru/titul/study/item/safe-solutions-for-project-cargo-operations
4. Kaps H. (2013) Stability of Cargo Suspension Arrangements. Transport Information Service (TIS) from the German Insurance Association. [www.tis-gdv.de/tis\\_e/inhalt.html](http://www.tis-gdv.de/tis_e/inhalt.html).
5. Никитин Е.В., Устойчивость двухзвенной системы подвешивания груза с параллельными стропами вторичного подвеса. Вестник одесского национального морского университета. Сборник научных трудов. Вып. 3 (39), 2013, с.156–167.
6. Nikitin Yevgeny V. Static and tip-over stability analysis of two-chain suspension arrangements for large scale cargo operations//WMU Journal of Maritime Affairs. Volume 13, Number 1, April 2014, pp. 101–126. DOI 10.1007/s13437-013-0054-5.
7. Никитин Е.В. Обеспечение остойчивости и безопасности на кораблях и судах при перегрузке крупногабаритных и тяжеловесных грузов: монография. Севастополь: ЧВВМУ имени П.С. Нахимова, 2018.—171с.
8. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Главиздат, 1953.—608с.

9. "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения". Приказ Ростехнадзора от 26.11.2020 №1 ФНП в области промышленной безопасности от 26.11.2020 №461. [www/normative.contur.ru](http://www/normative.contur.ru)

#### References

1. Umrikhiin, V. I., Chierny N.V. SU1 404 431 A1. IPS G01M 1/12. Sposob opredelenia tsentra tiazhesti gruzu i ustroistvo dlia ego osushestvlenia. Publ. 23 June 1988.
2. Blinov I.A. RU 2 721 158 C1. . IPS G01M 1/12. Sposob opredelenia polozhenia tsentra tiazhesti massivnyh izdelii. Publ. 18 May 2020.
3. Kaps H. (2009) BBC Guideline. Safe Solutions for Project Cargo Operations. Version 1.0. BBC Chartering & Logistics GmbH&Ko. KG—68p. [deckofficer.ru/titul/study/item/safe-solutions-for-project-cargo-operations](http://deckofficer.ru/titul/study/item/safe-solutions-for-project-cargo-operations)
4. Kaps H. (2013) Stability of Cargo Suspension Arrangements. Transport Information Service (TIS) from the German Insurance Association. [www.tis-gdv.de/tis\\_e/inhalt.html](http://www.tis-gdv.de/tis_e/inhalt.html).
5. Nikitin Yevgeny V. Ustoichivost dvuhzvennoy sistemy poveshiivaniia gruzu c parallelnumy stropamy vtoriichnogo podvesa. Vestnik odesskogo natsionalnogo universiteta. Sbornik nauchnyh trudov. Vol.3 (39), 2013, pp.156-167.
6. Nikitin Yevgeny V. Static and tip-over stability analysis of two-chain suspension arrangements for large scale cargo operations//WMU Journal of Maritime Affairs. Volume 13, Number 1, April 2014, pp. 101–126. DOI 10.1007/s13437-013-0054-5.
7. Nikitin Yevgeny V. Obespechenie ostoychivosti i bezopasnosti nf korabliah I sudah pri peregruzke krupnogabaritnyh I tiazhelovesnyh gruzov. Sevastopol: CHVVMU imeni P.S. Nakhimova, 2018.—171p.
8. Bronshtein, I.N., and K.A. Semendyaev. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhhsya vtuzov. M.: Glavizdat, 1953.
9. Pravila bezopasnosti opasnyh proizvodstvennykh obektov, na rotoryh ispolzuutsia podemnye sooruzhenia. PRIKAZ ROSTEHNADZORA, 26.11.2020 №1 FNP v oblasti provushltnnoi bezopasnosti, 26.11.2020 №461. [www/normative.contur.ru](http://www/normative.contur.ru)

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

**Никитин Евгений Васильевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры устройства и живучести корабля, Черноморское высшее военно-морское орденов Нахимова и Красной Звезды училище имени П. С. Нахимова, 299028, Российская Федерация, г. Севастополь, ул. Дыбенко, 1. e-mail: [yvnik76@yandex.ru](mailto:yvnik76@yandex.ru)

**Yevgeny V. Nikitin**, Dr. of Technical Sciences, professor, Professor of the Department of Construction and Survivability of Ship, The Black Sea Naval College named after P.S. Nakhimov, 1 Dybenko Str., Sevastopol, 299028, Russian Federation, e-mail: [yvnik76@yandex.ru](mailto:yvnik76@yandex.ru)

**Симененко София Андреевна**, аспирант кафедры океанотехники и кораблестроения, Севастопольский государственный университет, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33. e-mail: [sasimenenko@mail.sevsu.ru](mailto:sasimenenko@mail.sevsu.ru)

**Sofia A. Simenenko**, Ph.D. student of the Department of Ocean Engineering and Shipbuilding, Sevastopol State University, 33 Universitetskaia str., Sevastopol, 29903, Russian Federation, e-mail: [sasimenenko@mail.sevsu.ru](mailto:sasimenenko@mail.sevsu.ru)

Статья поступила в редакцию 22.02.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 22.02.2024; published online 20.06.2024.

УДК 620.179.16  
DOI: 10.37890/jwt.vi79.492

## **Ультразвуковой мониторинг пластической деформации**

**В. М. Родюшкин**<sup>1</sup>  
ORCID: 0000-0002-3081-0288

**А.В. Иляхинский**<sup>1</sup>  
ORCID: 0000-0002-7677-8455

**А.Б. Корнев**<sup>2</sup>  
ORCID: 0009-0006-1954-2004

**К.О. Каразанов**<sup>2</sup>  
ORCID: 0009-0000-8746-1691

<sup>1</sup>*Институт проблем машиностроения РАН, г. Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** Оценка последствий аварий, анализ безопасности, снижение рисков являются одними из ключевых тем исследований в области судоходства. Анализ аварийных ситуаций показывает, что все они в большинстве случаев характеризуются комбинацией каких-то причин, одна из которых – возникновение в элементах судов недопустимого напряженно-деформированного состояния. Определение характера разрушения является одним из мероприятий, позволяющих повысить надежность судов. Наличие пластической деформации, являющиеся признаком предельного состояния при мониторинге конструкции, приводит к видимому изменению геометрии структурных составляющих, но не к нарушению сплошности, которое согласно правилам Регистра контролируется при техническом освидетельствовании судна. Имея в распоряжение только регламентированные стандартные средства контроля, выявить пластическую деформацию не удастся. В статье рассматриваются вопросы контроля пластических деформаций в судостроительной стали 10ХСНД методом, основанном на анализе распространения упругих волн в ультразвуковом диапазоне в контролируемом изделии. Описан комплекс проведенных механических испытаний на растяжение и металлографических исследований. Путем растяжения плоского пропорционального образца в материале создавалось одноосное напряженно-деформированное состояние. При достижении требуемого уровня деформации исследовались изменения в структуре металла. Приведен анализ ультразвуковых данных при импульсном ультразвуковом зондировании и уровня генерации второй гармоники при непрерывном монохроматическом излучении ультразвука. Экспериментальные данные демонстрируют чувствительность ультразвукового метода к накоплению пластической деформации в металле при статическом нагружении. Изложенная в работе методика позволяет исключить неоднозначность в оценке напряженно-деформированного состояния элементов судна. Применение ультразвукового мониторинга пластической деформации в рамках технического обслуживания судов будет способствовать уменьшению аварийности на флоте.

**Ключевые слова:** пластическая деформация, ультразвуковой контроль, скорость упругой волны, генерация второй гармоники, микротвердость, микроструктура.

## **Ultrasonic monitoring of plastic deformation**

**Vladimir M. Rodyushkin**<sup>1</sup>  
ORCID: 0000-0002-3081-0288

**Aleksandr V. Pyakhinskii**<sup>1</sup>  
ORCID: 0000-0002-7677-8455

**Andrey B. Kornev**<sup>2</sup>  
ORCID: 0009-0006-1954-2004

**Kirill O. Karazanov**<sup>2</sup>

ORCID: 0009-0000-8746-1691

<sup>1</sup>*Institute of Problems of Machine Science RAS, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>2</sup>*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** Accident impact assessment, safety analysis, and risk reduction are among the core research topics in the field of shipping. Analysis of emergency situations shows that all of them in most cases are characterized by a combination of some causes, one of which is the occurrence of inadmissible stress-strain state in ship elements. Determining the nature of fracture is one of the ship's reliability improving measures. The presence of plastic deformation is a sign of the limiting condition when monitoring the structure. This leads to a visible change in the geometry of the structural components, but not to a violation of continuity, which, according to the rules of the Register, is controlled during the technical inspection of the ship. Having only regulated standard controls at its disposal, it is not possible to identify plastic deformation. The article discusses the issues of plastic deformations' control in 10XCHД shipbuilding steel by a method that is based on the analysis of the ultrasonic wave propagation characteristics in a controlled product. The complex of mechanical tensile tests and metallographic studies is described. The uniaxial stress-strain state of the material was created by tensile testing of a flat proportional sample. Changes in the metal structure were investigated when the required level of deformation was reached. The analysis of ultrasonic data with pulsed ultrasonic sensing and the level of second harmonic generation with continuous monochromatic ultrasonic emission is presented. Experimental data demonstrate the ability of the ultrasonic method to detect the pre-existing defects in metal under static loading, and allow for a more accurate assessment of the stress and strain state of ship's components, which can fundamentally change the picture of destruction. The use of ultrasonic plastic deformation monitoring in the framework of ship maintenance will help reduce accidents in the fleet.

**Keywords:** plastic deformation, ultrasonic control, elastic wave speed, second harmonic generation, microhardness, microstructure.

### **Введение**

Исключительная важность контроля за текущим состоянием металла высоконагруженных элементов судовых конструкций обусловлена особенностями их работы (агрессивная среда, безопасность эксплуатации). Повреждению судовых конструкций и последующему разрушению способствуют напряженное состояние деталей, структурные повреждения и микродефекты [1]. Непрерывность по времени процесса мониторинга состояния металла конструкции позволяет накапливать информацию об изменении состояния объекта и в дальнейшем с использованием различных математических моделей [2] прогнозировать накопление и развитие повреждений, а также остаточный срок службы. Большое значение приобретает концепция встроенного мониторинга состояния [Ошибка! Источник ссылки не найден.], предлагаемая на различных физических принципах: вибрации [4, 5], ультразвуковые волны [6], термография [7,8], акустическая эмиссия [9, 10], оптоволоконные датчики деформации [11], ультразвуковые волны Лэмба [12] и Рэлея [13].

Закономерности распространения упругих ультразвуковых волн [14] зависят от многих факторов, к которым относятся как свойства материала, так и свойства волны. Некоторые из этих закономерностей, в частности, влияние напряженно-деформированного состояния металла на скорость распространения упругих волн, используются в практике мониторинга.

Показано [15-18], что влияние как упругих, так и пластических деформаций может вносить неоднозначность в результат контроля. Поэтому следует выявлять парциальный или «весовой» вклад в изменение скорости упругих волн от упругих и пластических типов деформаций. Разделить влияние на результат акустического

зондирования того или иного типа деформации представляется, в целях безопасной эксплуатации конструкции судна актуальной задачей. В качестве примера можно привести исследование причин разрушения гребных валов с применением упругих волн [19], где учет влияния пластических деформаций может принципиально изменить картину разрушения.

Целью настоящей работы выступает разработка методики оценки уровня пластических деформаций в металле при помощи соотношения основной и второй гармоник в непрерывном зондирующем ультразвуковом сигнале. Для достижения поставленной цели были проведены механические испытания образцов на растяжение, неразрушающий контроль по скорости волн Рэлея и металлографические исследования.

### **Мониторинг по данным о скорости упругих волн**

В инженерных целях при построении алгоритма мониторинга механических напряжений используются соотношения аналогичные уравнениям фотоупругости [20].

Если основной причиной неоднородности среды, влияющей на изменение свойств металлов в результате их деформации, являются структурные изменения [21], то связь коэффициента затухания  $\alpha(\omega)$  и скорости  $V(\omega)$  упругой волны с параметром поврежденности материала  $\psi$  имеет вид [16]:

$$\alpha(\omega) = (k_1 + k_2\psi)\omega^4,$$

$$V(\omega) = V_0(1 - k_3\psi - k_4\psi(\omega^2)),$$

где  $k_1, k_2, k_3, k_4$  - постоянные материала.

В обоих случаях суть акустического метода заключается в измерении относительной разности  $\Delta\alpha = 2(V_1 - V_2)/(V_1 + V_2)$  скоростей поперечной волны различной поляризации. При упругих деформациях  $\Delta\alpha$  пропорциональна разности главных напряжений  $\sigma_1 - \sigma_2$  [22]. Если имеет место пластическая деформация, то, как было показано в работах [23-25]:

$$\Delta\alpha = \alpha_0 + \alpha_1(\varepsilon_1^p - \varepsilon_2^p) + C_1(\sigma_1 - \sigma_2),$$

где  $\varepsilon_1^p, \varepsilon_2^p$  - главные пластические деформации, а слагаемое  $\alpha_0 + \alpha_1(\varepsilon_1^p - \varepsilon_2^p)$  интерпретируется как вклад изменения микроструктуры материала при пластическом деформировании. Приведенные математические модели описывают идеализированную ситуацию, связанную с влиянием механических напряжений на скорость упругих волн. На практике необходимо проводить тестовые экспериментальные исследования.

### **Механические испытания на растяжение и металлографические исследования**

При работе на реальных конструкциях априори нельзя утверждать в каком НДС находится тот или иной высоконагруженный элемент конструкции. Поэтому однозначно использовать значение скорости упругой волна как диагностический признак предельного состояния конструкции некорректно по причине взаимосвязи упругих и пластических процессов деформации [26]. Экспериментально это показано при пластическом деформировании образца стали 10ХСНД, которая относится к классу корпусных свариваемых ферритно-перлитных хромо-кремненикелевых низколегированных сталей.

Плоские пропорциональные образцы, изготовленные из стали 10ХСНД, исследовались по методике, изложенной в [6]. При достижении значения абсолютной деформации в 10% исследовались изменения в структуре металла в участках из зоны

захвата (№1), переходной зоны (№2) и рабочей зоны (№3). Схема вырезки образцов для дальнейших исследований показана на рис. 1.

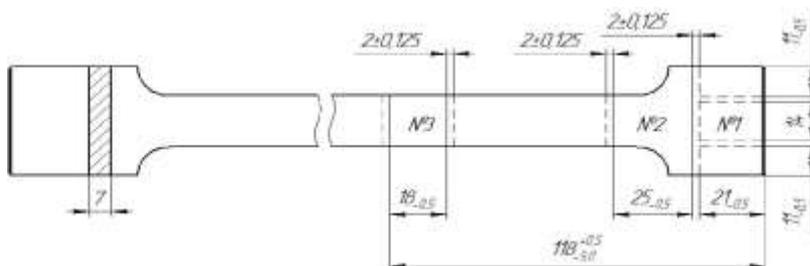


Рис.1. Деформированный образец.

Схема вырезки образцов для металлографического исследования

После испытаний на растяжение проводились вырезка, шлифовка, полировка и травление образцов для выявления микроструктуры. Микрофотографии были получены при помощи оптического микроскопа и представлены на рисунках 2-4. Результаты испытаний на микротвердость приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты испытаний на микротвердость**

№ образца	Микротвердость по Виккерсу, HV	Твердость по Бриннелю, HB
1	178 ± 12	165
2	191 ± 11	180
3	214 ± 11	207

На микрофотографиях, представленных на рисунках 2-4, видны структурные изменения, внесенные пластической деформацией. Для подсчета среднего размера зерна был использован метод секущих по ГОСТ 5639-82. Исходный материал демонстрирует характерную полосчатую ферритно-перлитную структуру с некоторой разнотернистостью.

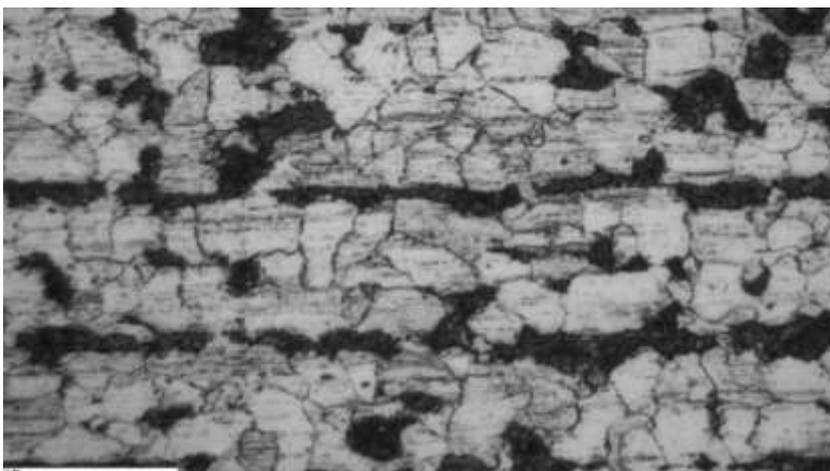


Рис. 2. Микроструктура участка образца 1 (из зоны захвата), увеличение x500

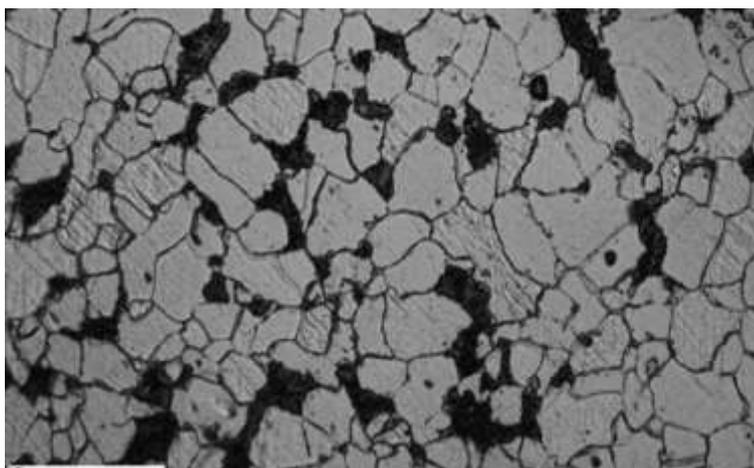


Рис. 3. Микроструктура участка образца 2 (из переходной зоны), увеличение x500

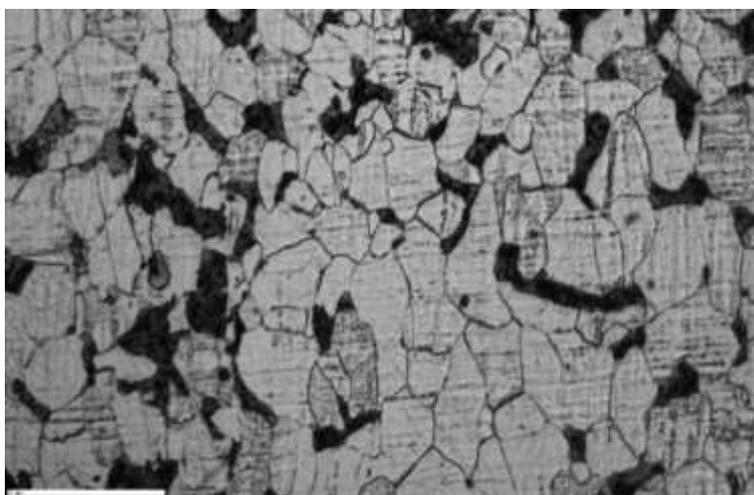


Рис. 4. Микроструктура участка образца 3 (из рабочей части), увеличение x500

Измеренные параметры микроструктуры образцов приведены в таблице 2.

*Таблица 2*

**Результаты измерения параметров микроструктуры**

№ образца	Средний размер зерна феррита, мкм	Степень неравноосности зерна феррита	Расстояние между полосами перлита, мкм	Толщина слоев перлита, мкм
1	13	1,3	50	13
2	12	1,2	~250	~150
3	12	1,2	~350	~200

В образцах замечены ферритные зерна с явными следами деформации в виде более темного цвета и с рельефной структурой. Накопление деформации приводит к закономерному повышению микротвердости фазы. Самым хорошо наблюдаемым результатом внесения пластической деформации в образцы является «размывание» полос перлита: замечена тенденция к переходу от ярко выраженных полос к более равномерному распределению по всему объему образца. В образце из зоны захвата

перлитные слои имеют ширину, сопоставимую с размером ферритного зерна. В переходной зоне и в области рабочей зоны перлитные полосы теряют свою форму и многократно расширяются.

### **Неразрушающий контроль пластической деформации**

Поиск нарушения сплошности металла образца (дефектов в виде трещин и пор) осуществлялся с помощью ПВК дефектоскопии ГОСТ 18442-80. Набор для капиллярного контроля «Элитест» класс чувствительности 2 (от 1 до 10 мкм). Поверхностных дефектов не обнаружено. Выявления внутренних дефектов металла образца проводилось эхо методом [16,29].

На пределе чувствительности дефектоскопа USN 50 с прямыми и наклонными преобразователями на 5 МГц нарушений сплошности не обнаружено, хотя пластическая деформация произошла. Это подтверждает кривая нагружения и металлографические исследования.

Таким образом, наличие пластической деформации, являющиеся признаком предельного состояния при мониторинге конструкции, привело к видимому изменению геометрии структурных составляющих, но не к нарушению сплошности, которое, согласно нормативно-технической документации, контролируется при техническом освидетельствовании конструкции, например, судна [31]. Имея в распоряжении только регламентированные стандартные средства контроля, выявить пластическую деформацию не удастся. Возможность обнаружения такого состояния существует при организации контроля скорости упругих волн (метод велосиметрии) в соответствии с ГОСТ 23829-85, ГОСТ 31244-200432.

### **Контроль скорости волн Рэлея**

Как показано в [18, 27], объемные волны позволяют оценивать напряженно-деформированное состояние, усредненное по толщине образца. При изгибных деформациях объемные волны покажут, что механические напряжения в образце отсутствуют в связи с разнонаправленными деформациями по толщине. Следовательно, напряжения, вызванные изгибом, следует контролировать поверхностными волнами, которые покажут максимальные значения напряжений. Результаты измерения времени задержки распространения импульса упругих волн Рэлея в деформируемом в момент действия напряжения и после его разгрузки приведены на Рисунке 5. Фиксируемая в эксперименте задержка характеризует изменение скорости волны в металле, так как база распространения волны от излучателя до приемника постоянна.

Идентификация напряженно-деформированного состояния становится неопределенной, так как задержка для напряжения 400 МПа и после разгрузки с напряжения 500 МПа имеет одинаковое значение.

Для исключения такой неоднозначности в области пластических деформаций к контролю за скоростью звука предложено дополнительное ультразвуковое зондирование непрерывным монохроматическим сигналом с контролем за уровнем генерации второй гармоники. Предложение базируется на принципах нелинейной акустики [31-33]. Практическое применение нелинейных акустических свойств отражено в работах [16, 19].

На исследуемом образце, что подвергнут металлографическому исследованию и неразрушающему контролю в исходном состоянии и после пластической деформации, проведена экспериментальная оценка нелинейного акустического параметра. Непрерывное излучение ультразвука и мониторинг уровня генерации второй гармоники осуществлялся с помощью генератора Tektronix Function Generator, сигнал с которого на частоте 5МГц поступал на излучающий ПЭП, создающего упругую волну в образце.

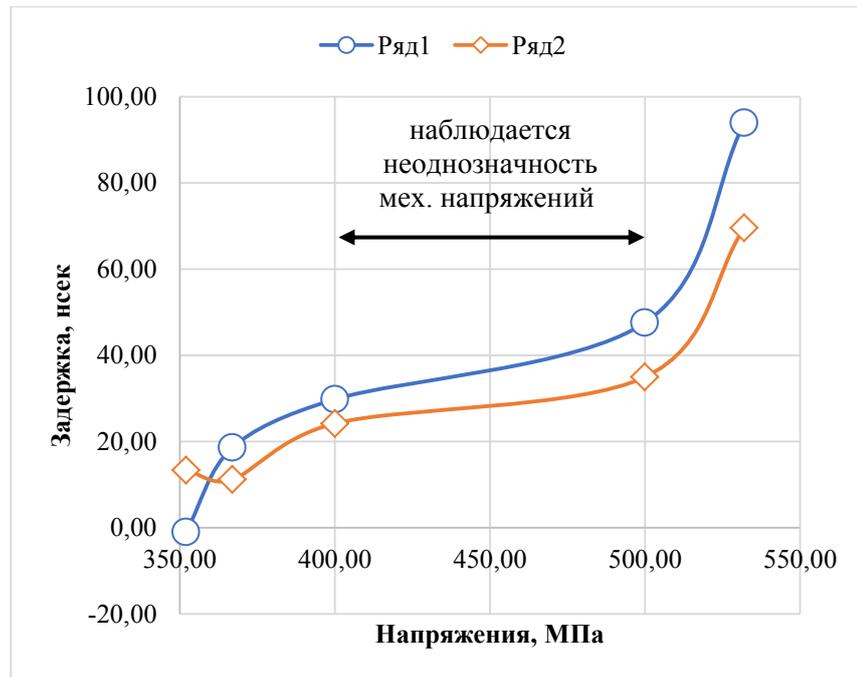


Рис. 5. Связь действующих механических напряжений и времени задержки сигнала.  
Ряд 1 – под нагрузкой, ряд 2 – после снятия нагрузки

Так как эффект генерации второй гармоники выражен для продольных волн сильнее [34], чем для поверхностных, применены ПЭП головных волн. В качестве измерителя временных интервалов использовался осциллограф RIGOL MSO5354 с разрешением по времени 1 нс. Для примера на Рисунке 6 представлены синусоидальные сигналы на излучающем и приемном ПЭП, а также спектральный состав зондирующей волны.



Рис.6. Сигналы на излучающем и приемном ПЭП и спектральный состав зондирующей волны.  
Образец деформирован на 10 %

Результат наблюдения отношения уровня спектральных составляющих в сигнале с ПЭП через недеформированный образец 10ХСНД на частоте 5 и 10 МГц составил -41 дБ, в то время как соотношение в сигнале с ПЭП через деформированный на 10% образец 10ХСНД составило -35 дБ. Условия эксперимента в обоих случаях были идентичны, за исключением уровня пластических деформаций в металле. Разница в 6 дБ не оставляет сомнений в наличии пластических деформаций, приводящих к изменению нелинейности среды. Это отличие исключает неоднозначность оценки напряженно-деформированного состояния металла, тем самым решая проблему учета влияния пластических деформаций при анализе причин разрушения.

Следует заметить, что использовать такой метод исключения неоднозначности в оценке пластических деформаций на практике, в условиях эксплуатации конструкции, представляется затруднительным, так как он требует применения высокостабильного с малым уровнем шумов генератора напряжения одной частоты с наличием гармоник по уровню настолько низким, что позволило бы уверенно зафиксировать влияние нелинейности среды на генерацию второй гармоники. В нашем случае это удалось сделать на пределе возможностей стандартного генератора Tektronix Function Generator. Развитие предлагаемого подхода видится в разработке специализированных средств экспресс-контроля [35].

### **Заключение**

Представленные экспериментальные данные свидетельствуют о чувствительности ультразвукового метода к состоянию металла до образования магистральной трещины (состояние «преддефекта») при статическом нагружении. При контроле НДС по скорости волн следует оценивать уровень соотношения основной и второй гармоник в непрерывном зондирующем сигнале для исключения неоднозначности в оценке в уровне пластических деформаций, что может принципиально изменить картину разрушения и будет способствовать уменьшению аварийности при эксплуатации конструкции судна.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПФ РАН на проведение фундаментальных научных исследований на 2024-2026 гг. (FFUF -2024-0031, № НИОКТР 1023032800130-3-2.3.2).

### **Список литературы**

1. Молоков К. А., Новиков В. В., Антоненко С. В. Повреждаемость судовых конструкций и основы построения математической модели оценки трещиностойкости конструкционных сталей // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2022. – №. S1. – С. 46-54.
2. Руководство по оценке напряженно-деформированного состояния судовых корпусных конструкций на основе метода конечных элементов. РМРС.НД № 2-030101-045. Санкт-Петербург. 2021.
3. García Márquez F.P., Peco Chacón A.M. A review of non-destructive testing on wind turbines blades // Renew. Energy. 2020. V. 161. P. 998—1010.
4. Jamadar N.I., Kivade S.B., Dhande K.K., Pedada S. Vibration based damage inspection in composite structures - A critical review // Int. J. Eng. Sci. Innov. Technol. 2014. V. 3. P. 201—208.
5. Kernicky T., Whelan M., Al-Shaer E. Vibration-based damage detection with uncertainty quantification by structural identification using nonlinear constraint satisfaction with interval arithmetic // Struct. Heal. Monit. 2019. V. 18. P. 1569—1589.
6. Соловьев В.В., Родюшкин В.М., Иляхинский А.В., Сова А.Н. Мониторинг предельного состояния, обусловленного пластическими деформациями в стали 10ХСНД / «Двойные технологии» №2 (99) – 2022 С.38-43
7. Talai S.M., Desai D.A., Heyns P.S. Infrared thermography applied to the prediction of structural vibration behaviour // Alexandria Eng. J. 2019. V. 58. P. 603—610.

8. Hwang S., An Y.K., Sohn H. Continuous-wave line laser thermography for monitoring of rotating wind turbine blades // *Struct. Heal. Monit.* 2019. V. 18. P. 1010—1021.
9. Zhou J., Mathews V.J., Adams D.O. Acoustic emission based impact location estimation on composite structures // *Struct. Heal. Monit.* 2019. V. 18. P. 1652—1668.
10. Zhao W., Zhou W. Cluster analysis of acoustic emission signals and tensile properties of carbon/glass fiber reinforced hybrid composites // *Struct. Heal. Monit.* 2019. V. 18. P. 1686—1697.
11. Kwon H., Park Y., Kim J. H., Kim C. G. Embedded fiber Bragg grating sensor based wing load monitoring system for composite aircraft // *Struct. Heal. Monit.* 2019. V. 18. P. 1337—1351.
12. Weiland J., Hesser D.F., Xiong W., Schiebahn A., Markert B., Reisgen U. Structural health monitoring of an adhesively bonded CFRP aircraft fuselage by ultrasonic Lamb Waves // *Proc. Inst. Mech. Eng. Part G. J. Aerosp. Eng.* 2020. V. 234. I. 13. P. 2000—2010.
13. Соловьев В.В., Родюшкин В.М., Иляхинский А.В., Неретина А.С. Метод и результаты моделирования акустических волн для оценки напряженно-деформированного состояния при пластическом деформировании/ *Двойные технологии.* 2023. №1 (102). С.45-53
14. Taleb S., Rittmeier L., Sinapius M., Boubenider F., Schmidt D. Experimental Study of Lamb Waves Propagation inside an Impact Damage in the Size of the Used Wavelength // *Russ. J. Nondestruct. Test.* 2020. V. 56. I. 2. P. 141—150.
15. Ерофеев В.И., Иляхинский А.В., Никитина Е.А., Пахомов П.А., Родюшкин В.М. Метод ультразвукового зондирования при оценке предельного состояния металлоконструкций, связанного с появлением пластических деформаций. *Мезомеханика.* 2019, 22(3), с. 65–70.
16. Углов А.Л., Ерофеев В.И. Смирнов А.Н. Акустический контроль оборудования при изготовлении и эксплуатации / отв. ред. Ф.М. Митенков. М.: Наука.2009.-279с.
17. Бритенков А.К., Родюшкин В.М., Иляхинский А.В. Исследование методом акустического зондирования физико-механических свойств титанового сплава Тi-6Al-4V, полученного методом послойного лазерного сплавления/ *Физика и механика материалов.* 2021. Т. 47. № 1. С. 139-158.
18. Gonchar A.V., Mishakin V.V., Klyushnikov V.A. The effect of phase transformations induced by cyclic loading on the elastic properties and plastic hysteresis of austenitic stainless steel // *International Journal of Fatigue.* – 2018. – Vol. 106. – pp. 153-158.
19. Матвеев Ю.И., Хлыбов А.А., Глебов В.В. Исследования и разработка методики технической диагностики гребных валов// *Вестник АГТУ. серия: морская техника и технология.* / 2021. №4. с.52-61
20. Никитина Н.Е. Акустоупругость. Опыт практического применения. Н. Новгород: ТАЛАН, 2005. 208 с
21. Caiulo A., Kachanov M. On absence of quantitative correlations between strength and stiffness in microcracking materials. *International Journal of Fracture.* 2010. Vol. 164. P. 155–158.
22. Hughes D.S., Kelly J.L. Second\_order elastic deformation of solids // *Phys. Rev.* 1953. V. 92. №. 5.P. 1145–1149
23. Hiraо M., Pao Y.H. Dependence of acoustoelastic birefringence on plastic strains in a beam // *J. Acoustical Society America.* 1985. V. 77. № 5. P. 1659–1664.
24. Беляев А.К., Лобачев А.М., Модестов В.С. и др. Оценка величины пластических деформаций с использованием акустической анизотропии// *МТТ.* 2016. №5. сс.124-131
25. Pao Y.H., Wu T.T., Gamer U. Acoustoelastic Birefringences in Plastically Deformed Solids: Part I—Theory // *J. Appl. Mech.* 1991. V. 58. № 1. P. 11–17.
26. Зуев Л.Б., Лунев А.Г., Стаскевич О.С. Энтروпийная интерпретация упругопластического инварианта деформации/ *ПМТФ.* 2018. Т. 59, N 6 (352). с.135-142
27. Курашкин К.В. Оценка напряжений в сварных соединениях с помощью акустического метода. *Контроль. Диагностика.* 2016, № 10, с. 52–56.
28. Правила РРР
29. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении — Изд. 4-е, перераб. / Е.Ф. Кретов. - Санкт-Петербург: СВЕН, 2014. – с.312
30. Зарембо Л.К., Красильников В.А. Введение в нелинейную акустику. М.: Наука, 1966. 309 с

31. Наугольных К.А., Островский Л. А. Нелинейные волновые процессы в акустике / Отв. ред. А. В. Гапонов-Грехов; АН СССР, Науч. совет по пробл. "Акустика", Акуст. ин-т им. Н. Н. Андреева, Ин-т прикл. физики. Москва: Наука, 1990. 236с.
32. Руденко О.В. Гигантские нелинейности структурно-неоднородных сред и основы методов акустической диагностики // УФН. 2006. Т.176. №1. С.77-95
33. Зайцев В.Ю., Назаров В.Е, Таланов В.И. Неклассические проявления микроструктурно-обусловленной нелинейности: новые возможности для акустической диагностики // УФН. 2006. Т176. №1. С.97–102.
34. Deputat J. Application of the acoustoelastic effect in measurements of residual stresses // Archives of acoustics. 1990. 15.1-2. С.69-92
35. Ванягин А.В., Родюшкин В.М. Измерение акустической нелинейности поврежденного металла // Измерительная техника. 2017. №10. С.42-44.

#### References

1. Molokov K. A., Novikov V. V., Antonenko S. V. Povrezhdanost' sudovykh konstruktov i osnovy postroyeniya matematicheskoi modeli otsenki treshchinostoikosti konstruktivnykh staley // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra. 2022. №. S1. pp. 46-54.
2. Guidelines for assessing the stress-strain state of ship hull structures based on the finite element method. RMRS.ND No. 2-030101-045. Saint Petersburg. 2021.
3. García Márquez F.P., Peco Chacón A.M. A review of non-destructive testing on wind turbines blades // Renew. Energy. 2020. V. 161. P. 998—1010.
4. Jamadar N.I., Kivade S.B., Dhande K.K., Pedada S. Vibration based damage inspection in composite structures - A critical review // Int. J. Eng. Sci. Innov. Technol. 2014. V. 3. pp. 201—208.
5. Kernicky T., Whelan M., Al-Shaer E. Vibration-based damage detection with uncertainty quantification by structural identification using nonlinear constraint satisfaction with interval arithmetic // Struct. Heal. Monit. 2019. V. 18. P. 1569—1589.
6. Solov'ev V.V., Rodyushkin V.M., Ilyakhinskii A.V., Sova A.N. Monitoring predel'nogo sostoyaniya, obuslovlennogo plasticheskimi deformatsiyami v stali 10KHSND / «Dvoynye tekhnologii» №2 (99), 2022, pp.38-43
7. Talai S.M., Desai D.A., Heyns P.S. Infrared thermography applied to the prediction of structural vibration behaviour // Alexandria Eng. J. 2019. V. 58. P. 603—610.
8. Hwang S., An Y.K., Sohn H. Continuous-wave line laser thermography for monitoring of rotating wind turbine blades // Struct. Heal. Monit. 2019. V. 18. P. 1010—1021.
9. Zhou J., Mathews V.J., Adams D.O. Acoustic emission based impact location estimation on composite structures // Struct. Heal. Monit. 2019. V. 18. P. 1652—1668.
10. Zhao W., Zhou W. Cluster analysis of acoustic emission signals and tensile properties of carbon/glass fiber reinforced hybrid composites // Struct. Heal. Monit. 2019. V. 18. P. 1686—1697.
11. Kwon H., Park Y., Kim J. H., Kim C. G. Embedded fiber Bragg grating sensor based wing load monitoring system for composite aircraft // Struct. Heal. Monit. 2019. V. 18. P. 1337—1351.
12. Weiland J., Hesser D.F., Xiong W., Schiebahn A., Markert B., Reisgen U. Structural health monitoring of an adhesively bonded CFRP aircraft fuselage by ultrasonic Lamb Waves // Proc. Inst. Mech. Eng. Part G. J. Aerosp. Eng. 2020. V. 234. I. 13. P. 2000—2010.
13. Solov'ev V.V., Rodyushkin V.M., Ilyakhinskii A.V., Neretina A.S. Metod i rezul'taty modelirovaniya akusticheskikh voln dlya otsenki napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya pri plasticheskom deformirovanii/ Dvoynye tekhnologii. 2023. №1 (102). pp.45-53
14. Taleb S., Rittmeier L., Sinapius M., Boubenider F., Schmidt D. Experimental Study of Lamb Waves Propagation inside an Impact Damage in the Size of the Used Wavelength // Russ. J. Nondestruct. Test. 2020. V. 56. I. 2. P. 141—150
15. Erofeev V.I., Ilyakhinskii A.V., Nikitina E.A., Pakhomov P.A., Rodyushkin B.M. Metod ul'trazvukovogo zondirovaniya pri otsenke predel'nogo sostoyaniya metallokonstruktii, svyazannogo s povyleniem plasticheskikh deformatsii. Mezomekhanika. 2019, 22(3), s. 65–70.
16. Uglov A.L., Erofeev V.I. Smirnov A.N. Akusticheskii kontrol' oborudovaniya pri izgotovlenii i ehkspluatatsii / otv. red. F.M. Mitenkov. M.: Nauka.2009.-279s.

17. Britenkov A.K., Rodyushkin V.M., Ilyakhinskii A.V. Issledovanie metodom akusticheskogo zondirovaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv titanovogo splava TI-6AL-4V, poluchennogo metodom posloinogo lazernogo splavlениya/Fizika i mekhanika materialov. 2021. T. 47. № 1. pp. 139-158.
18. Gonchar A.V., Mishakin V.V., Klyushnikov V.A. The effect of phase transformations induced by cyclic loading on the elastic properties and plastic hysteresis of austenitic stainless steel // International Journal of Fatigue. – 2018. – Vol. 106. – pp. 153-158.
19. Matveev YU.I., Khlybov A.A., Glebov V.V. Issledovaniya i razrabotka metodiki tekhnicheskoi diagnostiki grebnykh valov//Vestnik AGTU. seriya: morskaya tekhnika i tekhnologiya. / 2021. №4. pp.52-61
20. Nikitina N.E. Akustouprugost'. Opyt prakticheskogo primeneniya. N. Novgorod:TALAM, 2005. 208 s
21. Caiulo A., Kachanov M. On absence of quantitative correlations between strength and stiffness in microcracking materials. International Journal of Fracture. 2010. Vol. 164. P. 155–158.
22. Hughes D.S., Kelly J.L. Second\_order elastic deformation of solids // Phys. Rev. 1953. V. 92. №. 5.P. 1145–1149
23. Hirao M., Pao Y.H. Dependence of acoustoelastic birefringence on plastic strains in a beam //J. Acoustical Society America. 1985. V. 77. № 5. P. 1659–1664.
24. Belyaev A.K., Lobachev A.M., Modestov V.S. i dr. Otsenka velichiny plasticheskikh deformatsii s ispol'zovaniem akusticheskoi anizotropii//MTT.2016. №5. ss.124-131
25. Pao Y.H., Wu T.T., Gamer U. Acoustoelastic Birefringences in Plastically Deformed Solids: Part I–Theory // J. Appl. Mech. 1991. V. 58. № 1. P. 11–17.
26. Zuev L.B., Lunev A.G., Staskevich O.S. Ehntropiinaya interpretatsiya uprugoplasticheskogo invarianta deformatsii/ PMTF. 2018. T. 59, N 6 (352). s.135-142
27. Kurashkin K.V. Otsenka napryazhenii v svarnykh soedineniyakh s pomoshch'yu akusticheskogo metoda. Kontrol'. Diagnostika. 2016, № 10, s. 52–56.
28. Pravila RRR
29. Kretov E.F. Ul'trazvukovaya defektoskopiya v ehnergomashinostroenii — Izd. 4-e, pererab. / E.F. Kretov. - Sankt-Peterburg: SVEN, 2014. – s.312
30. Zarembo L.K., Krasil'nikov V.A. Vvedenie v nelineinuyu akustiku. M.: Nauka, 1966. 309 s
31. Naugol'nykh K.A., Ostrovskii L. A. Nelineinye volnovye protsessy v akustike / Otv. red. A. V. Gaponov-Grekhov; AN SSSR, Nauch. sovet po probl. "Akustika", Akust. in-t im. N. N. Andreeva, In-t prikl. fiziki. Moskva: Nauka, 1990. 236s.
32. Rudenko O.V. Gigantskie nelineinosti strukturno-neodnorodnykh sred i osnovy metodov akusticheskoi diagnostiki //UFN.2006. T.176. №1. S.77-95
33. Zaitsev V.YU., Nazarov V.E., Talanov V.I. Neklassicheskie proyavleniya mikrostrukturno-obuslovlennoi nelineinosti: novye vozmozhnosti dlya akusticheskoi diagnostiki // UFN. 2006. T176. №1. S.97–102.
34. Deputat J. Application of the acoustoelastic effect in measurements of residual stresses // Archives of acouatics. 1990. 15.1-2. C.69-92
35. Vanyagin A.V., Rodyushkin V.M. Izmerenie akusticheskoi nelineinosti povrezhdennoho metalla// Izmeritel'naya tekhnika. 2017.№10. S.42-44.

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

**Родюшкин Владимир Митрофанович**, д.т.н., заведующий лабораторией волновой динамики, экспериментальной механики и виброзащиты Института проблем машиностроения РАН им. А. В. Гапонова-Грехова, 603024, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, 85, e-mail: vlkn2005@yandex.ru

**Иляхинский Александр Владимирович**, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории волновой динамики, экспериментальной механики и виброзащиты

**Vladimir M. Rodyushkin**, Dr Sci (Eng), Head of Laboratory Wave dynamics and experimental mechanics, Institute of Problems of Machine Science RAS (603024, Nizhny Novgorod, Belinsky str., 85)

**Aleksandr V. Ilyakhinskii**, Ph. D. (Eng), Senior Researcher of Laboratory Wave dynamics and experimental mechanics, Institute of Problems of Machine Science RAS (603024, Nizhny

Института проблем машиностроения РАН им. А. В. Гапонова-Грехова, 603024, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, 85, e-mail: ilyahinsky-aleks@bk.ru

**Корнев Андрей Борисович**, к.т.н., доцент, профессор кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта, начальник Научно-Технического Тренажерного Центра «Механик», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kornev.ab@vsuwt.ru

**Каразанов Кирилл Олегович**, аспирант кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта, инженер Научно-Технического Тренажерного Центра «Механик», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: karazanov.kirill@mail.ru

Novgorod, Belinsky str., 85)

**Andrey B. Kornev**, Ph. D (Eng), Associate Professor of the Lifting and Transport Machines and Mechanisms Department, Head of Scientific and Technical Training Center «Mechanic», Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, Nesterova, 5, e-mail: kornev.ab@vsuwt.ru

**Kirill O. Karazanov**, graduate student of the Lifting and Transport Machines and Mechanisms Department, engineer of Scientific and Technical Training Center «Mechanic», Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, Nesterova, 5, e-mail: karazanov.kirill@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.05.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 08.05.2024; published online 20.06.2024.

УДК 621.002:629.12+621.79

DOI: 10.37890/jwt.vi79.476

## **Математическая модель поточного изготовления секций в гибкой производственной системе верфи**

**О.А. Щеголева**<sup>1</sup>

*ORCID: 0009-0001-5341-8799*

**А.Е. Бурмистрова**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0002-9373-4323*

**Е.Г. Бурмистров**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0003-0385-0847*

<sup>1</sup> Самарский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, г. Самара, Россия

<sup>2</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

**Аннотация:** Сборочно-сварочное производство верфи является сложной производственной системой. Изучение функционирования отдельных её элементов, взаимосвязей между ними, откликов на возмущающие воздействия внешних и внутренних факторов в реальных условиях сложно, дорого, долго. Для этой цели уместно использовать всевозможные методы моделирования, особенно если речь идёт о моделировании систем с потоковыми процессами. Применение такой практики позволит без значительных затрат различного рода ресурсов, в короткие сроки найти оптимальное планировочное решение по составу и производительности оборудования, расстановке персонала и проч. Большинство методов моделирования в своей основе имеют предварительно разработанную математическую модель. Цель её разработки в контексте данной статьи сведена к поиску рациональных решений, связанных с повышением гибкости существующих производственных процессов и управления ими.

**Ключевые слова:** математическая модель; гибкое производство; производственная система; алгоритм управления моделью.

## **Mathematical model of in-line manufacturing of sections in a flexible shipyard production system**

**Olga A. Shchegoleva**<sup>1</sup>

*ORCID: 0009-0001-5341-8799*

**Anastasia E. Burmistrova**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0002-9373-4323*

**Evgeny G. Burmistrov**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0003-0385-0847*

<sup>1</sup> Samara Branch of the Volga State University of Water Transport, Samara, Russia

<sup>2</sup> Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract:** The assembly and welding production of the shipyard is a complex production system. Studying the functioning of its individual elements, the interrelationships between them, and responses to the disturbing effects of external and internal factors in real conditions is difficult, expensive, and time-consuming. For this purpose, it is appropriate to use all possible modeling methods, especially when it comes to modeling systems with streaming processes. The application of this practice will allow, without significant expenditure of various kinds of resources, in a short time to find the optimal planning solution for the composition and performance of equipment, the placement of personnel, etc. Most modeling methods are based on a pre-developed mathematical model. The purpose of its development in the context of this article is connected with the search for rational

solutions related to increasing the flexibility of existing production processes and their management.

**Keywords:** mathematical model; flexible production, production system, model management algorithm.

### Введение

Разработка и внедрение на верфях эффективных методов исследования характеристик сложных производственных систем (ПС) является важной задачей научного обеспечения отечественного судостроения. Сборочно-сварочное производство в полной мере является такой системой, в которой, к тому же реализованы принципы поточного производства [1]. Поэтому общую цель разработки математической модели соответствующей комплексно-механизированной ПС для изготовления секций поточным методом можно свести к поиску оптимальных (рациональных) решений в части повышения технического уровня существующих технологических процессов и повышения уровня автоматизации управления ими. Задача будет сводиться к алгоритмизации и математической формализации оптимальных взаимосвязей между позициями потока и отдельными рабочими местами с учётом численности и квалификации персонала, количества и состояния средств технологического обеспечения (СТО).

Требуемую формализацию можно обеспечить с помощью:

- механизации наиболее сложных и трудоёмких работ и специализации рабочих мест;
- применения законов логистики при управлении процессами;
- повышения коэффициента загрузки оборудования;
- повышения коэффициента использования персонала;
- снижения номенклатуры применяемых СТО;
- сокращения продолжительности производственного цикла.

Математическое описание сложной ПС включает в себя составление соответствующего алгоритма и его формализацию. Основной целью при этом является разработка алгоритмического представления объекта моделирования, а задачей – формальное представление логико-математической модели ПС [2]. Таким образом станет возможным уже на ранних этапах подготовки производства к поточному выпуску секций выполнить всесторонний анализ характеристик ПС, входящих в неё подсистем, их взаимосвязей между собой. В свою очередь, это позволит рассмотреть и оценить нескольких альтернативных вариантов моделей ПС, повысить качество окончательно выбранного варианта.

### Материалы и методы

Известно, что любая модель предполагает наличие инструментов воздействия на входные и выходные параметры моделируемого объекта для их варьирования в заданном диапазоне. То есть, изначально должна быть создана базовая модель, с помощью которой можно задавать повторяющиеся с новыми входными воздействиями альтернативные варианты (процессы)  $\zeta_x(\tau)$ . Специфичность состоит в том, что «отрезки» процесса между точками регенерации являются вероятностными клонами друг друга. Это позволит получать независимые оценки каждого альтернативного варианта процесса на каждом отрезке регенерации [3-6] и оценка целевой функции вычислится с любой заданной степенью точности.

$$L = \frac{\xi}{\Delta T} ; \xi = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i ; \Delta T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_i ,$$

где  $\xi_i = \int_{T_{i-1}}^{T_i} \zeta(\tau) dt$  – интегральная оценка исследуемого процесса;

$N$  – число циклов регенерации;  $\Delta T = T_i - T_{i-1}$  – длительность  $i$ -го цикла регенерации.

Учитывая, что на сегодня отсутствуют универсальные способы генерации моделей, для решения поставленных в данном исследовании задач можно применить принципы направленного управляемого эксперимента. То есть, взаимосвязь каждой исследуемой характеристики с каким-либо показателем устанавливать аналитически, а для оценки этого показателя использовать методы имитации. Общую структуру последовательности разработки модели таким способом можно представить схемой на рис. 1 [7].



Рис. 1. Последовательность разработки модели с использованием метода управляемых экспериментов

Для сокращения вычислительного ресурса при разработке модели удобно применить равномерную сетку пространства и управляемых параметров  $XX^C \in XX$ . Задачей останется выбор:

$$X = \text{arc max } L(X), \quad X \in XX^C, \quad \text{где } L(X) = M\zeta_X.$$

### Результаты

Для решения задачи построим алгоритм, уточняющий значения оценок  $L(X)$  в точках сетки  $XX^C$ . Алгоритм управления такой моделью приведён на рис. 2.

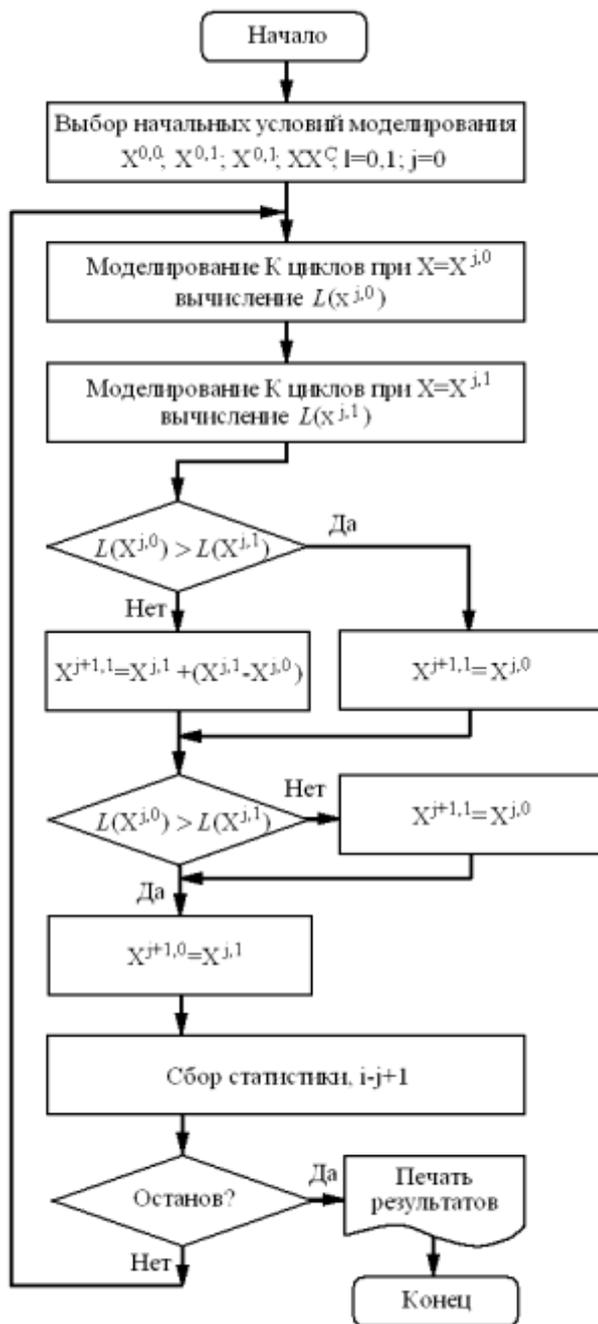


Рис. 2. Блок-схема управления математической моделью

Каждый  $j$ -й цикл алгоритма определяет пару соседних значений управляемого параметра  $X^{j,l}$ ;  $l=0,1$ . Для каждой из них, на основании  $K$  циклов регенерации

$$\xi(x^{j,l}) = \int_{t(2j+l)k_i}^{t(2j+l+1)k} \xi_{x^{j,l}}(\tau) dt$$

где  $\xi_{x^{j,l}}(\tau)$  – выборочная траектория процесса  $\zeta_{x^{j,l}}(\tau)$ ;  $\tau_j$  – моменты регенерации модели,  $\Delta T(X^{j,l})=t(2j+l+1)k-t(2j+l)k$ , рассчитывается целевая функция  $L(X^{j,l})$ :

$$L(X^{j,l}) = \zeta(X^{j,l}) / \Delta T(X^{j,l}).$$

В процессе моделирования для всех точек  $X \in XX_i^C$  накапливаются величины  $\xi^0(X_i)$  и  $\Delta T(X_i)$ :

$$\xi^0(X_i) = \sum_{j,l: X^{j,l}=X_i} \xi(X^{j,l}) \tag{1}$$

$$\Delta T^0(X_i) = \sum_{j,l: X^{j,l}=X_i} \Delta T(X^{j,l}).$$

Такой алгоритм позволяет вычислять общие оценки целевой функции сразу для всех значений  $X \in XX_i^C$ :

$$L(X_i) = \frac{\xi^0(X_i)}{\Delta T(X_i)}$$

Точность оценок зависит от количества циклов регенерации [3-6].

С учётом изложенного, на рис. 3 представлена концептуальная схема математической модели гибкой ПС поточного изготовления секций во взаимосвязи с корпусозаготовительным и корпусостроительным производствами верфи. Выходящие и входящие параметры этих производств для данной модели являются соответственно входными и выходными параметрами.

Из работы [7] следует, что выбор оптимального варианта модели необходимо осуществлять с учётом заданных: производственного цикла изготовления комплекта секций  $Ц$ , такта выпуска сборочных единиц (СЕ)  $t$ , ритма работы производственных участков  $P$ . Общая последовательность действий по выбору оптимального варианта приведена на рис. 3.

### Обсуждение

В порядке обсуждения можно предположить, что в процессе «проигрывания» модели в ней будут накапливаться величины  $\bar{\xi}^0(X_i)$  и  $\Delta T(X_i)$  для всех точек сетки  $X \in XX_i^c$ , где

$$\bar{\xi}^0(X_i) = \sum_{j,l: X^{j,l}=X_i} \bar{\xi}(X^{j,l}), \Delta T^0(X_i) = \sum_{j,l: X^{j,l}=X_i} \Delta T^0(X^{j,l}).$$

С учётом (2) по окончании моделирования можно вычислить целевую функцию для всех значений  $X \in XX_i^c$ :

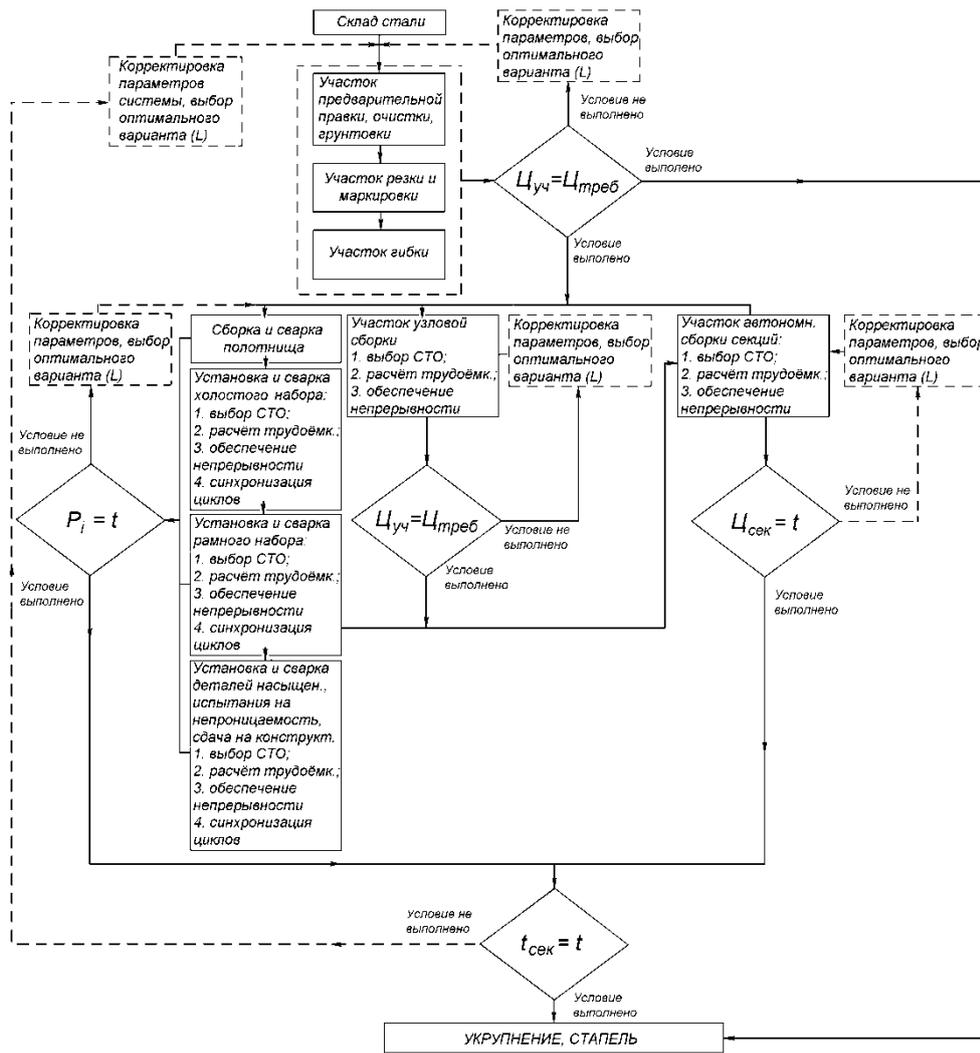


Рис. 3. Алгоритм математической модели изготовления секций

Соответствие оценок определяется числом циклов регенерации, при которых модель соответствует значениям управляемых параметров на  $j$ -ом интервале управления

Хотя  $\eta^{j,I}; I = 0, 1, \dots$  не является марковской последовательностью, но её вектор

$$\bar{Y}(X_i) = \frac{\bar{\xi}^0(X_i)}{\Delta T(X_i)}; \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{matrix} \eta^{0,0} \\ \eta^{0,1} \end{matrix} \right\}, \left\{ \begin{matrix} \eta^{1,0} \\ \eta^{1,1} \end{matrix} \right\}, \dots, \left\{ \begin{matrix} \eta^{j,0} \\ \eta^{j,1} \end{matrix} \right\}, \dots$$

является классической марковской цепью. Тогда:

$$C = \{C^+\}_{j=0}^{I-1} V \{C_i^-\}_{i=1}^I, C_i^+ = (X_i, X_{i+1}), \overline{i = 0, I-1}$$

$$C_i^- = (X_i, X_{i-1}), \overline{i = 1, I}$$

где  $C$  – множество состояний марковской цепи.

Дальнейшие действия зависят от конкретного состояния цепи  $C_i^+$  ( $C_i^-$ ). Вероятности состояний цепи и переходы между ними могут быть определены соотношениями:

$$P_i^+ = P\{\overline{Y}(X_i) > \overline{Y}(X_{i-1})\} \quad i = \overline{1, I},$$

$$P_i^- = P\{\overline{Y}(X_{i+1}) > \overline{Y}(X_i)\} \quad i = \overline{1, I-1},$$

$$q_i^+ = I - P_i^+; \quad q_i^- = I - P_i^-.$$

Стационарные вероятности состояний будут определяться равенством:

$$\pi_{i,I} = P_{ST}(C_{i-1}^+) \pi_{i,1} = P_{ST}(C_{i+1}^-),$$

вектор-строка стационарных вероятностей:

$$\overline{\pi} = (\pi_{0,2}, \pi_{1,1}, \pi_{1,2}, \dots, \pi_{I-1,2}, \pi_{i,1}),$$

а её составляющие удовлетворяют:

$$\overline{\pi} = \overline{\pi} p;$$

$$\sum_i \sum_j \pi_{ij} = 1.$$

Расчёт  $\pi$  лучше вести определяя значения  $\pi_{ij}$  через  $\pi_{0,2}$ . Если обозначить  $\pi_0 = \pi_{ij}$ , то:

$$\pi_0 = \pi_{1,1} \cdot q_i^+ + \pi_{1,2} \cdot q_i^-; \quad \pi_{1,1} = \pi_0 \cdot 1.$$

Выражая из этих уравнений  $\pi_{1,1}$  и  $\pi_{1,2}$ , получим:

$$\pi_{1,1} = \pi_0 \cdot 1,$$

$$\pi_{1,2} = \pi(\pi_0 - \pi \cdot q_1^+ \setminus q_1^- = \pi_0 \cdot p_i^- \setminus q_i^-).$$

Утверждение выполняется для  $i=1$  и  $2$ . Применив метод индукции для остальных значений (при  $i>2$ ) получим:

$$\pi_{i,1} = \pi_0 \cdot \prod_{k=1}^{i-1} \frac{p_k^+}{q_k^-}, \quad i = \overline{2, I-1},$$

$$\pi_{i,2} = \pi_0 \cdot \prod_{k=1}^i \frac{p_k^+}{q_k^-}, \quad i = \overline{2, I-1}.$$

Решая уравнения

$$\pi_{n,2} = \pi_{n+1,1} \cdot q_{n+1}^+ + \pi_{n+1,2} \cdot q_{n-1}^-;$$

$$\pi_{n+1,1} = \pi_{n,1} \cdot p_n^+ + \pi_{n,2} \cdot p_n^-$$

относительно  $\pi_{n+1,1}$  и  $\pi_{n+1,2}$  и подставляя значения  $\pi_{n,1}, \pi_{n,2}$ , получим:

$$\begin{aligned} \pi_{i+1,1} &= \left( \prod_{k=1}^{n-1} \frac{p_k^+}{q_k^-} p_n^+ + p_n^- \prod_{k=1}^n \frac{p_k^+}{q_k^-} \right) \cdot \pi_0 = \\ &= \pi_0 \left( p_n^+ + \frac{p_n^+}{q_n^-} \right) \cdot \prod_{k=1}^{n-1} \frac{p_k^+}{q_k^-} = \pi_0 \cdot \prod_{k=1}^n \frac{p_k^+}{q_k^-} \\ \pi_{i+1,2} &= \frac{\pi_0 \left( \prod_{k=1}^n \frac{p_k^+}{q_k^-} p_n^+ - q_{n+1}^- \prod_{k=1}^n \frac{p_k^+}{q_k^-} \right)}{q_{n+1}^-} = \\ &= \pi_0 \cdot \prod_{k=1}^{n-1} \frac{p_k^+}{q_k^-} \cdot \frac{1 - q_{n+1}^+}{q_{n+1}^-} = \pi_0 \cdot \prod_{k=1}^{n+1} \frac{p_k^+}{q_k^-}. \end{aligned} \tag{4}$$

Получим  $\pi_{1,1} = \pi_{l-1,2}$  и  $\pi_0 = \frac{1}{2} \left( 1 + \sum_{j=2}^{j-1} \prod_{k=1}^{i-1} \frac{p_k^+}{q_k^-} \right)^{-1}$ .

То есть, решение системы (4) будет для случая  $\sum_{j=1}^l \prod_{k=1}^{i-1} \frac{p_k^+}{q_k^-} < \infty$ , когда

последнее преобразование для стационарных вероятностей характеристик управляемой модели можно записать в виде [3-6, 8, 9]:

$$\begin{aligned} \pi_{0,2} = \pi_{1,1} = \pi_0 &= \frac{I}{2 \left( 1 + \sum_{j=2}^I \prod_{k=1}^{j-1} \frac{p_k^+}{q_k^-} \right)} \\ \pi_{j+1,1} = \pi_{i,2} &= \frac{\prod_{k=1}^i \frac{p_k^+}{q_k^-}}{2 \left( 1 + \sum_{j=2}^I \prod_{k=1}^{j-1} \frac{p_k^+}{q_k^-} \right)^{-1}}. \end{aligned}$$

### Заключение

С применением описанной математической модели возможно выявление ряда вариантов для конкретного производственного участка. Эффективность использования того или иного варианта будет определяться задаваемой производственной программой, уровнем механизации, формой организации труда. Возможность разделения производственного процесса на технологические комплексы из технологически однородных операций делает реальной перспективу комплексной механизации участка (вначале точечная механизация только наиболее трудоёмких

работ) и обеспечит системный подход к повышению технического уровня производства в целом.

Кроме того, важно отметить, что разработанная математическая модель позволяет учитывать и факт того, что большая часть используемых в сборочно-сварочных цехах верфей средств технологического обеспечения (СТО) проектировалась с учётом: различий в типах изготавливаемых СЕ их большой номенклатуры, значительной массы и высоких требования к точности изготовления, минимизации сроков сборки и сварки секций в общем цикле корпусостроительных работ, сложности синхронизации работ в цехе (цехах). То есть, позволяет учитывать разницу в объёмах работ, выполняемых с помощью тех или иных СТО, и различия в длительности циклов этих работ.

Отмеченные факты указывают на то, что для вариантов моделей производственного участка конструктивна идея создания и 3D-модели СТО. Как следует из работ [10, 11], это позволит проектировать ПС на качественно новом уровне, синхронизировать все этапы проектирования, настроить логистические взаимосвязи между существующими СТО и вновь проектируемыми, включить новые СТО в существующий производственный поток, адаптировать эргономику проектируемых СТО к конкретным производственным условиям, оптимизировать производственные характеристики СТО, спланировать проектирование СТО с учётом особенностей организации производства и т.п.

#### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность за предоставленный для подготовки данной статьи материал и ценные замечания при подготовке статьи:

- 1) начальнику Центра разработки Правил Верхне-Волжского филиала ФАУ «Российское классификационное общество» – к.т.н., Д.А. Галочкину;
- 2) главному технологу ПАО «Завод «Красное Сормово» – А.Н. Ботманову.

#### **Список литературы**

1. Корсаков, В.С. Основы конструирования приспособлений: учеб. для вузов – 2-е изд., пераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
2. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. Москва: Наука, 1972. – 830 с.
3. Фрейдина, Е.В. Исследование систем управления: учебное пособие / Е.В. Фрейдина. – М.: Омега, 2008. – 367 с.
4. Собер, Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Собер: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 340 с.
5. Ашманов, С.А. Линейное программирование: учебное пособие для ВУЗов / С. А. Ашманов. – М.: Наука, 1981. – 304 с.
6. Денисов, А.А. Теория больших систем управления / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
7. Галочкин, Д.А., Бурмистров Е.Г. Применение метода имитационного моделирования при подготовке сборочно-сварочного производства судостроительной верфи: монография – Н. Новгород : Типография ООО «Мастер-плюс», 2013. – 151 с.
8. Карлин, С. Основы теории случайных процессов / С. Карлин: Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 308 с.
9. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учеб. для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
10. Галочкин Д.А., Огнев Н.В., Бурмистров Е.Г. Разработка программ поддержки систем 3-D моделирования элементов производственных систем верфи // «Вестник ВГАВТ» выпуск 28, Н. Новгород, 2010. – С. 62 – 64.
11. Галочкин, Д.А., Н.В. Огнев, Е.Г. Бурмистров Организация потоковых процессов и разработка средств механизации основных производств верфи с использованием методов имитационного моделирования и законов производственной логистики // Судостроение. – 2013. – №2. – С.49-53.

### References

1. Korsakov V. Fundamentals of fixture design: textbook for universities/ 2nd ed., editorial and ext. M.: Mashinostroenie, 1983. 277 p.
2. Korn G. Reference book on mathematics for scientists and engineers / G. Korn, T. Korn. Moscow: Nauka, 1972. 830p.
3. Freidina, E. Research of the control systems: textbook / E. Freidina. Moscow: Omega, 2008. 367 p.
4. Sober J. Linear regression analysis / J. Sober: Per. from Engl. - M.: Mir, 1980. - 340 c.
5. Ashmanov S. Linear programming: a textbook for universities / S.A. Ashmanov. Moscow: Nauka, 1981. 304 p.
6. Denisov A. Theory of the large control systems / A.A. Denisov, D.N. Kolesnikov. L.: Energoizdat, 1982. 288 p.
7. Galochkin D.; Burmistrov E. Application of the simulation modeling method in preparation of assembly and welding production of a shipyard : a monograph. N. Novgorod : Printing house "Master-plus", 2013. 151 p.
8. Carlin, S. Fundamentals of the theory of random processes. S. Carlin: Per. from Engl. M.: Mir, 1971. 308 p.
9. Sovetov, B.Ya. Modeling of systems: textbook for universities. B.Ya. Sovetov, S. Yakovlev. 3rd ed., revision and supplement. M.: Vyssh. shk., 2001. 343 p.
10. Galochkin D., Ognev N., Burmistrov E. Development of support programs for 3-D modeling systems of the shipyard production systems elements. "Vestnik VGAVT" issue 28, N. Novgorod, 2010. P. 62-64.
11. Galochkin D., Ognev N., Burmistrov E/ Organization of flow processes and development of means of mechanization of the main shipyard production using the methods of simulation modeling and laws of production logistics. Shipbuilding. 2013. №2. P. 49-53.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Щеголева Ольга Анатольевна**, аспирант Самарский филиал Волжского государственного университета водного транспорта (СФ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 443036, Российская Федерация, Самара, ул. Неверова, 87, e-mail: shh151@mail.ru

**Olga A. Shchegoleva**, postgraduate student Samara branch of the Volga State University of Water Transport (SF FGBOU VO "VGUVT"), 443036, Russian Federation, Samara, 87 Neverova str., e-mail: shh151@mail.ru

**Бурмистрова Анастасия Евгеньевна**, магистрант, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: sovvesna@yandex.ru

**Anastasia E. Burmistrova**, Master's student, Volga State University of Water Transport (VSUVT), 603951, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: sovves-na@yandex.ru

**Бурмистров Евгений Геннадьевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: burmistrov\_e\_g@mail.ru

**Evenly G. Burmistrov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Design and Technology of Ship Construction, Volga State University of Water Transport (VSUVT), 5 Nesterova str., Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: burmistrov\_e\_g@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.03.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 27.03.2024; published online 20.06.2024.

## **СУДОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

### **SHIP POWER EQUIPMENT**

DOI: 10.37890/jwt.vi79.477

УДК 621.56

#### **Исследование параметров кипящего потока в вертикальных испарителях судовых холодильных машин**

**В.Г. Букин<sup>1</sup>**

**А.И. Андреев<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0003-4064-9835*

**Р.Р. Минофьев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия*

**Аннотация:** В данной работе предметом исследования являются гидродинамика и в частности, гидросопротивления кипящего двухфазного потока, движущегося в вертикальных и наклонных трубах испарителей судовых холодильных установок. Подобное движение характерно для различных видов промышленного теплообменного оборудования, в том числе для разработки перспективных видов испарителей, например, вертикальных аппаратов для судов, в которых происходит внутритрубное кипение жидкого хладагента. Проведены эксперименты по исследованию гидросопротивлений в вертикальных трубах с различными диаметрами канала и длинами. Представлены основные зависимости различных компонентов гидросопротивлений, возникающих при движении кипящего двухфазного потока. На основании полученных данных показана перспективность перехода судовых испарителей холодильных установок к вертикальному расположению теплообменных трубок. В применении к судовым холодильным машинам можно сказать, что переход к вертикальным аппаратам имеет свои достоинства, прежде всего по снижению потерь напора. Полученная совокупность данных позволяет рекомендовать конструкции вертикальных испарителей для вспомогательных судовых установок.

**Ключевые слова:** вертикальный испаритель, гидросопротивления, судовая холодильная установка, режимы движения потока, двухфазный поток, нивелирный напор, наклонные трубы, кипение внутри труб, парогенератор.

#### **Research of boiling flow parameters in vertical evaporators of marine refrigeration machines**

**Vladimir G. Bukin<sup>1</sup>**

**Alexander I. Andreev<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0003-4064-9835*

**Roman R. Minofyev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

**Abstract:** In this work, the subject of research is hydrodynamics, and in particular, the hydraulic resistance of a boiling two-phase flow moving in vertical and inclined pipes of evaporators of ship refrigeration units. Such movement is typical for various types of industrial heat exchange equipment, including the development of promising types of evaporators, for example, vertical devices for ships in which in-tube boiling of liquid refrigerant occurs. Experiments were carried out to study hydraulic resistance in vertical pipes with different channel diameters and lengths. The main dependencies of the various components of hydraulic resistance that arise during the movement of a boiling two-phase

flow are presented. Based on the data obtained, the prospects of transitioning ship evaporators of refrigeration units to a vertical arrangement of heat exchange tubes are shown. When applied to ship refrigeration machines, we can say that the transition to vertical units has its advantages, primarily in reducing pressure losses. The resulting set of data allows us to recommend the design of vertical evaporators for auxiliary ship installations.

**Keywords:** vertical evaporator, hydraulic resistance, ship refrigeration unit, flow modes, two-phase flow, leveling pressure, inclined pipes, boiling inside pipes, steam generator.

### **Введение**

Кожухотрубные теплообменные аппараты – одни из самых часто применяемых теплообменников в судостроении. Такие аппараты применяются на судах ввиду того, что они просты в изготовлении, компактны и эффективны. Благодаря этому, а также тому, что они могут применяться в очень широком диапазоне давлений и легко очищаются и ремонтируются, кожухотрубные теплообменники нашли свое применение во многих отраслях промышленности. К большому разнообразию различных судовых кожухотрубных аппаратов относятся и испарители, исследованию процессов в которых и посвящена данная работа. В зависимости от конструкции, кипение в кожухотрубном испарителе может происходить внутри труб или в межтрубном пространстве [1].

На данный момент чаще применяются аппараты с внутритрубным кипением ввиду того, что в них отсутствует свободная поверхность жидкости, что улучшает работу аппарата при качке, ниже масса хладагента, наполняющего систему, а также исключена опасность разрушения аппарата в результате намерзания льда на поверхности теплообменных трубок. В общем и целом, все кожухотрубные теплообменные аппараты с внутритрубным кипением можно разделить на две группы: вертикальные и горизонтальные. Целью работы является исследование процессов, которые протекают в трубах вертикальных испарителей судовых холодильных машин.

Рассматривая процесс кипения в вертикальной трубе, необходимо указать на ряд особенностей в его гидродинамике по сравнению с кипением в горизонтальных аппаратах. Так, у восходящего вертикального потока на концевом участке трубы существует кольцевой режим, а у горизонтального часто встречается расслоенный [2 - 5].

В отличие от горизонтальной трубы, вертикальная полностью смачивается жидкостью, поэтому в ней можно наблюдать более высокие значения коэффициента теплоотдачи. Связано это с тем, что жидкость опускается вниз под действием гравитации, из-за чего в горизонтальной трубе при небольших скоростях движения среды формируется расслоенный режим, характерный тем, что паровая среда сосредотачивается в верхней части трубы, из-за чего верхняя стенка остается сухой. Теплоотдача от пара гораздо ниже теплоотдачи от жидкости, из-за чего высыхание стенки трубы негативно влияет на теплообмен. В вертикальной же трубе гравитация не способна оказать влияния на распределение жидкости, и вся поверхность трубы остается смоченной. При сравнении потерь напора двухфазного потока, видно, что в вертикальных преобладают потери на преодоление нивелирного напора, в то время как в горизонтальных на трение. [6-9]

В сравнении с горизонтальными трубами, где наблюдаются пузырьковый, снарядный, волновой, кольцевой и расслоенный режимы движения потока, в вертикальных трубах при восходящем течении можно заметить другие режимы движения парожидкостной смеси.

В вертикальной нагреваемой трубе (рисунок 1) с увеличением испарения структура изменяется от пузырьковой к снарядной, а затем до кольцевой. До тех пор, пока температура жидкости не достигнет температуры насыщения, наблюдается

кипение, при котором пузырьки образуются у стенки, а после конденсируются в объеме жидкости.

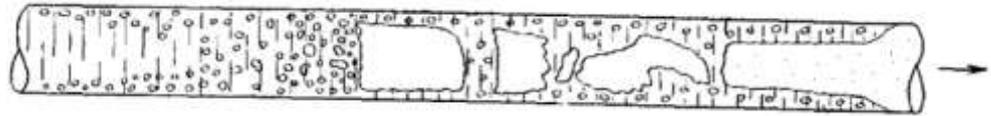


Рис. 1. Изменение структуры потока под влиянием фазового перехода восходящего потока в вертикальных трубах

При движении по трубе парожидкостной смеси возникают различные гидравлические сопротивления, которые способны оказать влияние на температуру кипения холодильного агента и на теплообмен в целом. Эти потери складываются из потерь на ускорение потока, на преодоление местных сопротивлений, на трение и на преодоление давления столба жидкости. Таким образом:

$$\Delta P = P_{\text{уск}} + P_{\text{мс}} + P_{\text{тр}} + P_{\text{нив}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{уск}}$  – потери на ускорение потока,  $P_{\text{мс}}$  – потери на преодоление местных сопротивлений,  $P_{\text{тр}}$  – потери на трение,  $P_{\text{нив}}$  – потери на преодоление нивелирного напора.

Для того, чтобы определить потери давления в трубах, необходимо определить значение массовой скорости:

$$\omega \rho = \frac{qf}{rS(1 - x_{\text{вых}})}, \quad (2)$$

где  $x_{\text{вх}}$  – массовое паросодержание холодильного агента на входе в трубу испарителя,  $q$  – плотность теплового потока, кВт/м<sup>2</sup>;  $f$  – площадь поверхности трубы, м<sup>2</sup>;  $S$  – площадь поперечного сечения трубы, м<sup>2</sup>;  $r$  – удельная теплота парообразования, кДж/кг.

Из величины массовой скорости определяется скорость циркуляции холодильного агента по следующей формуле, м/с:

$$\omega_0 = \frac{\omega \rho}{\rho'} \quad (3)$$

Потери на ускорение определяется как разность количества движения между начальным и конечным сечениями канала. Для его определения вводится комплекс  $y$ , значение которого определяется с помощью следующей зависимости:

$$y = \frac{x^2}{\rho'' \bar{\varphi}} + \frac{(1-x)^2}{\rho'(1-\bar{\varphi})}, \quad (4)$$

где  $\bar{\varphi}$  – истинное паросодержание;  $\rho', \rho''$  – плотности жидкой и паровой фазы соответственно;  $x$  – массовое паросодержание.

Потери на ускорение потока:

$$\Delta P_{\text{уск}} = (\rho' \omega_0)^2 * (y_2 - y_1), \quad (5)$$

где  $y_1$  и  $y_2$  – значения комплекса для начального и конечного сечений соответственно.

Потери давления на преодоление местных сопротивлений определяется из выражения:

$$\Delta p_{mc} = \xi_{mc} \frac{\rho' \omega_0^2}{2} \left( 1 + x \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right), \quad (6)$$

где  $\xi_{mc}$  – коэффициент местных сопротивлений.

Потери на преодоление трения двухфазного потока можно определить по формуле:

$$\Delta p_{mp} = \xi \frac{\rho' \omega_0^2 l}{2d} \left( 1 + \psi x \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right), \quad (7)$$

где  $\xi$  – коэффициент сопротивления потока,  $\psi$  – коэффициент, учитывающий влияние двухфазного потока,  $d$  – диаметр трубы, м;  $l$  – длина труб, м.

Давление столба жидкости или нивелирный напор можно определить из зависимости:

$$\Delta p_{niv} = [\bar{\varphi} \rho'' + (1 - \bar{\varphi}) \rho'] g l_h, \quad (8)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $l_h$  – высота столба двухфазной смеси, м.

Как показали исследования [10 - 11], наибольшими из этих четырех составляющих в вертикальных трубах являются потери на преодоление трения и нивелирного напора.

Целью данной работы является исследование процессов, происходящих при кипении в вертикальных трубах. Для этого были поставлены следующие задачи:

- Изучить режимы движения парожидкостных смесей в трубах вертикальных испарителей
- Определить параметры, характеризующие движение в вертикальных трубах
- Выявить и построить зависимости потерь напора в трубах от конструктивных и режимных параметров
- Определить влияние гидродинамики и потерь напора в трубе на температуру кипения холодильных агентов

#### **Экспериментальные стенды**

Для визуальных наблюдений за реальным процессом кипения хладагентов в вертикальной трубе был собран стенд №1, представленный на рисунке 2.

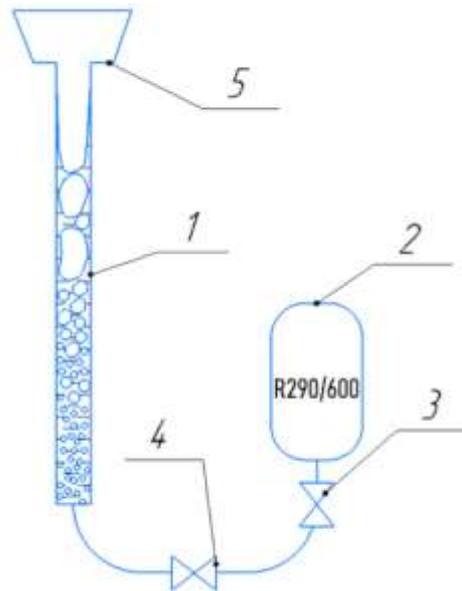


Рис 2. Стенд №1 для визуальных наблюдений за процессом кипения хладагента

Стенд состоит из стеклянной экспериментальной трубы 1 с установленной на ней воронкой 5, в которую снизу подаётся смесевой хладагент из баллона 2, проходя через запорный вентиль 3 и регулирующий вентиль 4. Эксперимент с данным стендом проводится на открытом воздухе с соблюдением правил работы с пожароопасными и взрывоопасными веществами.

Для проведения опытов по исследованию гидродинамики двухфазного потока в вертикальной трубе был разработан и собран стенд №2 [12], представленный на рисунке 3.

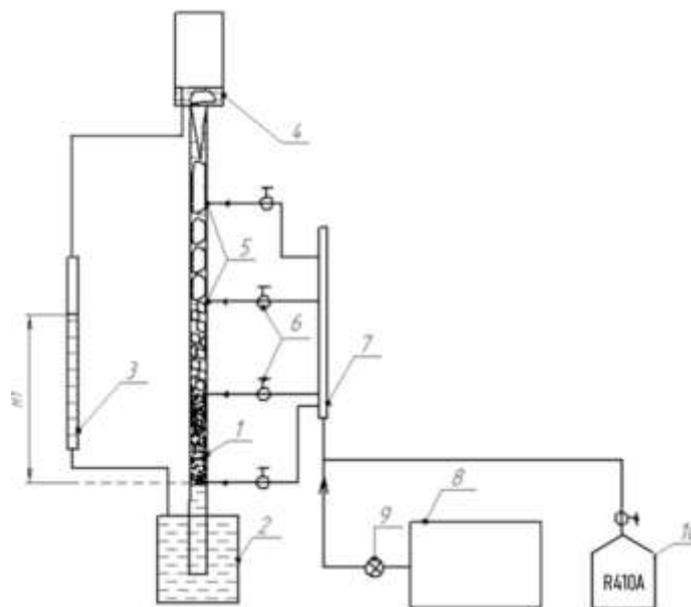


Рис. 3. Схема экспериментального водо-газового стенда №2

Стенд состоит из прозрачной экспериментальной трубы 1, расположенной вертикально и погруженной в ёмкость – подпорный бак 2. С этой ёмкостью соединена мерная труба 3, установленная вертикально. Сверху экспериментальной трубы установлена воронка 4. Для изменения конструктивных параметров стенда достаточно просто поменять экспериментальную трубу на таковую с требуемым диаметром или длиной.

Длина экспериментальной трубы варьируется от 0,6 до 2,25 метров, её диаметр – от 8 до 30 миллиметров, уровень в воронке над экспериментальной трубой – от 0 до 100 миллиметров, расход пара, подаваемого в стенд – от 0,02 до 0,35 литров в секунду.

Известно, что при кипении в вертикальной трубе, паросодержание постоянно возрастает по ходу движения потока, то есть, снизу вверх. Чтобы имитировать данный процесс, в стенде предусмотрено от одного до четырех вводов газа 5 с равномерной подачей. Через них пар хладагента R410A из баллона 10 подается в экспериментальную трубу, проходя через коллектор 7 и регулирующие вентили 6 для каждого ввода. После выявления влияния числа вводов на гидродинамику, опыты проводились и с одним вводом для газа в самом низу трубы.

Ввиду того, что для проведения опытов с хладагентами требуется затрачивать большие объемы дорогостоящего рабочего вещества, было предложено проводить опыты, заменив пары фреона на воздух. Известно, что плотности воды и жидкого фреона сопоставимы, разница между ними составляет примерно 25 % [13], чего нельзя сказать про соотношение плотностей их паров. Так, при нормальной температуре плотность воздуха в 25 раз меньше плотности паров фреона. Поэтому, чтобы определить влияние плотности паровой фазы на процесс кипения, опыты проводились с подачей фреона и воздуха в экспериментальную трубу при тех же режимных параметрах.

Для определения влияния качки судна на процессы, протекающие в вертикальном испарителе, был разработан стенд №3 с наклонными трубами. Схема стенда показана на рисунке 4.

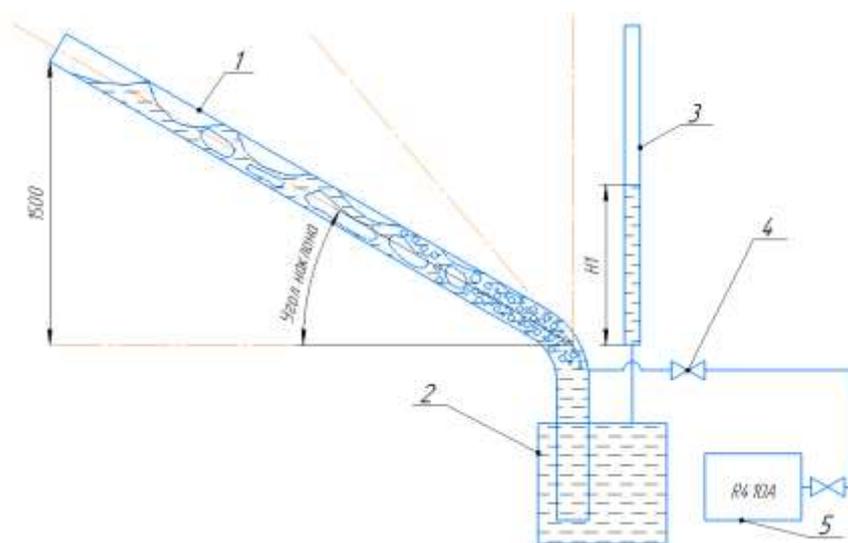


Рис. 4. Стенд с наклонными трубами №3

Стенд включает в себя наклонную экспериментальную трубу 1, погруженную в ёмкость – подпорный бак 2, соединенный с мерной трубкой 3. Хладагент из баллона 5 подается в нижнюю часть экспериментальной трубы, проходя через регулирующий вентиль 4. Диаметр трубы 14 миллиметров. Опыт проводится с отклонением 30, 45 и 90 градусов от горизонтали, при этом длина трубы меняется таким образом, чтобы верхний конец трубы всегда находился на расстоянии 1,5 метра от точки, в которую подается воздух. Таким образом, длина трубы с наклоном 30 градусов – 3,3 метра, с наклоном 45 градусов – 2,1 метра, 90 градусов – 1,5 метра.

Методика проведения эксперимента выбиралась таким образом, чтобы процессы, происходящие в течение этого эксперимента, были подобны таковым в трубах реального испарителя холодильной машины.

#### **Методика проведения экспериментов**

Работа с пропан-бутановым стендом №1 проходит следующим образом: баллон предварительно охлаждается, после чего на баллоне открывается запорный вентиль, затем медленно открывается регулирующий вентиль и смесь начинает поступать в экспериментальную трубу. На малом расходе пропана труба захлаживается, затем расход увеличивается так, чтобы пропан выкипал по всей длине трубы без выплеска в воронку при полном смачивании всей поверхности трубы. Благодаря тому, что труба прозрачная, в ней можно наблюдать и фиксировать процесс кипения по длине трубы во всех подробностях.

Работа с вертикальным водо-газовым стендом №2 проходит следующим образом: в стенд подается фреон с максимальным расходом, который выставляется при помощи регулирующих вентилях, после чего в воронку заливается вода до тех пор, пока в воронке не установится требуемый уровень жидкости. При этом в мерной трубе установится уровень жидкости, отличный от такового в экспериментальной трубе в меньшую сторону из-за того, что в мерной трубе находится чистая жидкость, а не водо-газовая смесь. Однако, по закону сообщающихся сосудов, гидростатический напор в экспериментальной и мерной трубах будет одинаковым, и его можно будет измерить. После проведения измерений расход воздуха уменьшается, доливаема вода, и измерения проводятся повторно. Затем экспериментальная труба заменяется на другую трубу, с другим диаметром или длиной, и эксперименты проводятся уже для этой трубы. Аналогичным образом проводятся эксперименты и с воздухом.

Работа с наклонным водо-воздушным стендом №3 похожа на таковую с вертикальным стендом: труба наклоняется на нужный угол от горизонтали, после чего в нее подается максимальный расход воздуха и заливается вода до тех пор, чтобы вся поверхность трубы была смочена и не было выплеска, после чего по мерной трубе замеряется гидростатический напор. Расход воздуха уменьшается, доливаема вода, и производится замер уровня в мерной трубе. После выбирается другой угол наклона и длина трубы меняются.

#### **Результаты проведения экспериментов**

Опыты, которые проводились на водо-газовом стенде, показали, что проведение экспериментов в вертикальной трубе путём равномерной подачи газа через равноудаленные друг от друга участки обеспечивает необходимую точность эксперимента.

Это подтверждается тем, что эксперименты с кипением пропан-бутановой смеси показали схожие с моделью результаты. Снизу трубы наблюдался пузырьковый режим, характеризующийся мелкими группами пузырей, движущихся с небольшой скоростью. В дальнейшем они сливались, образуя пробки, и в середине трубы наблюдался снарядный или пробковый режим движения, переходящий в кольцевой ближе к верхнему концу трубы.

Таким образом, соответствие режимов движения парожидкостной смеси таковым при реальном кипении хладагентов в трубах, а также примерно одинаковая их протяженность по длине позволяет считать приведенную в данной работе модель достаточно точной.

Экспериментальная проверка влияния количества вводов на гидродинамику потока при моделировании показала, что, сравнивая подачу газа только через нижнее сечение и через все сечения сразу, можно сказать, что в последнем случае потери напора выше. Это связано с тем, что в этом случае в отрезках трубы, между сечениями ввода газа, наблюдается более высокая плотность двухфазного потока, из-за большего содержания жидкости, т.к. в нижние сечения вводится меньший объем газа, что приводит к росту нивелирного напора в нижних сечениях и, как следствие, во всей трубе (рисунок 5). Полное сходство по сопротивлениям может быть видим только в самой верхней части трубы.

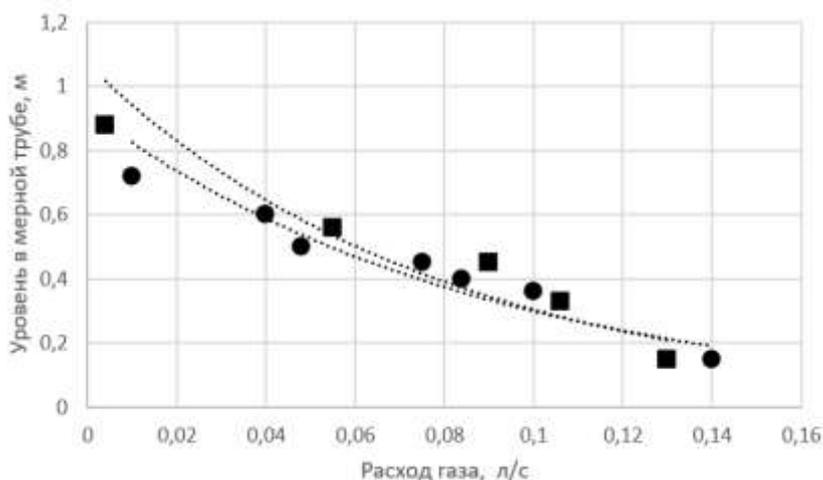


Рис. 5. Потери напора при подаче фреона: (○) - через нижнее сечение, (□) - через четыре сечения в трубе 1,5 м диаметром 14 мм

Данные, полученные в ходе эксперимента, согласуются с выводами, что с увеличением количества вводов моделирование приближается к реальному процессу, однако, как видно из эксперимента, расхождение невелико и лежит в пределах погрешности эксперимента.

Схождение результатов эксперимента при подаче газа через одни и через четыре сечения, при высоких расходах газа объясняется тем, что в самой верхней части трубы находится самое меньшее количество жидкости, и нивелирный напор меньше. Данный эксперимент позволяет говорить о возможности использования результатов моделирования при пропускании газа через одно сечение, зная влияние количества вводов.

Зависимость потерь давления в трубе от расхода воздуха для разных диаметров представлена на рисунке 6.

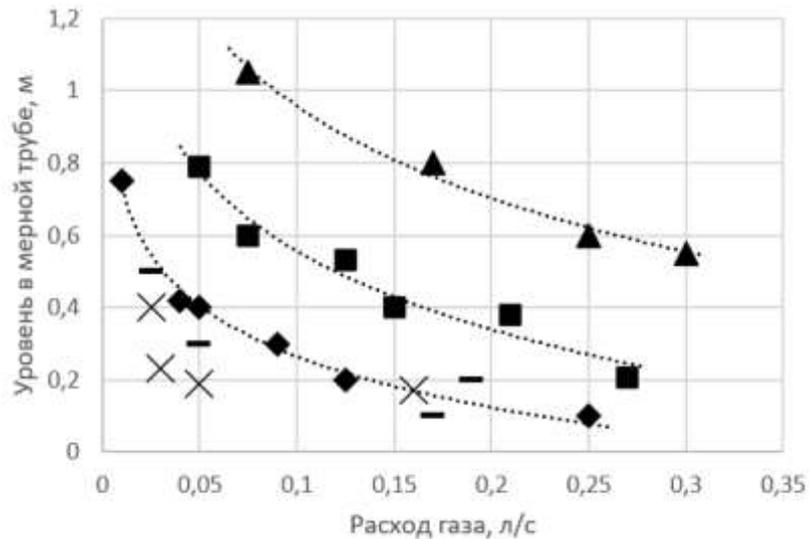


Рис. 6. Зависимость потерь напора от расхода воздуха, подаваемого в трубы различного диаметра. ▲ – 30мм, ■ – 25мм, ◆ - 14мм, — - 10мм, × - 8мм

Результаты опытов показали, что с увеличением расхода воздуха уменьшаются потери давления в трубах любого диаметра. Это можно объяснить тем, что с увеличением количества подаваемого воздуха средняя плотность смеси снижается, а с ней уменьшаются и потери на преодоление нивелирного напора, которые в вертикальной трубе вносят самый большой вклад в общие потери давления. При этом, для труб большего диаметра при том же расходе воздуха потери напора всегда выше, чем в трубах меньшего диаметра. Это можно объяснить тем, что в трубе большего диаметра имеется больший объем жидкости по отношению к объему пара, появляющегося при кипении, отчего средняя плотность смеси всегда выше, чем в трубах меньшего диаметра при той же плотности теплового потока.

Подытоживая результаты данного эксперимента, можно сделать вывод, что с уменьшением диаметра труб теплообменников снижаются потери давления в них. Это подтверждается сегодняшними тенденциями, связанными с переходом к теплообменникам с меньшим диаметром труб, что позволяет понизить температуру кипения и увеличить площадь теплообменной поверхности при том же объеме аппарата.

На рисунке 7 показаны зависимости потерь напора в трубах от расхода воздуха при различном их наклоне.

По результатам видно, что с уменьшением наклона от горизонтали возрастают потери давления. Происходит это за счет увеличения длины, и, таким образом, увеличения потерь на трение в трубе. Кроме того, визуально в наклонных трубах можно было наблюдать расслоенный режим движения, который не так эффективен с точки зрения теплообмена, как кольцевой режим движения на конце вертикальной трубы.

При этом разница между потерями напора в вертикальной и наклонной трубах – это потери на трение, так как высота у обеих труб равная. Заметно, что потери возрастают пропорционально длине трубы при том же расходе подаваемого в нее воздуха.

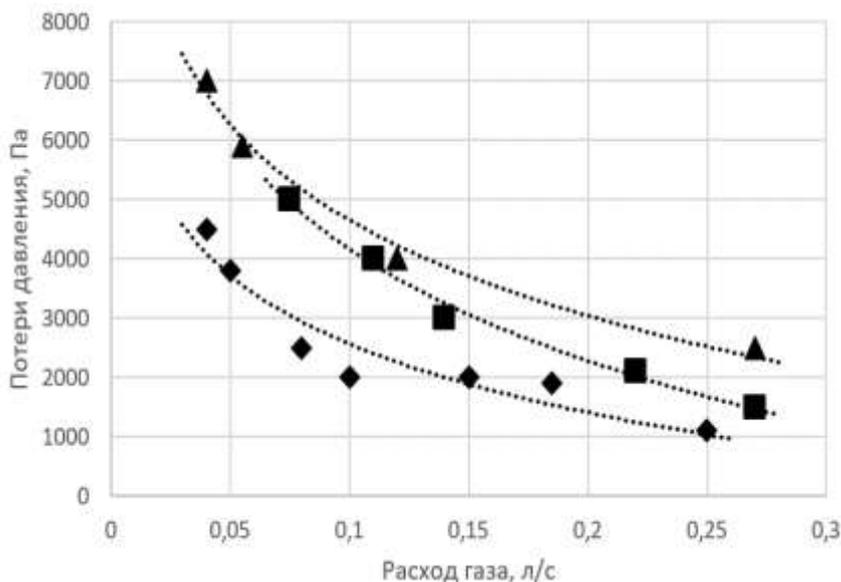


Рис. 7. Зависимость потерь напора в трубе от расхода воздуха в ней при различных наклонах. ▲ – 30°, ■ – 40°, ♦ - вертикальная

На рисунке 8 представлена зависимость потерь давления в вертикальных трубах от расхода воздуха для разных длин труб диаметром 14 мм:

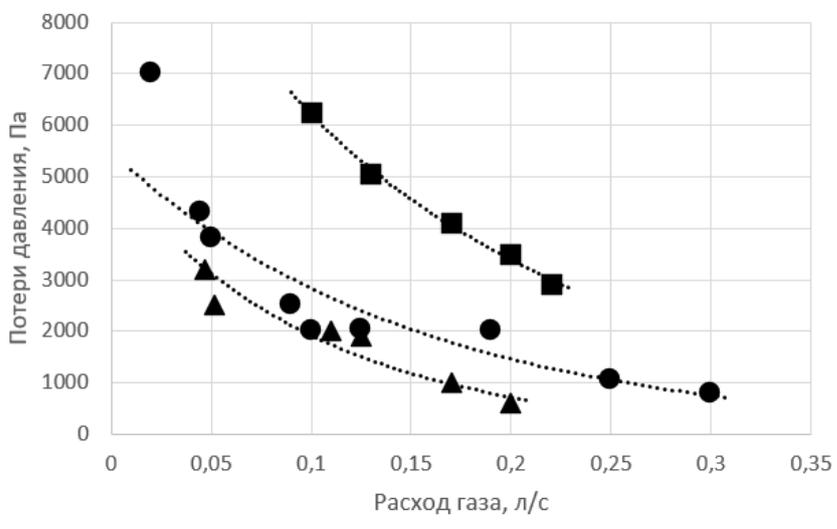


Рис. 8. Зависимость потерь напора в вертикальных трубах разной длины и диаметром 14 мм от расхода воздуха в них. ▲ - 0,75 м.; ● - 1,5 м.; ■ – 2,25 м

Анализ графика показывает, что потери напора в вертикальном канале пропорциональны его длине. Это еще раз подтверждает, что наибольший вклад в общие потери давления в вертикальной трубе вносят потери на преодоление нивелирного напора и на трение, так как именно эти две составляющие потерь зависят от длины (7).

При эксплуатации вертикальных испарителей, для обеспечения полного смачивания всех труб, в верхней крышке необходимо поддерживать некоторый уровень жидкости. Для оценки влияния уровня затопления на гидродинамику потока

были проведены опыты на стенде №2. На рисунке 9 представлена зависимость потерь давления от расхода воздуха при разном уровне жидкости в воронке над трубой.

Из приведённых данных видно, потери напора в трубе возрастают быстрее уровня затопления. При увеличении залива над ней, в самой трубе увеличивается масса жидкости, что объясняет более высокие потери напора по сравнению с трубой без залива.

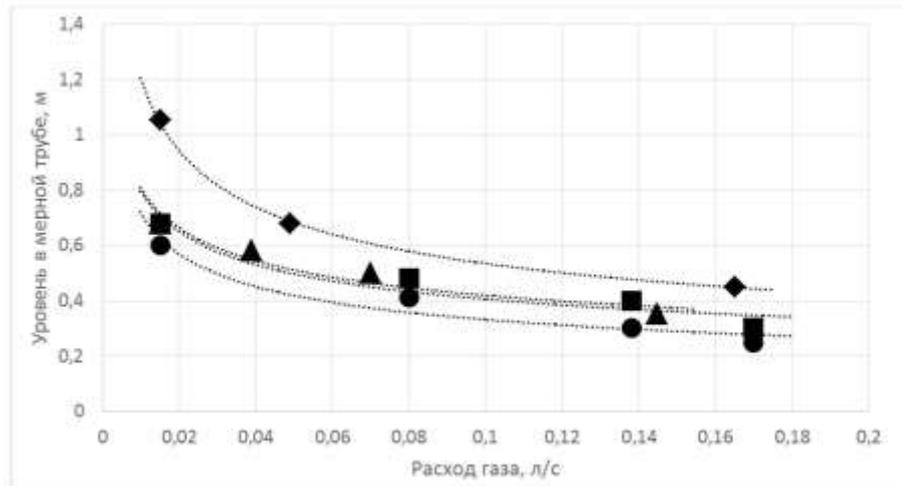


Рис. 9. Сравнение зависимостей потерь напора от расхода воздуха на трубе  $L=1,5$  м,  $d=14$  мм: ● – без затопления, ▲ – при затоплении 2 см, ■ – при затоплении 4 см, ◆ – при затоплении 9 см

За все проведенные эксперименты наблюдались потери давления в трубах в диапазоне от 300 до 6500 Па. Зависимость температуры кипения от давления определялась исходя из свойства конкретных холодильных агентов, в данном случае R600a и смеси R410a. Изменение температуры кипения для R410a и R600a, вследствие возрастания давления внизу трубы показано на рисунке 10.

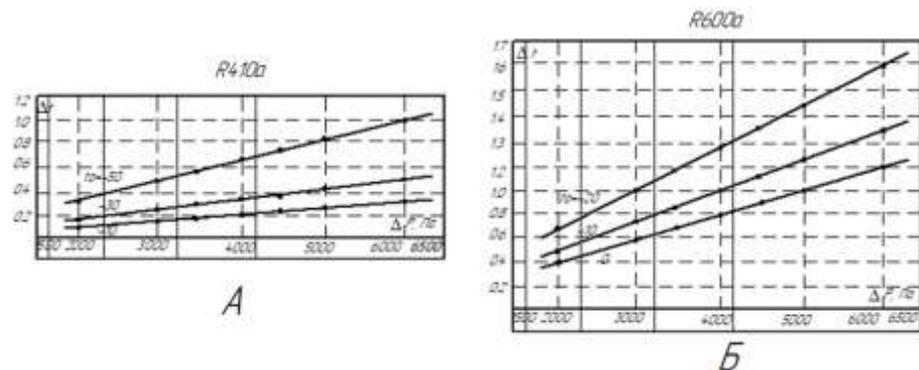


Рис. 10. Зависимость изменения температуры кипения от потери напора в аппарате, при параметрах трубы  $l=1,5$  м,  $d=14$  мм [4]: А –R410а Б –R600а

Из рисунка видно, что рост давления в показанном диапазоне изменяет температуру кипения от 1 градус для R410a и до 1,6 градусов для R600a. Такое изменение необходимо будет компенсировать понижением температуры кипения хладагента, что, снижает холодопроизводительность машины примерно на 4 процента за каждый градус [14-15]. Тем не менее такое повышение температуры кипения будет

наблюдаться только в самой нижней части трубы и будет снижаться по мере приближения к её верхней части.

### **Выводы**

Проведённые эксперименты показали, что потери давления в трубе судового парогенератора прямо пропорциональны её длине и диаметру и обратно пропорциональны расходу воздуха, подаваемого в неё. Самый большой вклад в общие потери давления в вертикальных трубах оказывают потери на преодоление нивелирного напора. Исходя из этого, можно сказать, что при проектировании вертикальных судовых испарителей будет разумно использовать меньшее отношение длины аппарата к его диаметру, с целью уменьшения главной составляющей потерь давления в аппарате, а именно нивелирного напора.

Исследование потерь напора показало, что их значения в трубе высотой 1,5 метра соответствуют изменению температуры кипения холодильного агента в судовых холодильных установках на 1 °С при температуре испарения -10 °С, для различных веществ с низкой температурой кипения. Тем не менее, из результатов визуальных наблюдений можно сделать вывод, что в отличие от применяемых на сегодняшний день горизонтальных парогенераторов, в вертикальных аппаратах с внутритрубным кипением будет обеспечено полное смачивание всей теплообменной поверхности труб, что повысит коэффициент теплоотдачи при той же площади теплообмена, а, следовательно, позволит уменьшить габариты аппарата, что важно для судовых холодильных установок. Кроме того, сама конструкция вертикального испарителя позволит ему занимать куда меньшую площадь на полу, нежели горизонтальные аппараты, сохраняя все их достоинства, такие как малая масса холодильного агента, невозможность замерзания жидкости внутри труб и прочие, что говорит о перспективности использования вертикальных парогенераторов в судовых энергетических установках.

### **Список литературы**

1. Данилова Г.Н., Богданов С.Н., Иванов О.П. и др. Теплообменные аппараты холодильных установок. Ленинград: Машиностроение, 1986. 303 с.
2. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании, Москва «Высшая школа», 1986 г.;
3. Wang C. C. et al. An experimental study of convective boiling of refrigerants R-22 and R-410A/Discussion //ASHRAE Transactions. – 1998. – Т. 104. – P. 1144.
4. Huo X. et al. Flow boiling and flow regimes in small diameter tubes //Applied Thermal Engineering. – 2004. – Т. 24. – №. 8-9. – P. 1225-1239.
5. Murata, K., and K. Hashizume. "Forced convective boiling of nonazeotropic refrigerant mixtures inside tubes." (1993): P. 680-689.
6. Малышев А. А., Киссер К. В., Зайцев А. В. Истинные параметры кипящих хладагентов в трубах и каналах //Вестник Международной академии холода. – 2017. – №. 2. – С. 53-56.
7. Oudah M. H., Mejbil M. K., Allawi M. K. R134a flow boiling heat transfer (FBHT) characteristics in a refrigeration system //J. Mech. Eng. Res. Dev. – 2021. – Т. 44. – №. 4. – P. 69-83.
8. Saitoh S., Daiguji H., Hihara E. Effect of tube diameter on boiling heat transfer of R-134a in horizontal small-diameter tubes //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2005. – Т. 48. – №. 23-24. – С. 4973-4984.
9. Bandarra Filho E. P., Jabardo J. M. S., Barbieri P. E. L. Convective boiling pressure drop of refrigerant R-134a in horizontal smooth and microfin tubes //International journal of refrigeration. – 2004. – Т. 27. – №. 8. – С. 895-903.
10. Bandarra Filho E. P., Cheng L., Thome J. R. Flow boiling characteristics and flow pattern visualization of refrigerant/lubricant oil mixtures //International journal of refrigeration. – 2009. – Т. 32. – №. 2. – С. 185-202.

11. Agostini B., Bontemps A. Vertical flow boiling of refrigerant R134a in small channels //International journal of heat and fluid flow. – 2005. – Т. 26. – № 2. – P. 296-306.
12. Патент № 2752716 С1 Российская Федерация, МПК G01M 10/00. Гидродинамический экспериментальный стенд : № 2020136793 : заявл. 10.11.2020 : опубл. 30.07.2021 / В. Г. Букин, А. В. Букин, А. И. Андреев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Астраханский государственный технический университет.
13. Д.В. Изюмченко, И.В. Стоноженко, К.Н. Гужов, В.А. Сулейманов, О.В. Бузинова, О.В. Николаев, Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований вертикальных газожидкостных потоков и расчетов по программе OLGA, Научно-технический сборник - Вести газовой науки № 2 (26) / 2016
14. Букин В. Г., Андреев А. И., Букин А. В. Гидравлическое сопротивление при кипении хладагентов в трубах горизонтальных и вертикальных испарителей судовых холодильных машин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. No 2. С. 92–99. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-92-99.
15. Bukin, V. G. Pressure losses investigation at boiling two-phase flow movement in inclined pipes of a marine refrigeration machine evaporator / V. G. Bukin, A. I. Andreev, R. R. Minofyev // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. – 2023. – No. 4. – P. 40-45. – DOI 10.24143/2073-1574-2023-4-40-45.

#### References

1. Danilova G.N., Bogdanov S.N., Ivanov O.P. i dr. «Teploobmennye apparaty holodil'nyh ustanovok. Leningrad: Mashinostroenie» (Heat exchangers of refrigeration units), 1986. 303 p.
2. Kutepov A.M., Sterman L.S., Styushin N.G. Gidrodinamika i teploobmen pri paroobrazovanii, Moskva «Vysshaya shkola», 1986 g.;3. Wang C. C. et al. «An experimental study of convective boiling of refrigerants R-22 and R-410A» (Hydrodynamics and heat transfer during vaporization)/Discussion //ASHRAE Transactions. – 1998. – Т. 104. – P. 1144.
3. Wang C. C. et al. An experimental study of convective boiling of refrigerants R-22 and R-410A/Discussion //ASHRAE Transactions. – 1998. – Т. 104. – P. 1144.
4. Huo X. et al. Flow boiling and flow regimes in small diameter tubes //Applied Thermal Engineering. – 2004. – Т. 24. – №. 8-9. – P. 1225-1239.
5. Murata, K., and K. Hashizume. "Forced convective boiling of nonazeotropic refrigerant mixtures inside tubes." (1993): P. 680-689.
6. Malyshev A. A., Kisser K. V., Zajcev A. V. «Istinnye parametry kipyashchih hladagentov v trubah i kanalah //Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda» (True parameters of boiling refrigerants in pipes and channels). – 2017. – №. 2. – P. 53-56.
7. Oudah M. H., Mejbel M. K., Allawi M. K. R134a flow boiling heat transfer (FBHT) characteristics in a refrigeration system //J. Mech. Eng. Res. Dev. – 2021. – Т. 44. – №. 4. – P. 69-83.
8. Saitoh S., Daiguji H., Hihara E. Effect of tube diameter on boiling heat transfer of R-134a in horizontal small-diameter tubes //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2005. – Т. 48. – №. 23-24. – С. 4973-4984.
9. Bandarra Filho E. P., Jabardo J. M. S., Barbieri P. E. L. Convective boiling pressure drop of refrigerant R-134a in horizontal smooth and microfin tubes //International journal of refrigeration. – 2004. – Т. 27. – №. 8. – С. 895-903.
10. Bandarra Filho E. P., Cheng L., Thome J. R. Flow boiling characteristics and flow pattern visualization of refrigerant/lubricant oil mixtures //International journal of refrigeration. – 2009. – Т. 32. – №. 2. – С. 185-202.
11. Agostini B., Bontemps A. Vertical flow boiling of refrigerant R134a in small channels //International journal of heat and fluid flow. – 2005. – Т. 26. – № 2. – P. 296-306.
12. Patent № 2752716 С1 Rossijskaya Federaciya, МПК G01M 10/00. Gidrodinamicheskij eksperimental'nyj stend : № 2020136793 : zayavl. 10.11.2020 : opubl. 30.07.2021 / V. G. Bukin, A. V. Bukin, A. I. Andreev ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Astrahanskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet.

13. D.V. Izyumchenko, I.V. Stonozhenko, K.N. Guzhov, V.A. Sulejmanov, O.V. Buzinova, O.V. Nikolaev, «Srvnitel'nyj analiz rezul'tatov eksperimental'nyh issledovanij vertikal'nyh gazozhidkostnyh potokov i raschetov po programme OLGA» (Comparative analysis of the results of experimental studies of vertical gas-liquid flows and calculations using the OLGA program), Nauchno-tehnicheskij sbornik - Vesti gazovoj nauki № 2 (26) / 2016
14. Bukin V. G., Andreev A. I., Bukin A. V. «Gidravlichesкое soprotivlenie pri kipenii hladagentov v trubah gorizontaľnyh i vertikaľnyh ispariteľej sudovyh holodil'nyh mashin // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta» (Hydraulic resistance during boiling of refrigerants in pipes of horizontal and vertical evaporators of ship refrigeration machines). Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2020. No 2. P. 92–99. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-92-99.
15. Bukin, V. G. Pressure losses investigation at boiling two-phase flow movement in inclined pipes of a marine refrigeration machine evaporator / V. G. Bukin, A. I. Andreev, R. R. Minofyev // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. – 2023. – No. 4. – P. 40-45. – DOI 10.24143/2073-1574-2023-4-40-45.

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

**Букин Владимир Григорьевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры теплоэнергетики и холодильных машин, Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16, e-mail: bukinvg@mail.ru

**Андреев Александр Иванович**, ассистент кафедры теплоэнергетики и холодильных машин, Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16 e-mail: aresut79@mail.ru

**Минофьев Роман Романович**, магистрант кафедры теплоэнергетики и холодильных машин, Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16, e-mail: minofevrr@outlook.com

**Vladimir G. Bukin**, doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Heat Power Engineering and Refrigeration Machines, Astrakhan State Technical University (FSBEI HE "AGTU"), 414056, Astrakhan, st. Tatishcheva 16, e-mail: bukinvg@mail.ru

**Alexander I. Andreev**, assistant of the department of heat power engineering and refrigeration machines, Astrakhan State Technical University (FSBEI HE "AGTU"), 414056, Astrakhan, st. Tatishcheva 16 e-mail: aresut79@mail.ru

**Roman R. Minofyev**, master's student of the Department of Heat Power Engineering and Refrigeration Machines, Astrakhan State Technical University (FSBEI HE "AGTU"), 414056, Astrakhan, st. Tatishcheva 16, e-mail: minofevrr@outlook.com

Статья поступила в редакцию 13.04.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 13.04.2024; published online 20.06.2024.

УДК 621.43.018.7:536.8  
DOI: 10.37890/jwt.vi79.494

## **Расширение диапазона допустимых нагрузок судового четырехтактного дизеля при использовании регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора**

**В.Л. Конюков**

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

**Аннотация.** В работе выполнен анализ влияния регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора на параметры и критерии, определяющие тепловую и механическую напряженность главного судового четырехтактного дизеля. Разработана методика построения ограничительных характеристик механической и тепловой напряженности с использованием аппроксимационных зависимостей параметров и критериев, полученных расчетно-теоретическим способом. Выявлены основные показатели, ограничивающие диапазон предельно допустимых нагрузок дизеля по механической и тепловой напряженности в исходном варианте и в варианте с регулируемым сопловым аппаратом. Установлено, что увеличение угла поворота лопаток регулируемого соплового аппарата до предельно допустимого значения вызывает снижение параметров тепловой напряженности, в результате чего расширяется зона предельно допустимых режимов эксплуатации дизеля. В то же время повышаются параметры и критерии, определяющие механическую напряженность дизеля, но сокращение зоны предельно допустимых нагрузок по механической напряженности не снижает диапазон предельно допустимых нагрузок, установленный изменением показателей тепловой напряженности.

**Ключевые слова:** дизель, регулируемый сопловой аппарат, турбокомпрессор, эксплуатационные параметры, винтовая характеристика, коэффициент утяжеления, тепловая и механическая напряженность.

## **Expansion of the range of permissible loads of a marine four-stroke diesel engine when using an adjustable turbocharger nozzle apparatus**

**Viacheslav L. Konyukov**

*Kerch State Marine Technological University, Kerch, Russia*

**Abstract.** The paper analyses the influence of the adjustable turbocharger nozzle apparatus on the parameters and criteria determining the thermal and mechanical stress of the main marine four-stroke diesel engine. The methodology of construction of limiting characteristics of mechanical and thermal stress using approximation dependences of parameters and criteria obtained by calculation-theoretical method is developed. The main parameters limiting the range of maximum permissible diesel engine loads on mechanical and thermal stress in the initial variant and in the variant with adjustable nozzle apparatus are revealed. It is established that the increase in the angle of rotation of blades of the adjustable nozzle apparatus up to the maximum permissible value causes a decrease in the parameters of thermal stress, as a result of which the zone of maximum permissible modes of operation of the diesel engine expands. At the same time, the parameters and criteria determining the mechanical stress of the diesel engine increase, but the reduction of the zone of maximum permissible loads on mechanical stress does not reduce the range of maximum permissible loads established by changing the thermal stress parameters.

**Keywords:** diesel engine, adjustable nozzle unit, turbochargers, operational parameters, screw characteristic, weighting coefficient, thermal and mechanical stress.

## **Введение**

Изменение режима работы главного судового двигателя сопровождается, как правило, изменением соотношения эффективной мощности и частоты вращения [1]. Практически, при переходе на новый режим эксплуатации меняется винтовая характеристика, которая определяется конструктивными особенностями корпуса судна, гребного винта, обрастанием корпуса и условиями плавания (осадкой, метеорологической обстановкой, состоянием акватории, режимом буксирования и т.п.) [2]. Снижение частоты вращения главного двигателя при утяжелении винтовой характеристики приводит к уменьшению мощности турбокомпрессора по причине понижения расхода воздуха и, как следствие, расхода газа [3], [4]. Одновременно при этом падает давление наддува, в результате чего уменьшается давление рабочего тела в характерных точках цикла. Ранее выполненные исследования по влиянию непосредственного управления расходом наддувочного воздуха регулируемым сопловым аппаратом (РСА) турбокомпрессора показали высокую эффективность такого воздействия на режимах долевых нагрузок [5], [6]. Использование РСА, прежде всего, повышает экономичность дизеля и способствует снижению параметров и критериев, определяющих тепловую напряженность цилиндропоршневой группы [7]. На основании этого можно сделать предположение об увеличении диапазона допустимых режимов эксплуатации дизеля при управлении параметрами наддувочного воздуха поворотом лопаток РСА.

Производители дизелей на основании исследований и опыта эксплуатации назначают ограничительные характеристики, которые определяют диапазон предельно допустимых и рекомендуемых режимов эксплуатации. Эти фирмы не считают возможным делиться результатами исследований и критериями, на основании которых назначены ограничительные характеристики даже с персоналом, обеспечивающим эксплуатацию оборудования [2], [8].

В работе [9] выполнен анализ соответствия ограничительных характеристик определяющих параметров и критериев тепловой и механической напряженности, полученных расчетно-теоретическим способом, ограничительным характеристикам, установленным заводом-изготовителем для судового четырехтактного дизеля [10]. Установлено, что заводские ограничительные характеристики предельно допустимых и рекомендуемых режимов эксплуатации соответствуют расчетным ограничительным характеристикам, полученным для максимальной температуры цикла и температуры газа в конце процесса расширения в цилиндре. Максимальная температура цикла влияет на термические напряжения элементов цилиндропоршневой группы (ЦПГ) дизеля, а температура газа в конце процесса расширения в цилиндре влияет на тепловое состояние выпускного клапана [11]. Характеристики, построенные по этим температурам можно отнести к ограничительным характеристикам тепловой напряженности элементов ЦПГ дизеля.

**Целью исследования** является анализ эффективности регулируемого соплового аппарата для расширения диапазона допустимых нагрузок главного судового четырехтактного дизеля при работе по винтовой характеристике.

## **Материалы и методы исследования**

В качестве объекта исследований принят широко распространенный на морских судах судовой четырехтактный дизель марки 8L58/64 фирмы MAN-B&W, работающий на винт фиксированного шага (ВФШ). Номинальные характеристики дизеля приведены в работе [7]. Исследования проводились расчетно-теоретическим способом с использованием программы расчета рабочего процесса дизеля «Diesel-K» [12]. Методика исследований приведена в работе [9].

Коэффициент утяжеления винтовой характеристики  $\bar{C}$  определялся как отношение мощности утяжеленного режима к мощности номинального режима,

соответствующего номинальной винтовой характеристике ( $\bar{C} = 1,0$ ), для конкретной частоты вращения и изменялся в интервале  $0,25 \leq \bar{C} \leq 3,6$ , что позволило охватить диапазон всех допустимых режимов эксплуатации. При этом относительная мощность  $\bar{N}_e = N_e/N_{e0}$  изменялась в интервале  $0,25 \leq \bar{N}_e \leq 1,0$ . Частота вращения при переходе на утяжеленную или облегченную винтовую характеристику вычислялась по выражению

$$n = n_0 \sqrt[3]{\frac{\bar{N}_e}{\bar{C}}} \quad (1)$$

Оценка надежности дизеля при изменении условий его эксплуатации проводилась с помощью основополагающих параметров и критериев, определяющих его механическую и тепловую напряженность [2, 3, 9]. Для оценки механической напряженности дизеля приняты критерии: максимальное давление сгорания топлива  $p_z$ ; среднее эффективное давление цикла  $p_e$ ; среднее давление по времени цикла  $p_c$ ; максимальная скорость нарастания давления  $\frac{dp}{d\varphi}$ ; степень повышения давления при сгорании топлива  $\lambda = \frac{p_z}{p_c}$ . Тепловая напряженность элементов ЦПГ оценивалось параметрами и критериями: температурой газа за цилиндром при условии перемешивания газа с продувочным воздухом  $T_i$ ; средней по времени температурой цикла  $T_{cp}$ ; максимальной температурой газа по циклу  $T_z$ ; температурой газа в конце процесса расширения в цилиндре  $T_b$ ; средним тепловым потоком через стенки цилиндра к охлаждающей воде  $q_o$ ; условным критерием теплонапряженности поршня (критерий Костина)  $K_n$ ; условным критерием теплонапряженности цилиндра (критерий Камкина)  $K_c$ ; относительной потерей теплоты в охлаждающую воду  $q_w$ . В качестве предельных величин перечисленных параметров и критериев принимались значения, полученные в результате заводских тестовых испытаний и теплового расчета дизеля для номинального режима.

Построение ограничительных характеристик, соответствующих определяющим параметрам и критериям напряженности дизеля выполнялось по результатам тепловых расчетов дизеля для принятых диапазонов  $\bar{C}$  и  $\bar{N}_e$ , при условии максимально допустимого для данного режима поворота лопаток РСА, обеспечивающего  $p_z = p_{z0}$  или принятой минимально допустимой степени понижения давления при продувке цилиндров ( $e_{пр} = 1,05$ ). Предварительно, для каждого режима в исходном варианте (без РСА) методом последовательных приближений вычислялось давление наддува по гидравлической характеристике турбины, полученной по результатам тестовых испытаний дизеля и тепловых расчетов.

Обработка результатов исследований проводилась для относительных значений параметров, которые находились из соотношений

$$\bar{B} = \frac{B}{B_0}, \quad \bar{n} = \frac{n}{n_0}, \quad (2)$$

где  $B$  – значение параметра или критерия, соответствующего частоте вращения  $n$  конкретной винтовой характеристики;

$B_0, n_0$  – значения соответственно параметра и частоты вращения, соответствующие стопроцентной мощности конкретной винтовой характеристики.

По результатам тепловых расчетов определялись регрессионные зависимости между частотой вращения и параметром, характеризующим тепловую или механическую напряженность. С помощью регрессионных уравнений вычислялась частота вращения коленчатого вала, соответствующая предельному значению исследуемого параметра. По полученной, таким образом, частоте вращения коленчатого вала определялась мощность дизеля для каждой утяжеленной характеристики, определяемой коэффициентом утяжеления  $\bar{C}$ . Эта мощность играла роль предельно допустимого значения для соответствующего эксплуатационного

параметра, превышение которой вызывало превышение допустимой напряженности по исследуемому параметру [9]. В качестве примера на рис.1 приведена регрессионная зависимость относительной частоты вращения коленчатого вала от относительного среднего эффективного давления.

По полученному уравнению (приведено на диаграмме) находилась частота вращения, соответствующая предельному значению  $\bar{p}_e$  для каждой утяжеленной винтовой характеристики. Предельно допустимое значение относительной мощности, соответствующее  $\bar{n}$  находилось по выражению

$$\bar{N}_e = \bar{C} \cdot \bar{n}^3. \quad (3)$$

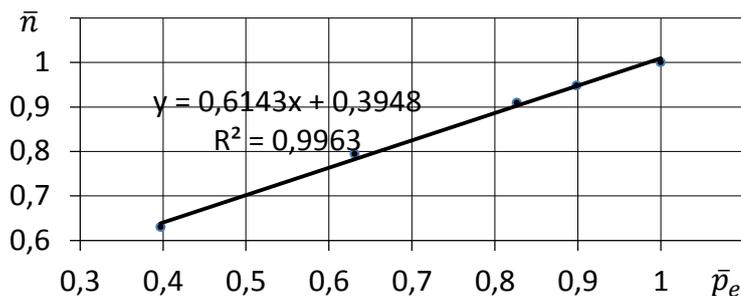


Рис. 1. Зависимость относительной частоты вращения от относительной величины среднего эффективного давления

### Результаты исследования и их обсуждение

Уменьшение угла установки лопаток соплового аппарата в результате их поворота приводит к увеличению мощности турбины турбокомпрессора. При этом повышается давление наддува и, соответственно, максимальное давление цикла  $p_z$ , а так же снижается степень понижения давления при продувке цилиндров. Эти параметры являются ограничителями при повороте лопаток РСА. На рис.2 приведены зависимости предельно допустимого угла поворота лопаток РСА  $\theta$  от относительной мощности дизеля при различных коэффициентах утяжеления винтовой характеристики. Из рисунка следует, что для облегченных винтовых характеристик диапазон изменения  $\theta$  снижается, а для утяжеленных винтовых характеристик повышается. Одновременно, с увеличением мощности турбокомпрессора, повышается коэффициент избытка воздуха при горении и снижается температура газа в характерных точках цикла. При этом снижаются параметры и критерии тепловой напряженности деталей ЦПГ дизеля.

Анализ ограничительных характеристик тепловой и механической напряженности ЦПГ этого дизеля, выполненный в работе [9] показал, что определяющими параметрами тепловой напряженности являются температуры  $T_z$  и  $T_b$ . Ограничительные характеристики, построенные по этим температурам, практически, совпадают. Фирма MAN-B&W для этого дизеля назначила характеристику предельно допустимой нагрузки и характеристику рекомендуемых режимов эксплуатации [10]. Эти характеристики представляют, практически, эквидистантные кривые относительно характеристик  $T_z = \text{const}$  ( $T_b = \text{const}$ ), первая из которых проходит через точку  $\bar{N}_e = 0,95$ ,  $\bar{n} = 0,95$ , вторая, через точку  $\bar{N}_e = 0,85$ ,  $\bar{n} = 1,0$ .

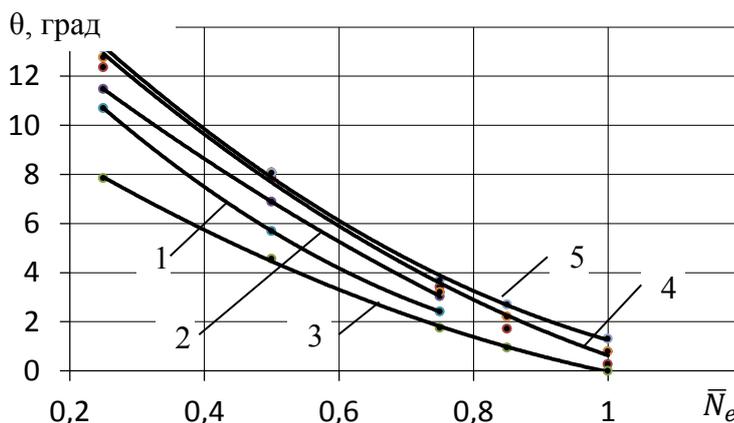


Рис. 2. Зависимость  $\theta$  от нагрузки дизеля для различных коэффициентов утяжеления: 1- $\bar{C}=0,5$ ; 2- $\bar{C}=0,75$ ; 3- $\bar{C}=1,0$ ; 4- $\bar{C}=1,4$ ; 5- $\bar{C}=2,0$

На рис. 3 представлены определяющие ограничительные характеристики тепловой напряженности ЦПГ, полученные расчетным путем. Здесь: 1 – характеристика  $p_e=\text{const}$  ( $M_e=\text{const}$ ); 2 – характеристика предельно допустимой нагрузки (назначена фирмой MAN-B&W); 3 – характеристика  $T_z=\text{const}$ ; 4 – характеристика  $T_b=\text{const}$ ; 5 – характеристика  $T_{cp}=\text{const}$ ; пунктирными линиями обозначены характеристики исходного варианта, сплошными варианта с РСА.

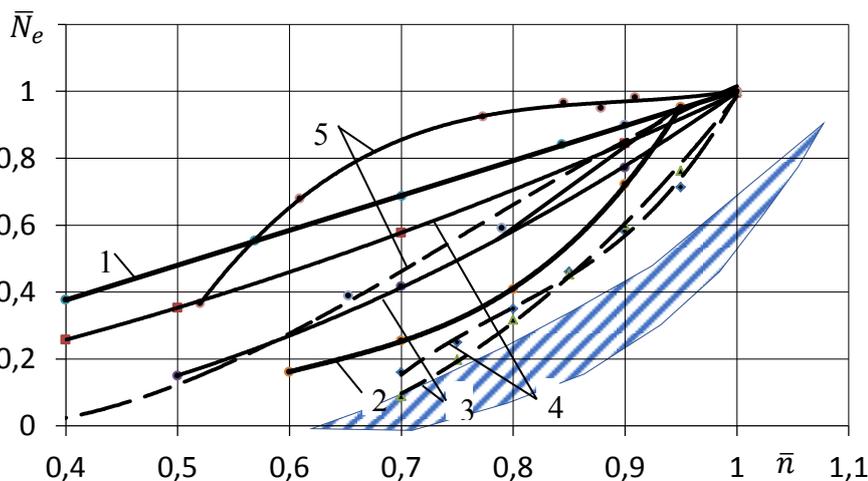


Рис. 3. Определяющие ограничительные характеристики тепловой напряженности

Исследования показали, что использование РСА турбокомпрессора расширяет зону допустимых режимов по всем параметрам и критериям тепловой напряженности дизеля. При этом определяющей ограничительной характеристикой становится кривая  $T_z=\text{const}$ . Таким образом, для  $\bar{N}_e=0,5$  диапазон предельно допустимых режимов эксплуатации дизеля по тепловой напряженности увеличивается на 30%. Это справедливо, если за предельно допустимое значение  $T_z$  принять величину, соответствующую номинальному режиму ( $\bar{N}_e=1,0$ ,  $\bar{n}=1,0$ ). Диапазон расширения допустимых режимов эксплуатации на рис.3 выделен штриховкой.

Повышение давления наддува путем поворота лопаток РСА турбокомпрессора приводит к увеличению давления рабочего тела в характерных точках цикла, что повышает механическую напряженность дизеля. На рис.4 показаны определяющие ограничительные характеристики механической напряженности. Здесь: 1 – характеристика  $p_e = \text{const}$  ( $M_e = \text{const}$ ); 2 – характеристика предельно допустимой нагрузки (назначена фирмой MAN-B&W); 3 – характеристика  $p_z = \text{const}$ ; 4 – характеристика  $(\frac{dp}{d\varphi}) = \text{const}$ ; 5 – характеристика  $\lambda = \text{const}$ ; пунктирными линиями обозначены характеристики исходного варианта, сплошными варианта с РСА. Для исходного варианта характеристика  $\lambda = \text{const}$  имеет крутой характер по причине существенного снижения степени повышения давления при горении топлива, в то время как для варианта с РСА уменьшение нагрузки повышает  $\lambda$ .

Исследования показали, что поворот лопаток РСА в установленном интервале углов вызывает существенное увеличение динамических показателей механической напряженности. Если в исходном варианте определяющей характеристикой механической напряженности была зависимость  $p_e = \text{const}$  ( $M_e = \text{const}$ ), то в варианте с РСА определяющей становится характеристика  $(\frac{dp}{d\varphi}) = \text{const}$ . Следует отметить, что характеристика  $(\frac{dp}{d\varphi}) = \text{const}$  практически совпадает с определяющей ограничительной характеристикой тепловой напряженности  $T_z = \text{const}$ . В связи с этим расширение диапазона предельно допустимых режимов по тепловой напряженности при использовании РСА не ограничивается определяющими характеристиками механической напряженности.

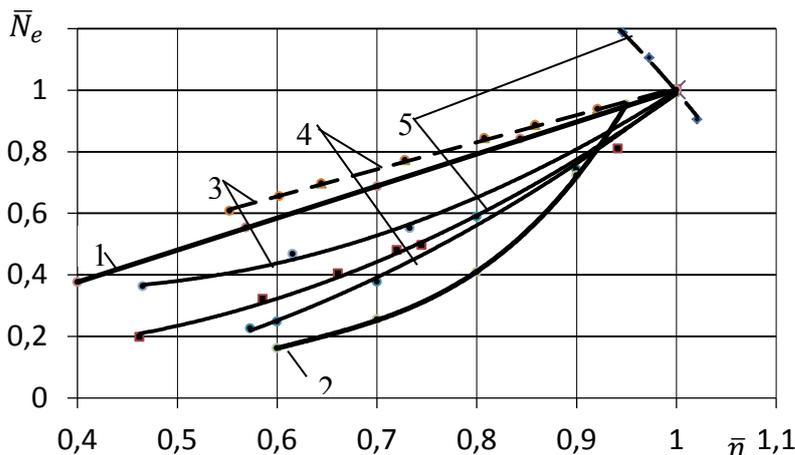


Рис. 4. Определяющие ограничительные характеристики механической напряженности

### Выводы

В работе выполнено сопоставление ограничительных характеристик, назначенных дизельной фирмой и ограничительных характеристик, полученных по определяющим параметрам механической и тепловой напряженности дизеля в исходном варианте и варианте с РСА на основании расчетно-теоретических исследований рабочего процесса четырехтактного дизеля. Это позволило расширить диапазон допустимых режимов эксплуатации путем непосредственного воздействия на расход наддувочного воздуха поворотом лопаток РСА.

Использование РСА турбины турбокомпрессора позволяет снизить определяющие показатели и критерии тепловой напряженности и существенно расширить диапазон предельно допустимых режимов эксплуатации. В исходном

варианте определяющей ограничительной характеристикой тепловой напряженности является зависимость  $T_b = \text{const}$ , влияющая на тепловое состояние выпускного клапана, что соответствует результатам, полученным в работе [11]. В варианте с РСА при максимально допустимом угле поворота лопаток определяющей характеристикой тепловой напряженности становится зависимость  $T_z = \text{const}$ , влияющая на термические напряжения элементов ЦПГ.

Использование РСА турбокомпрессора вызывает заметное повышение параметров и критериев механической напряженности, особенно динамических, и определяющей ограничительной характеристикой механической напряженности становится зависимость  $(\frac{dp}{d\varphi}) = \text{const}$ . При этом увеличение параметров и критериев механической напряженности не снижает диапазон предельно допустимых нагрузок, установленный изменением показателей тепловой напряженности.

#### Список литературы

1. Гаврилов В.С., Камкин С.В., Шмелев В.П. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. Учебное пособие для вузов. – Изд. 3-е перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. – 288 с.
2. Кацман Ф.М. Эксплуатация пропульсивного комплекса морского судна. М.: Транспорт, 1987 – 223 с.
3. Олейников Б. Н. Техническая эксплуатация дизелей судов флота рыбной промышленности. М.: Агропромиздат, 1986. 269 с.
4. Камкин С.В., Возницкий И.В., Шмелев В.П. Эксплуатация судовых дизелей. М.: Транспорт, 1990. 344 с.
5. Turbocharger aftermarket Honeywell Garrett. Garrett variable geometry turbochargers [Text]: Cheshire: Honeywell U.K. LTD, 2003. -32 p. (30e)
6. How does Variable Turbine Geometry Work. [Электронный ресурс]. Режим доступа к статье: <http://paultan.org/archives/2006/08/16/how-does-vfrbale-turbine-geometry-work/>.
7. Конюков В.Л. Улучшение эксплуатационных параметров четырехтактного дизеля, работающего по винтовой характеристике, путем использования регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора при увеличении противодавления на выпуске //Вестник керченского государственного морского технологического университета. Керчь, 2022. Вып. 3. -С.73-89.
8. Васьевич Ф.А., Зубко С.С. Оценка параметров рабочего процесса главного судового дизеля по данным эксплуатационных испытаний. Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2018, №3,с. 89-94.
9. Конюков В.Л. Оценка диапазона допустимых нагрузок судового четырехтактного дизеля на основе тепловых расчетов. //Вестник керченского государственного морского технологического университета. Керчь, 2023. Вып. 1. -С.73-81.
10. Shop Test Protocol. Marine main engine 8 L 58/64. – Augsburg: MAN-B&W, 2006. – 27 p.
11. Горб С.С., Сандлер А.К., Будуров Н.И. Повышение эффективности работы главного двигателя корректировкой упора гребного винта. Автоматизация судовых технических средств. Вып. 25, 2019, с. 35-52
12. Свидетельство RU2022685277 Российская Федерация. Программа расчета параметров рабочего процесса дизеля с наддувом «Diesel-K»: программа для ЭВМ / А.Н. Горбенко. – Оpubл. 22.12.2022, Бюл. №1.

#### References

1. Gavrilov V.S., Kamkin S.V., Shmelev V.T. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sudovykh dizelnykh ustanovok [Technical operation of marine diesel installations]. [Tekst] Uchebnoye posobiye dlya vuzov. 3-e izdaniye pererab. i dop M.: Transport. 1985. – 288 p. (In Russian)
2. Katsman F.M. Ekspluatatsiya propulsivnogo kompleksa morskogo sudna. [Operation of a propulsive complex of a marine vessel]. M.: Transport. 1987 – 223 p. (In Russian)
3. Oleinikov B. N. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya dizelei sudov flota rybnoy promyshlennosti [Technical operation of diesel engines on fishing vessels]. Moscow, Agropromizdat, 1986. 269 p.

4. Kamkin S.V., Voznitsky I.V., Shmelev V.P. Ekspluatatsiya sudovykh dizelej [Operation of marine diesel engines]. M., Transport, 1990, 344 p. (In Russian).
5. Turbocharger aftermarket Honeywell Garrett. Garrett variable geometry turbochargers [Text]: Cheshire: Honeywell U.K. LTD, 2003.-32 p. (30e)
6. How does Variable Turbine Geometry Work. [Электронный ресурс]. Режим доступа к статье: <http://paultan.org/archives/2006/08/16/how-does-vfrbale-turbine-geometry-work/>.
7. Konyukov V.L. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh parametrov chetyrekhtaktnogo dizelya. rabotayushchego po vintovoy kharakteristike. putem ispolzovaniya reguliruyemogo soploвого apparata turbokompressora pri uvelichenii protivodavleniya na vypuske [Improving the operational parameters of a four-stroke diesel engine operating according to the screw characteristic by using an adjustable turbocharger nozzle with an increase in the back pressure at the outlet]. //Vestnik kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta. [Bulletin of the Kerch State Marine Technological University.], Kerch. 2022. Vyp. 3. -pp.73-89. (In Russian)
8. Vaskevich F.A., Zubko S.S. Otsenka parametrov rabocheго protsessa glavnogo sudovogo dizelya po dannym ekspluatatsionnykh ispytaniy. [Evaluation of the parameters of the working process of the main marine diesel engine according to operational tests] Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki. [News of universities. The North Caucasus region. Technical sciences], 2018. №3.pp. 89-94. (In Russian)
9. Konyukov V.L. Ocenka diapazona dopustimyykh nagruzok sudovogo chetyrekhtaktnogo dizelya na osnove teplovykh raschetov. [ Estimation of the range of permissible loads of a marine four-stroke diesel engine based on thermal calculations]. //Vestnik kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta. [Bulletin of the Kerch State Marine Technological University] Kerch, 2023. Vyp. 1. -pp.73-81. (In Russian)
10. Shop Test Protocol. Marine main engine 8 L 58/64. – Augsburg: MAN-B&W, 2006. – 27 p.
11. Gorb S.S., Sandler A.K., Budurov N.I. Povysheniye effektivnosti raboty glavnogo dvigatelya korrekcirovkoy upora grebnogo vinta. [Improving the efficiency of the main engine by adjusting the propeller stop]. Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv. [Automation of ship technical means]. Vyp. 25. 2019. pp. 35-52 (In Russian)
12. Gorbenko A.N. Programma rascheta parametrov rabocheго processa dizelya s nadduvom «Diesel-K»: programma dlya EVM [Program for calculating the working process parameters of a supercharged diesel engine “Diesel-K”: computer program] Certificate RF RU2022685277, Publ. 12.22.2022, Bulletin № 1. (In Russian).

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

**Конюков Вячеслав Леонтьевич**, к. т. н.,  
доцент кафедры судовых энергетических  
установок, Керченский государственный  
морской технологический университет,  
298309, Республика Крым, г. Керчь, ул.  
Орджоникидзе, 82, e-mail: seykgmtu@mail.ru

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

Статья поступила в редакцию 22.03.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 22.03.2024; published online 20.06.2024.

УДК 621.6.03  
DOI: 10.37890/jwt.vi79.478

## **Эксперименты по термическому обезвреживанию судовых нефтесодержащих вод**

**В.А. Чернов<sup>1</sup>**

**О.П. Шураев<sup>1</sup>**

**А.Г. Чичурин<sup>1</sup>**

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

**Аннотация.** В процессе эксплуатации энергетической установки судна неизбежно образование нефтесодержащих вод. Многочисленные методы и технологии, применяемые на судах, не всегда обеспечивают очистку нефтесодержащих вод до величины нефтесодержания, регламентируемой национальными и международными стандартами и требованиями. В этой связи разработка установок нового типа, позволяющих обеспечить полную очистку нефтесодержащих вод от нефтепродуктов, а также уменьшить их энергетические и массогабаритные показатели является актуальной. В статье представлены первые результаты экспериментальных исследований способа термического обезвреживания нефтесодержащих вод, заключающегося в их распылении в газовыпускном тракте судового дизеля с последующим испарением воды и дожиганием нефтепродуктов из состава нефтесодержащих вод отработавшими газами дизеля.

Исследования выполнялись на специально разработанном лабораторном стенде. Горелка стенда позволяет получить выпускные газы идентичные по составу и температуре отработавшим газам в газоходе судового дизеля. Через форсунку в газоход может подаваться различная среда. В рамках описываемого периода исследований оценивалось влияние расхода и состава подаваемой в газоход среды, на температуру в различных точках газохода и получаемый при этом состав уходящих газов.

Основной задачей данного этапа исследования является определение влияния расхода и состава среды, подаваемой в газоход, на соответствие параметров газа на выходе установки, нормам, предъявляемым к содержанию вредных веществ в отработавших газах судовых дизелей.

**Ключевые слова:** термическое обезвреживание нефтесодержащих вод, отработавшие газы судовых дизелей, измерение температуры и газовый анализ.

## **Experiments on thermal neutralization of marine oily waters**

**Vladimir A. Chernov<sup>1</sup>**

**Oleg P. Shurayev<sup>1</sup>**

**Alexander G. Chichurin<sup>1</sup>**

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

**Abstract.** During the operation of the ship's power plant, the formation of oily waters is inevitable. Numerous methods and technologies used on ships do not always ensure the purification of oily waters to the amount of oil content regulated by national and international standards and requirements. In this regard, the development of a new type of installations that allow for the complete purification of oily waters from petroleum products, as well as to reduce their energy and weight and size indicators is relevant. The article presents the first results of experimental studies of the method of thermal neutralization of oily waters, consisting in their spraying in the gas outlet tract of a marine diesel engine, followed by evaporation of water and afterburning of petroleum products from the composition of oily waters with exhaust diesel gases.

The research was carried out on a specially designed laboratory stand. The burner of the stand allows to obtain exhaust gases identical in composition and temperature to the exhaust gases in the flue of a marine diesel engine. A gas or liquid medium can be supplied to the flue through the nozzle. Within the framework of the described research period, the influence of the flow rate and composition of the medium supplied to the flue on the temperature at various points of the flue and the resulting composition of the exhaust gases were evaluated.

The main task of this stage of the study is to determine the effect of the flow rate and composition of the medium supplied to the flue on the compliance of the gas parameters at the outlet of the installation with the standards for the content of harmful substances in the exhaust gases of marine diesel engines.

**Keywords:** thermal neutralization of oily waters, exhaust gases of marine diesel engines, temperature measurement and gas analysis.

### **Введение**

Судоходство, несомненно, играет важную роль в мировой экономике, но оно также оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. Одним из наиболее опасных факторов этого негативного воздействия является загрязнение водной среды нефтепродуктами [1-4]. В процессе эксплуатации энергетической установки судна неизбежно происходит взаимопроникновение воды и нефтепродуктов, что приводит к образованию нефтесодержащих вод (НСВ). Многочисленные методы и технологии, применяемые на судах для очистки НСВ, хотя и способны значительно снизить содержание нефтепродуктов в НСВ, но не обеспечивают полную утилизацию этих нефтепродуктов. Например, достижение в современных системах очистки остаточного содержания нефтепродуктов на уровне 1...10 ppm удовлетворяет существующим национальным и международным стандартам, но тем не менее, некоторое количество нефтепродуктов попадает в водную среду [5-10]. Разработка установок нового типа, позволяющих обеспечить полную очистку НСВ от нефтепродуктов, а также уменьшить энергетические и массогабаритные показатели является актуальной.

Одним из перспективных способов, обеспечивающих полную утилизацию, является термическое (огневое) обезвреживание НСВ путем их распыления в газораспределительном тракте судового двигателя. Там происходит нагревание НСВ теплотой отработавших газов, испарение воды и последующее разложение и, возможно, дожигание нефтеостатка [10-12]. Для исследования указанных процессов разработан лабораторный стенд (рис. 1), состав и функциональные возможности которого достаточно подробно описаны в работе [13]. Первые настроечные запуски показали, что параметры продуктов сгорания на стенде при использовании в качестве топлива природного газа по большинству значений соответствуют параметрам продуктов сгорания судовых дизелей и газовых двигателей, следовательно, стенд вполне успешно имитирует условия в их газораспределительном тракте [13].

Лабораторный стенд позволяет устанавливать и регулировать температуру выпускных газов и массовый расход образцов НСВ. Контроль температуры осуществляется с помощью 5 термодатчиков (Т02...Т06) установленных на газоходе с шагом 300 мм, так что нижняя точка гильзы термодатчика расположена на оси газохода. Еще одна термодатчик (Т01) контролирует температуру НСВ в напорном баке. Все термодатчики подключены к блоку БРИЗ-АТ, задачей которого является регистрация измерений, их отображение на дисплее, архивация на карту памяти и передача на компьютер. Массовый расход НСВ зависит от давления в напорном баке, которое измеряется электронным датчиком давления и манометром. Форсунка с диаметром отверстия 0,5 мм для подачи образцов установлена между термодатчиками Т02 и Т03. Замер состава выпускных газов осуществляется газоанализатором ДАГ-510МВ, приемный зонд которого установлен между термодатчиками Т05 и Т06.

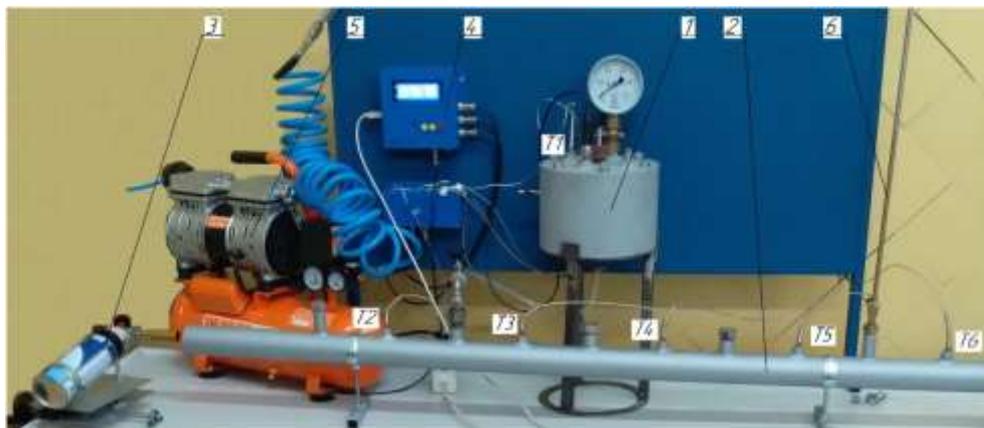


Рис. 1. Стенд для проведения экспериментального исследования: 1 - напорный бак, 2 - газоход, 3 - источник горячих газов, 4 - блок регистрации измерений, 5 - компрессор, 6 - зонд газоанализатора

Задачами данного этапа исследования являются:

- получение данных для определения границ работоспособности установки по составу уходящих газов;
- определение факторов, влияющих на критерии работоспособности.

Под работоспособностью установки прежде всего будем понимать соответствие параметров газа на выходе установки, нормам, предъявляемым к содержанию вредных веществ в отработавших газах судовых дизелей.

### Методы

Эксперимент проводился в шесть этапов, отличающихся режимом работы элементов стенда. В качестве отклика на каждом этапе исследования рассматривалось распределение температуры по длине газохода и газовый состав на выходе из газохода.

На первом этапе работала только газовая горелка в качестве источника продуктов сгорания без подачи в газоход образцов НСВ. Данные по составу выпускных газов, полученные на данном этапе, будут являться эталонными для следующих этапов и позволят сопоставлять начальные условия в рамках предыдущих и последующих экспериментов.

На втором этапе при работающей горелке через форсунку для подачи НСВ в пространство газохода подавался воздух при давлении 0,6 МПа. Такой режим работы установки соответствует ситуации, когда НСВ в баке закончилась.

Третий и четвертый этапы состояли в подаче через форсунку чистой воды при давлении 0.6 и 0.2 МПа соответственно. Понижение давления было предпринято для уменьшения расхода воды через форсунку, так как в ходе третьего этапа выяснилось, что подача существенно превышает количество воды, которое может быть прогрето и испарено (см. в работе [11]) в потоке продуктов сгорания от горелки.

На пятом и шестом этапах в газоход подавалась НСВ, которая представляла собой смесь воды и дизельного топлива ДТ-Л-62-К5 ГОСТ 305-2013 в соотношении 245 г воды и 5 г топлива (нефтесодержание 2%) в первом случае, и 200 г + 50 г (нефтесодержание 20%) во втором. Давление в баке в обоих случаях поддерживалось 0,2 МПа.

Исследования проводились в помещении при температуре  $21,5 \pm 1,2$  °С, давлении  $996,7 \pm 0,2$  гПа, и относительной влажности  $69 \pm 3$  %.

### **Результаты и обсуждение**

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлены следующие стадии процесса обезвреживания НСВ: испарение влаги и нефтепродуктов, термическое разложение нефтепродуктов, выход летучих компонентов, формирование парогазовой смеси и появление локальной зоны окисления горючих компонентов.

В ходе первого этапа исследований достигнута температура продуктов сгорания газа в горелке 572 °С по данным термопары Т02. Далее по длине трубы наблюдается закон распределения температуры, близкий к экспоненциальному (рис. 2).

Как ранее отмечалось, результаты первого этапа исследования будут служить эталоном при сравнении с ним результатов, полученных в ходе следующих этапов.

Так, в частности, подача воздуха через форсунку на втором этапе приводит к снижению температуры не только в направлении течения газа в газоходе (термопары Т03, Т04 и далее), но и в направлении к горелке (термопара Т02). Это свидетельствует о наличии возвратного течения и схему движения воздуха и продуктов сгорания (ПСГ) можно представить как на рисунке 3. Вследствие перемешивания ПСГ и воздуха температура в всех точках газохода оказывается существенно ниже относительно результатов этапа 1.

При подаче через форсунку воды (этап 3) под достаточно высоким давлением и в относительно большом количестве, часть капель воды испаряется в полете, и пар движется аналогично потоку воздуха, понижая тем самым температуру термопары Т02. Другая часть воды достигает нижней поверхности трубы, и испаряется с этой поверхности по всей длине трубы. При чрезмерно большой подаче часть воды не испаряется вовсе. Неиспарившаяся вода не оказывает значимого влияния на температуру газовой среды в трубе, стекая тонкой струйкой в нижней части трубы.

Для снижения расхода воды на четвертом этапе было понижено давление в баке до 0,2 МПа. Это привело к прекращению возвратного течения в нижней части трубы, что сказалось на температуре термопары Т02. Эта температура вернулась к значению, характерному для этапа 1. Вместе с тем, температура термопары Т03 практически совпадает с результатами предыдущего этапа, что свидетельствует о затратах теплоты на нагрев и испарение подаваемой воды. То есть можно сделать вывод о том, что нет необходимости поддерживать давление в баке выше 0,2 МПа. От давления в баке зависит подача НСВ. Ранее было показано [11], что максимальная подача НСВ в газоход должна примерно соответствовать расходу топлива двигателем. Снижение требуемого давления упрощает проведение эксперимента и сокращает энергетические затраты на утилизацию НСВ.

Выскажем предположение, что количество теплоты, затраченной на нагрев и испарение воды на этапах 3 и 4 примерно одинаково, что приводит к совпадению температуры на участке от термопары Т03 и далее.

Введение НСВ (этап 5) приводит к снижению температуры Т03 относительно результатов этапа 1, но к повышению температуры относительно результатов 3-го и 4-го этапов. По нашему мнению, такое возможно только в том случае, если в районе установки форсунки происходят экзотермические реакции разложения и окисления нефтепродуктов из состава НСВ. Причем, судя по графикам на рисунке 2, эти реакции практически заканчиваются возле точки установки термопары Т04. Учитывая расстояния между термопарами, можно сказать, что при внутреннем диаметре трубы 50 мм, зона реакции составляет приблизительно 0,5 м, или 10 диаметров трубы.

Увеличение подачи НСВ на 6-м этапе привело к выходу температуры на значения, полученные на этапе 1. То есть тепловой эффект реакций разложения нефтепродуктов сопоставим с затратами теплоты на нагрев и испарение воды в составе НСВ.

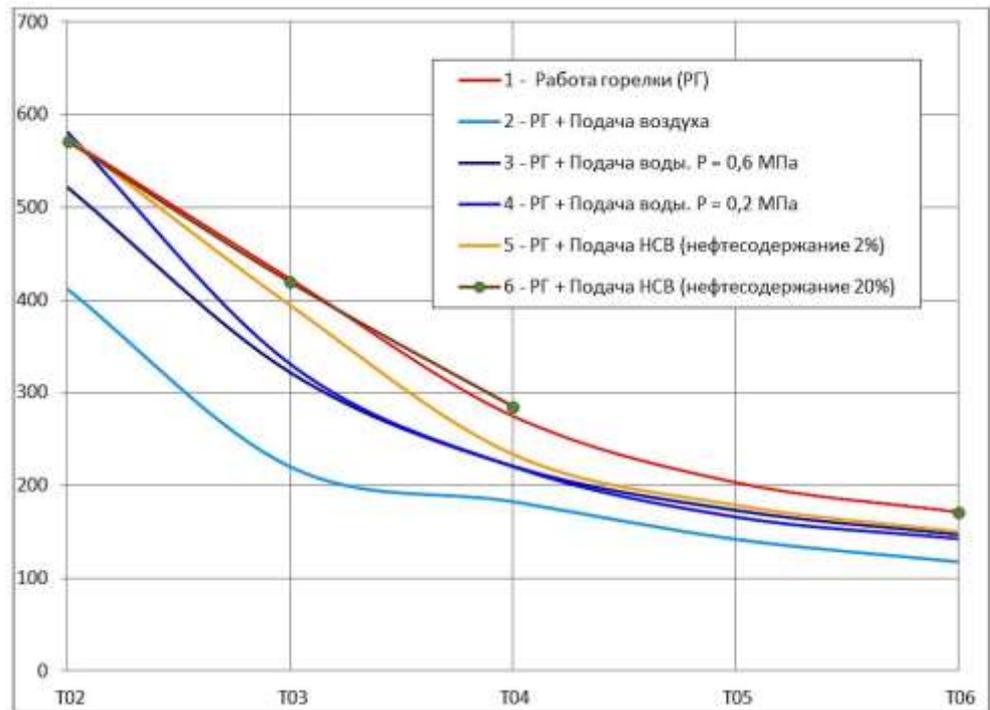


Рис. 2. Изменение температуры по длине газохода (средние по времени значения для каждой термопары)

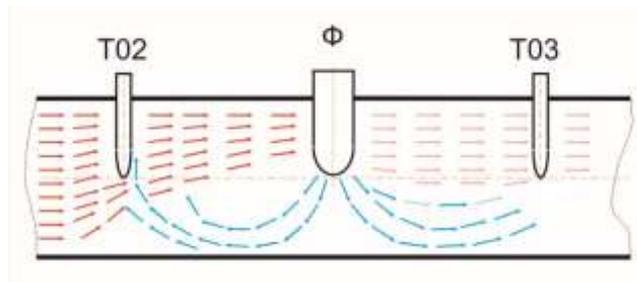


Рис. 3. Схема движения продуктов сгорания и воздуха

Согласно ГОСТ 31967-2012 в Российской Федерации нормируются в составе отработавших газов двигателей выбросы угарного газа CO, оксидов азота NO и NO<sub>2</sub> (в приведении к NO<sub>2</sub>), углеводородов CH (в приведении к CH<sub>1,85</sub>). При рассмотрении процессов огневого обезвреживания следует контролировать выбросы именно этих веществ (рис. 4).

При горении газа образуется небольшое количество монооксида азота NO. Это количество сохраняется и на всех прочих этапах, за исключением шестого, когда подается значительное количество нефтепродукта в составе HCB. Окисление большого количества молекул топлива приводит к появлению диоксида азота NO<sub>2</sub> при снижении до нуля содержания монооксида азота NO.

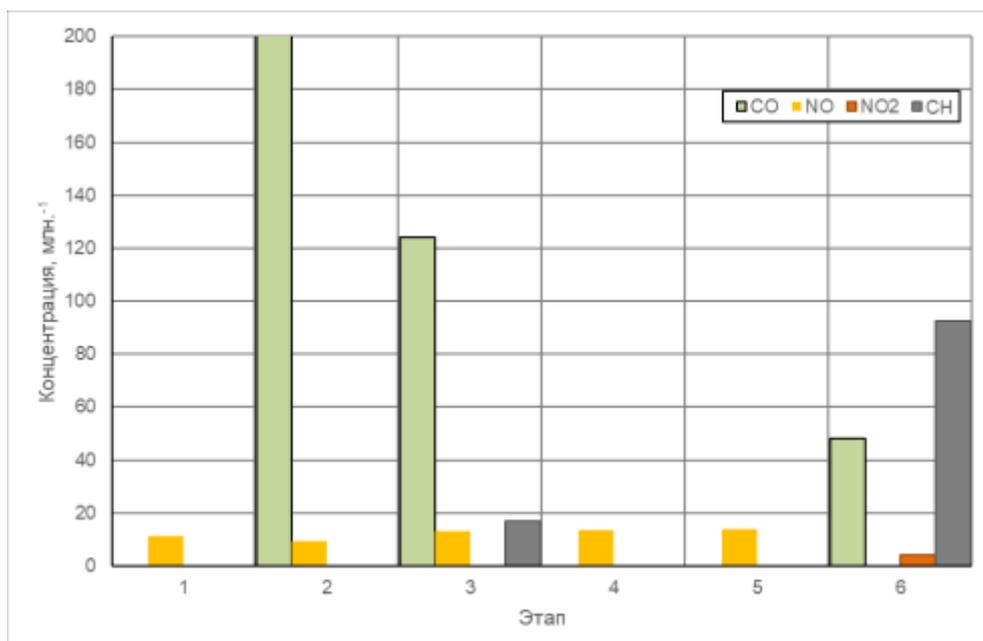


Рис. 4. Концентрация вредных веществ на выходе из газохода (средние значения на этапах)

Поступление воздуха, учитывая встречное движение, запирает газоход и затрудняет горение газа. Это приводит к существенному увеличению эмиссии угарного газа CO. Примерно такая же картина, но в меньшем масштабе наблюдается при избыточной подаче воды (этап 3). Снижение подачи воды (этап 4) возвращает эмиссию всех вредных веществ на уровень 1-го этапа.

Углеводороды CH наблюдались только на 3-м и 6-м этапах. Если при подаче воды (этап 3) их появление можно объяснить запиранием газохода паровой фазой и ухудшением условий горения газа, то концентрация CH порядка 90...100 ppm при подаче НСВ с 20% содержанием нефтепродукта и отсутствие CH при подаче НСВ с 2% концентрацией, говорит о существовании некоторого предела, до которого происходит полное обезвреживание НСВ. Учитывая, что НСВ с высоким содержанием нефтепродукта может быть утилизирована в инсинераторе [14] или использована для получения водотопливной эмульсии [15], то областью применения данного способа огневого обезвреживания являются НСВ с содержанием нефтепродукта существенно меньше 20%. Точные границы области работоспособности установки предстоит установить в последующих экспериментах.

### Выводы

Выполненные экспериментальные исследования термического метода термического обезвреживания нефтесодержащих вод показали, что

1. Температура продуктов сгорания при их движении от горелки к выходу убывает по длине трубы по закономерности, близкой к экспоненциальной.
2. Подача воздуха через форсунку может считаться штатным неисправным режимом работы установки утилизации НСВ. Такой режим диагностируется по резкому снижению температуры термодпар T03 и T04, и особенно термодпары T02.
3. Подача дистиллированной воды в ходе 3-го и 4-го этапов приводит к снижению температуры в рассматриваемых точках газохода вследствие затрат теплоты на ее испарение.

4. Подача НСВ с разным нефтесодержанием в ходе 5-го и 6-го этапов (2 и 20% соответственно) приводит к увеличению температуры в зоне реакции. Такое увеличение температуры можно объяснить исключительно подводом теплоты, и единственным возможным источником теплоты на этом участке газохода являются химические процессы, связанные с окислением молекул дизельного топлива в составе НСВ. Зона реакции обезвреживания НСВ сосредоточена на локальном участке от середины интервала между термопарами Т02 и Т03 до места установки термопары Т04. Это свидетельствует о том, что именно в этой области происходят ключевые химические реакции, приводящие к обезвреживанию нефтепродуктов. Таким образом, подача НСВ не только повышает температуру, но и активизирует химические процессы обезвреживания НСВ в этой зоне.

5. Углеводороды СН в уходящих газах были обнаружены только при подаче чистой воды под высоким давлением и при подаче НСВ с большим содержанием нефтепродуктов. При подаче НСВ с высоким содержанием нефтепродукта (20%) наблюдается высокая концентрация СН, в то время как при 2% концентрации НСВ их отсутствие указывает на существование предела полного обезвреживания НСВ.

6. Давление порядка 2 бар обеспечивает удовлетворительные условия для термической нейтрализации НСВ в газоходе. При этом от перепада давления зависит подача НСВ. Важно отметить, что масса НСВ, подаваемой в устройство обезвреживания, должна быть примерно равна массе сгоревшего топлива. Соблюдение этой пропорции является ключевым фактором для обеспечения эффективности процесса обезвреживания НСВ.

#### Список литературы

1. Зубрилов С.П. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов. Л., «Судостроение», 1989, 256 с.
2. Истомин В.И. Комплексная очистка судовых нефтесодержащих вод. Севастополь, Изд. СевНТУ, 2004, 202 с.
3. Решняк В.И. Основы очистки и утилизации нефтесодержащей воды в судовых энергетических установках: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.08.05. СПб, Изд. СПбГУВК, 1997, 47 с.
4. Истомин, В. И. Разработка и анализ экологической модели судовой энергетической установки и методика расчета оптимальной производительности систем очистки нефтесодержащих вод / В. И. Истомин, В. М. Цалоев, В. В. Хлебникова // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 1-1(47). – С. 72-78. – DOI 10.37220/МИТ.2020.47.1.005. – EDN DPGQSE.
5. Ходжаев, С. С. Современные процессы и установки для очистки судовых нефтесодержащих вод / С. С. Ходжаев, Н. А. Страхова // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 4(93). – С. 91-99. – DOI 10.34046/aumsnomt93/16. – EDN IJNPS.
6. Тихомиров Г.И. Технологии обработки воды на морских судах. Владивосток, Мор. гос. ун-т, 2013. 159 с.
7. Методы утилизации нефтяных шламов / И. Ш. Хуснутдинов, А. Г. Сафиулина, Р. Р. Заббаров, С. И. Хуснутдинов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2015. – Т. 58. – № 10. – С. 3-20. – EDN UQCSGR.
8. Ксенофонтов, Б. С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.
9. Писарев, А. О. Актуальные проблемы очистки судовых нефтесодержащих вод / А. О. Писарев, А. С. Курников // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2009. – № 27. – С. 97-108. – EDN ROBTXF.
10. Чернов В.А., Бевза Д.И., Шураев О.П., Чичурин А.А. Методы очистки нефтесодержащих вод // Вестник Астраханского государственного технического

- университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. №. 3. С. 50-59. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-50-59>.
11. Чичурин А.Г., Шураев О.П. Утилизация нефтесодержащих вод теплотой отработавших газов судовых дизелей. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2016. №47. С. 201-206.
  12. Пат. на полезную модель №151927 Россия, МПК F01N 3/029. Дизельная установка / А.Г. Чичурин, О.П. Шураев, М.Х. Садеков, В.Н. Власов – № 2014 121199/06. Заявл. 26.05.2014; Оpubл. 20.04.2015, Бюл. № 11.
  13. Чернов В.А., Шураев О.П., Чичурин А.Г. (2022). Стенд для исследования термического обезвреживания нефтесодержащих вод. // Научные проблемы водного транспорта, (73), 79-87. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.314>
  14. Калинина, Е. В. Анализ методов обезвреживания нефтесодержащих отходов / Е.В. Калинина, А.Г. Кочкина // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2013. – Т. 1. – С. 85-99. – EDN SNNOSD.
  15. Иванов, В.П. Использование нефтесодержащих отходов в качестве добавки к топливу, сжигаемому в паровом котле / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 16. – С. 178-183. – EDN YKQPLN.

#### References

1. Zubrilov S.P. Okhrana okruzhayushchei sredy pri ehkspluatatsii sudov. L., «Sudostroenie», 1989, 256 p.
2. Istomin V.I. Kompleksnaya ochestka sudovykh neftesoderzhashchikh vod. Sevastopol', Izd. SeVNTU, 2004, 202 p.
3. Reshnyak V.I. Osnovy ochestki i utilizatsii neftesoderzhashchei vody v sudovykh ehnergeticheskikh ustanovkakh: Avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.08.05. SPb, Izd. SPBGUVK, 1997, 47 p.
4. Istomin, V. I. Razrabotka i analiz ehkologicheskoi modeli sudovoi ehnergeticheskoi ustanovki i metodika rascheta optimal'noi proizvoditel'nosti sistem ochestki neftesoderzhashchikh vod / V. I. Istomin, V. M. Tsaloev, V. V. Khlebnikova // Morskije intellektual'nye tekhnologii. – 2020. – № 1-1(47). – pp. 72-78. – DOI 10.37220/MIT.2020.47.1.005. – EDN DPGQSE.
5. Khodzhaev, S. S. Sovremennyye protsessy i ustanovki dlya ochestki sudovykh neftesoderzhashchikh vod / S. S. Khodzhaev, N. A. Strakhova // Ehkspluatatsiya morskogo transporta. – 2019. – № 4(93). – pp. 91-99. – DOI 10.34046/aumsnomt 93/16. – EDN IHJNPS.
6. Tikhomirov G.I. Tekhnologii obrabotki vody na morskikh sudakh. Vladivostok, Mor. gos. un-t, 2013. 159 p.
7. Metody utilizatsii neftyanykh shlamov / I. SH. Khusnutdinov, A. G. Safiulina, R. R. Zabbarov, S. I. Khusnutdinov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2015. – Т. 58. – № 10. – pp. 3-20. – EDN UQCSGR.
8. Ksenofontov, B. S. Flotatsionnaya obrabotka vody, otkhodov i pochvy. M.: Novye tekhnologii, 2010. 272 p.
9. Pisarev, A. O. Aktual'nye problemy ochestki sudovykh neftesoderzhashchikh vod / A. O. Pisarev, A. S. Kurnikov // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. – 2009. – № 27. – pp. 97-108. – EDN ROBTXF.
10. Chernov V.A., Bevza D.I., Shurayev O.P., Chichurin A.A. Metody ochestki neftesoderzhashchikh vod // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2022. №. 3. pp. 50-59. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-50-59>.
11. Chichurin A.G., Shurayev O.P. Utilizatsiya neftesoderzhashchikh vod teplotoi otrabotavshikh gazov sudovykh dizelei. // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. 2016. №47. pp. 201-206.
12. Pat. na poleznuyu model' №151927 Rossiya, MPK F01N 3/029. Dizel'naya ustanovka / A.G. Chichurin, O.P. Shurayev, M.Kh. Sadekov, V.N. Vlasov – № 2014 121199/06. Zayavl. 26.05.2014; Opubl. 20.04.2015, Byul. № 11.

13. Chernov V.A., Shurayev O.P., Chichurin A.G. (2022). Stend dlya issledovaniya termicheskogo obezvrezhivaniya neftesoderzhashchikh vod. // Nauchnye problemy vodnogo transporta, (73), 79-87. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.314>
14. Kalinina, E. V. Analiz metodov obezvrezhivaniya neftesoderzhashchikh otkhodov / E.V. Kalinina, A.G. Kochkina // Ehkologiya i nauchno-tehnicheskii progress. Urbanistika. – 2013. – Т. 1. – pp. 85-99. – EDN SNNOSD.
15. Ivanov, V.P. Ispol'zovanie neftesoderzhashchikh otkhodov v kachestve dobavki k toplivu, szhigaemomu v parovom kotle / V.P. Ivanov, V.A. Dronchenko // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2016. – № 16. – pp. 178-183. – EDN YKQPLN.

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

**Чернов Владимир Александрович**, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: [vov777@bk.ru](mailto:vov777@bk.ru)

**Шураев Олег Петрович**, к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭСЭУ (Эксплуатации судовых энергетических установок) Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: [solwrk@inbox.ru](mailto:solwrk@inbox.ru)

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 12.02.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 12.02.2024; published online 20.06.2024.

## **ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА ТРАНСПОРТЕ**

### **ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT**

УДК 656.624.3

DOI: 10.37890/jwt.vi79.479

#### **Экономико-математическая модель выбора оптимальных схем доставки с участием водного транспорта и использованием объектов региональной транспортной инфраструктуры**

**О.И. Карташова**

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

**Аннотация.** В статье представлены результаты формирования экономико-математической модели оптимизации распределения грузопотоков региона и выбора оптимальных схем доставки грузов через объекты региональной транспортной инфраструктуры. Рассмотрены принятые в учебной и научной литературе подходы для решения обозначенной задачи, а также предложения ученых по их совершенствованию. Сделан вывод о необходимости разработки собственной модели, отвечающей современным условиям функционирования водного транспорта и портовых терминалов в системе региональных, межрегиональных и международных перевозок. Сформулирована экономико-математическая модель, учитывающая возможность организации перевозок грузов от региональных отправителей получателям как напрямую, так и через терминальные комплексы с наличием обратной загрузки. Апробация модели на контрольном примере показала, что при определенном количестве пунктов обслуживаемой транспортной сети, размерах региона и объемах грузопотоков перевозки могут быть эффективно освоены портовыми терминалами, которые в наибольшей степени подходят для работы в данных условиях.

**Ключевые слова:** водный транспорт, транспортная инфраструктура, региональные перевозки грузов, оптимизация грузопотоков, экономико-математическая модель.

#### **Economic and mathematical model of selection of optimal delivery schemes involving water transport and the use of regional transport infrastructure facilities**

**Olga I. Kartashova**

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

**Abstract.** The article presents the results of the formation of an economic and mathematical model for optimizing the distribution of cargo flows in the region and the selection of optimal schemes for the delivery of goods through regional transport infrastructure facilities. The approaches adopted in the educational and scientific literature to solve the indicated problem, as well as the proposals of scientists to improve them, are considered. It has been concluded that it is necessary to develop its own model that meets the modern conditions for the functioning of water transport and port terminals in the system of regional, interregional

and international transportation. An economic and mathematical model has been formulated, taking into account the possibility of organizing the transportation of goods both directly from regional senders to recipients and through terminal complexes with backload. Testing of the model on the control example has shown that with a certain number of points of the served transport network, the size of the region and the volume of cargo flows, transportation can be effectively mastered by port terminals, which are most suitable for working in these conditions.

**Keywords:** water transport, transport infrastructure, regional cargo transportation, optimization of cargo flows, economic and mathematical model.

### **Введение**

При функционировании терминальной сети в системе региональных грузовых перевозок важное значение приобретает эффективность осуществления обусловленных перевозок и обслуживания проходящих через или внутри региона грузопотоков [1, 2]. Также может потребоваться оптимизация работы отдельных звеньев и составных элементов самой сети, а также модернизация конфигурации и перестройка сети с целью привести её в соответствие с новыми условиями работы или в силу изменившейся геополитической, экономической ситуации.

Учитывая, что в рамках системы комбинированных перевозок взаимодействует множество контрагентов, существуют свои нюансы нормативного, регуляторного, технологического и технического характера [3], которые следует учитывать, и которые могут оказывать как положительное, так и негативное влияние на интересы и получаемые выгоды участников, вопрос построения оптимальной транспортно-логистической системы становится актуальным и весьма сложным.

Соответственно, придется учитывать множество отличных, часто противоречащих друг другу интересов и эффектов, возникающих у различных контрагентов. Также необходимо принимать во внимание сокращение (увеличение) экономических результатов, рисков и других показателей при переходе от одного типа транспортно-терминальной сети к другому или в результате перестройки существующей сети, перераспределения в её рамках грузопотоков, переключения грузов с одного вида транспорта на другой и т.д.

Например, при построении терминальной конфигурации с консолидацией мелкопартионных грузопотоков для передачи на водный транспорт, т.е. при переключении части мелкопартионных грузопотоков с сухопутных видов транспорта на речной, необходимо определить положительные и негативные результаты транспортников, возникающих при переходе от старых условий работы к новым.

Также следует отметить, что транспортно-терминальная региональная сеть, являющаяся частью транспортно-логистической системы региона, может обслуживать как местные, внутрирегиональные грузопотоки, так и перевозки между регионами, экспортно-импортные, транзитные перевозки в рамках международных транспортных коридоров.

В связи с этим оптимизации должна подвергаться не только сама терминальная инфраструктура, но и комплекс разнородных и разнонаправленных грузопотоков, проходящих и обслуживаемых в ней. Также необходимо учитывать, что при переходе от системы маятниковых маршрутов, осуществляемых преимущественно автомобильным транспортом, к системе комбинированных перевозок различными видами транспорта с участием транспортных узлов в качестве транспортно-логистических центров и центров распределения, консолидации и разукрупнения грузопотоков (партий грузов), реформирования грузовых единиц, сложность оптимизационной задачи кратно возрастает, но и одновременно с этим позволяет получить больший экономический эффект.

При этом можно, по мнению автора, обосновать более активное участие в перевозках внутреннего водного транспорта и портовых терминалов, а также

необходимость перехода для этого к логистической системе взаимодействия воднотранспортных терминалов с грузовладельцами и другими контрагентами.

Для решения указанных задач целесообразно формулирование соответствующей оптимизационной методики. Для имеющейся, уже действующей транспортно-логистической системы возможным представляется создание имитационной модели с последующим проведением моделирования и решения оптимизационной задачи. Однако для случая проектирования или решения вопроса о необходимости модернизации транспортной системы региона и её инфраструктуры наиболее подходящей формой будет построение экономико-математической модели.

### **Методы и материалы**

Рассмотрим методические подходы, используемые для оптимизации перевозок и распределения грузопотоков.

Большинство ученых и исследователей оптимизацию транспортного обслуживания грузопотоков решают на основании формирования плана перевозок (распределения грузопотоков между пунктами отправления и получения), что, по сути, является типичной транспортной задачей. При этом распределение относится к одному или группе однонаправленных грузопотоков, а основными критериями оптимизации являются временные и (или) стоимостные показатели [4, 5].

Следует отметить, что данный подход (один грузопоток, система отправителей и получателей, целевая функция – общие минимальные транспортные затраты или время транспортировки) принят в учебной и методической литературе по логистике и транспортному экспедированию и применяется для решения оптимизационных задач в соответствующих разделах данных и схожих дисциплин.

В ряде статей и исследований авторами рассматриваются вопросы выбора оптимальных способов и схем доставки, что отчасти можно отнести к решению задачи оптимизации распределения и освоения грузопотоков. Однако здесь используются, как правило, варианты расчеты и сравнение отдельных, обусловленных спецификой груза или направлением перевозок, транспортно-логистических схем или маршрутов доставки. В качестве основных критериев для решения оптимизационной задачи используются стоимость и время транспортировки [6–10].

Интерес представляет идея, высказанная авторами [11], заключающаяся в использовании балансового метода для планирования деятельности внутреннего водного транспорта, в том числе экспортно-импортных перевозок. Однако развития данное предложение, как и его методического обеспечения, не получило.

В работе [12] предлагается модель распределения грузопотоков с прямыми поставками. При этом рассматриваются два варианта организации поставок – напрямую от отправителя получателю, а также через пункт перевалки (в модель дополнительно введены такие составляющие, как доставка зерна от отправителя до перевалочного пункта, а затем из перевалочного пункта получателю). Однако, как и в других исследованиях, авторы решают две транспортные задачи, соединенные двумя блоками в единую функцию формирования оптимального плана маятниковых перевозок – без учета возможной корреспонденции грузопотоков, наличия обратной загрузки или попутных грузов.

Проведенный обзор исследований показывает, что в сформулированной выше постановке (оптимизации региональных, межрегиональных и международных разнонаправленных грузопотоков с возможностью минимизации порожних пробегов через обеспечение обратной загрузки и организацию терминальных перевозок) готовых методических решений, а также сформулированных моделей нет. Имеются отдельные подходы и идеи их реализации, которые можно в использовать и развивать, что учтено при разработке авторской модели, представленной далее.

### Результаты

В основу формулируемой экономико-математической модели положена типовая транспортная задача и её решение. Для региональной транспортной системы с определенной терминальной сетью и имеющихся в ней грузопотоков предлагаемая модель будет иметь вид:

$$\sum_f \sum_i \sum_j \sum_n Q_{fijn} T_{fijn} + \sum_f \sum_i \sum_j \sum_t Q_{fijt} T_{fijt} + \sum_f \sum_j \sum_t \sum_n Q_{fjtn} T_{fjtn} \rightarrow \min ,$$

где  $Q_{fijn}$  – количество  $f$ -го груза, перевозимого от  $i$ -го грузоотправителя  $j$ -ым видом транспорта  $n$ -му грузополучателю (внутрирегиональная унимодальная перевозка), т.;

$T_{fijn}$  – стоимость доставки  $f$ -го груза от  $i$ -го грузоотправителя  $j$ -ым видом транспорта  $n$ -му грузополучателю, руб./т;

$Q_{fijt}$  – количество  $f$ -го груза, завозимого от  $i$ -го грузоотправителя  $j$ -ым видом транспорта на  $t$ -ый терминал (внутрирегиональная бимодальная перевозка, межрегиональная исходящая или экспортная перевозка), т.;

$T_{fijt}$  – стоимость доставки  $f$ -го груза от  $i$ -го грузоотправителя  $j$ -ым видом транспорта на  $t$ -ый терминал, руб./т;

$Q_{fjtn}$  – количество  $f$ -го груза, вывозимого  $j$ -ым видом транспорта с  $t$ -го терминала  $n$ -му грузополучателю (внутрирегиональная бимодальная перевозка, межрегиональная входящая или импортная перевозка), т.;

$T_{fjtn}$  – стоимость доставки  $f$ -го груза от  $j$ -ым видом транспорта с  $t$ -го терминала  $n$ -му грузополучателю, руб./т.

Искомыми переменными являются  $Q_{fijn}$ ,  $Q_{fijt}$ ,  $Q_{fjtn}$ . Функция цели – минимизация стоимости доставки грузов в региональной транспортной системе путем использования того или иного вида транспорта, а также прямых (унимодальных) или терминальных перевозок (бимодальных).

Первая часть формулы представляет собой унимодальную перевозку (одним видом транспорта) груза между находящимися на территории региона отправителем и получателем. Вторая и третья части формулы представляют собой один из этапов комбинированной терминальной перевозки, когда груз завозится на региональный терминал для последующей перевозки магистральным транспортом в другой регион или в международном сообщении, или прибывает магистральным видом транспорта на региональный терминал для последующей доставки грузополучателю в регионе.

Составляющие  $Q_{fijt}T_{fijt}$  и  $Q_{fjtn}T_{fjtn}$  могут быть как взаимодополняющими частями одной бимодальной внутрирегиональной перевозки через терминал, так и начальным ( $Q_{fijt}$ ) или заключительным ( $Q_{fjtn}$ ) этапом межрегиональной или экспортно-импортной перевозки.

При этом должны выполняться следующие ограничения:

1. Количество перевезенного груза должно соответствовать объемам внутрирегиональных, а также внешних (межрегиональных или международных) перевозок:

$$\sum_i \sum_j \sum_n 2Q_{fijn} + \sum_i \sum_j \sum_t Q_{fijt} + \sum_j \sum_t \sum_n Q_{fjtn} = 2Q_{РЕГf} + Q_{ОТПРf} + Q_{ПОЛУЧf},$$

где  $Q_{РЕГf}$  – внутрирегиональный  $f$ -й грузопоток, т.;

$Q_{ОТПРf}$ ,  $Q_{ПОЛУЧf}$  – размер  $f$ -го грузопотока, планируемого соответственно к отправке или получению в межрегиональном или внешнеторговом сообщении, т.

2. Количество завезенного на терминалы (магистрального транспорта) и вывезенного с них груза должно соответствовать объемам внешних (межрегиональных или международных) перевозок:

$$\sum_i \sum_j \sum_t Q_{fijt} \geq Q_{ОТПРf}, \sum_j \sum_t \sum_n Q_{fjtn} \geq Q_{ПОЛУЧf};$$

3. Неотрицательность переменных:

$$\begin{aligned}
 Q_{fijn} &\geq 0 \text{ для } f \in F, i \in I, j \in J, n \in N; \\
 Q_{fijt} &\geq 0 \text{ для } f \in F, i \in I, j \in J, t \in T; \\
 Q_{fjtn} &\geq 0 \text{ для } f \in F, j \in J, t \in T, n \in N.
 \end{aligned}$$

В условиях множественности и однородности отдельных грузопотоков, проходящих по территории региона, а также входящих и исходящих из него, транспортируемых не только напрямую, но и посредством терминальной доставки, появляется возможность их корреспонденции с целью повышения эффективности использования транспортных средств и устранения порожних пробегов. При этом стоимость перевозки грузов может заметно снизиться (особенно тех, что идут в обратном направлении, обеспечивая транспорту загрузку и сокращая порожнюю часть перевозки).

Для учета указанного фактора изменим целевую функцию модели:

$$\begin{aligned}
 &\sum_f \sum_i \sum_j \sum_n Q_{fijn} T_{fijn} + \sum_m \sum_f \sum_r \sum_j \sum_s Q_{mrjs} T_{mrjs} z_{mfrjs} + \\
 &+ \sum_f \sum_i \sum_j \sum_t Q_{fijt} T_{fijt} + \sum_m \sum_f \sum_j \sum_p \sum_s Q_{mjps} T_{mjps} z_{mfjps} + \\
 &+ \sum_f \sum_j \sum_t \sum_n Q_{fjtn} T_{fjtn} + \sum_m \sum_f \sum_r \sum_j \sum_p Q_{mrjp} T_{mrjp} z_{mfrjp} \rightarrow \min, \\
 &\quad m = f, r = n \text{ для } m \in M, f \in F, r \in R, i \in I; \\
 &\quad s = i, p = t \text{ для } s \in S, n \in N, p \in P, t \in T,
 \end{aligned}$$

где

- $Q_{mrjs}$  – количество  $m$ -го груза, перевозимого от  $r$ -го грузоотправителя  $j$ -ым видом транспорта  $s$ -му грузополучателю (внутрирегиональная унимодальная перевозка) в обратном для  $Q_{fijn}$  направлении (поэтому добавлены условия равенства элементов массивов  $r = i, s = n, p = t$ ), т.;
- $T_{mrjs}$  – стоимость доставки  $m$ -го груза от  $r$ -го грузоотправителя  $j$ -ым видом транспорта  $s$ -му грузополучателю в обратном направлении (меньшая по сравнению с  $T_{fijn}$ , так как является средством нивелирования порожнего пробега и экономии средства по основной перевозке), руб./т;
- $z_{mfrjs}$  – признак возможности корреспонденции  $f$ -го груза  $i$ -го грузоотправителя с  $m$ -ым грузом  $n$ -го грузополучателя, следующим  $j$ -ым транспортом в противоположном направлении,  $z_{mfrjs} = 0, 1$  (0 – перевозка невозможна, 1 – перевозка возможна);
- $Q_{mrjp}$  – количество  $m$ -го груза, завозимого от  $r$ -го грузоотправителя  $j$ -ым видом транспорта на  $p$ -ый терминал (внутрирегиональная бимодальная перевозка, межрегиональная исходящая или экспортная перевозка) соответственно в обратном  $Q_{fijt}$  направлении, т.;
- $T_{mrjp}$  – стоимость доставки  $m$ -го груза от  $r$ -го грузоотправителя  $j$ -ым видом транспорта на  $p$ -ый терминал в обратном направлении, руб./т;
- $z_{mfjps}$  – признак возможности корреспонденции  $f$ -го груза с  $m$ -ым грузом, следующим с  $p$ -го терминала  $j$ -ым транспортом в адрес  $s$ -го грузополучателя,  $z_{mfjps} = 0, 1$  (0 – перевозка невозможна, 1 – перевозка возможна);
- $Q_{mjps}$  – количество  $m$ -го груза, вывозимого  $j$ -ым видом транспорта с  $p$ -го терминала  $s$ -му грузополучателю (внутрирегиональная бимодальная перевозка, межрегиональная входящая или импортная перевозка) в обратном  $Q_{fjtn}$  направлении, т.;

$T_{mjps}$  – стоимость доставки  $f$ -го груза от  $j$ -ым видом транспорта с  $t$ -го терминала  $n$ -му грузополучателю соответственно в обратном направлении, руб./т;  
 $Z_{mfrjp}$  – признак возможности корреспонденции  $f$ -го груза  $r$ -го грузоотправителя с  $m$ -ым грузом, следующим на  $p$ -ый терминал  $j$ -ым транспортом,  $Z_{mfrjp} = 0, 1$  (0 – перевозка невозможна, 1 – перевозка возможна).

При этом должны выполняться дополнительные ограничения по возможности обратной загрузки сходным по характеристикам и другим параметрам грузом, а также балансу загрузки подвижного состава (непревышению обратной загрузки над загрузкой по основной, прямой перевозке) в обоих направлениях. Также следует учитывать, что в  $Q_{fijn}$  и  $Q_{mrjs}$  пункты маршрута перевозки должны совпадать (начальный  $i$  и конечный  $n$  для грузоотправителя с конечным  $s$  и начальным  $r$  для грузополучателя, который для груза  $m$  сам является грузоотправителем):

$$\sum_f Q_{fijn} \geq \sum_m Q_{mrjs} \text{ для } r = i, s = n; \sum_f Q_{fijt} \geq \sum_m Q_{mjps} \text{ для } p = t, s = n;$$

$$\sum_f Q_{fjtn} \geq \sum_m Q_{mrjp} \text{ для } r = i, p = t;$$

Ограничения модели в данной формулировке примут вид:

$$\sum_i \sum_j \sum_n 2Q_{fijn} + \sum_r \sum_j \sum_s 2Q_{mrjs} + \sum_i \sum_j \sum_t Q_{fijt} + \sum_j \sum_p \sum_s Q_{mjps} +$$

$$+ \sum_j \sum_t \sum_n Q_{fjtn} + \sum_r \sum_j \sum_p Q_{mrjp} = 2Q_{РЕГf} + Q_{ОТПf} + Q_{Получf} \text{ для } m = f.$$

$$\sum_i \sum_j \sum_t Q_{fijt} + \sum_j \sum_p \sum_s Q_{mjps} \geq Q_{ОТПf} \text{ для } m = f,$$

$$\sum_j \sum_t \sum_n Q_{fjtn} + \sum_r \sum_j \sum_p Q_{mrjp} \geq Q_{Получf} \text{ для } m = f.$$

При необходимости в модель дополнительно могут быть введены ограничения: по наличию подвижного состава в количестве, достаточном для выполнения всех обусловленных перевозок; по полному использованию грузоподъемности подвижного состава; по пропускной способности транспортных узлов и терминалов. Также, если динамика поступления и прохождения грузопотоков отличаются по времени, возможен расчет и оптимизация распределения грузопотоков по временным интервалам (месяцам, декадам и т.п.). Это, несомненно, значительно усложнит реализацию модели, однако позволит более точно обосновать и производить оптимизационные мероприятия.

### Обсуждение

В рамках апробации сформулированной экономико-математической модели был рассмотрен контрольный пример с региональной транспортной системой, включающей два сходных внутренних грузопотока (А – 193 тыс. т и Б – 187 тыс. т). Для первого грузопотока имеется пять региональных производителей, для второго – одиннадцать. Число региональных потребителей соответственно одиннадцать и двенадцать.

В модель были введены стоимостные данные по перевозкам между пунктами (тарифы), а также информация о производственных мощностях производителей и заявках потребителей (использовалась сбалансированная модель, при которой производственные мощности и потребности в сумме равны). Результаты моделирования и оптимизации при различных вариантах сведены в таблицу 1.

На первом этапе была произведена оптимизация системы грузопотоков без учета возможности организации обратных груженых пробегов (транспорт работал по маятниковому принципу). Суммарные транспортные затраты грузовладельцев при

этом составили 555,1 млн. руб. Для сравнения – затраты при неоптимальном варианте (существующее распределение грузопотоков, принятое в качестве базового) распределения грузопотоков при действующей транспортной сети составляют 821,85 млн. руб. Соответственно, полученный в результате оптимизации потенциальный эффект – 266,75 млн. руб.

*Таблица 1*

**Результаты моделирования и оптимизации региональных грузопотоков в различных условиях**

Описание изменений	Транспортные затраты грузовладельцев, млн. руб.			Эффект, млн. руб.
	грузопоток А	грузопоток Б	всего	
Базовая модель (существующий вариант)	376,00	445,85	821,85	–
Оптимизация перевозок в прямом направлении (с порожними пробегами)	252,25	302,85	555,10	266,75
Оптимизация перевозок с учетом возможности обратной загрузки	241,12	274,00	518,12	303,73
Оптимизация перевозок с участием терминала (маятниковые перевозки на терминал и с него)	210,50	266,00	476,50	345,35
Оптимизация перевозок с участием терминала (с возможностью обратной загрузки при перевозке с терминала)	202,85	245,05	447,90	373,95
Оптимизация перевозок с учетом возможности обратной загрузки как при прямой перевозке, так и через терминал	203,30	236,55	439,85	382,00

Далее в модели была реализована возможность обратной загрузки подвижного состава и произведены оптимизационные мероприятия для новых условий. Суммарные транспортные затраты грузовладельцев составили 518,12 млн. руб. (эффект оптимизации – 303,73 млн. руб.).

На следующем этапе в модель был введен терминал, который взаимодействует со всеми контрагентами, осуществляя перевозки по маятниковому принципу. В этом случае транспортные затраты грузовладельцев составили 476,5 млн. руб., эффект оптимизации – 345,35 млн. руб.

Затем было предусмотрено, что перевозки с обратной загрузкой могут осуществляться только при транспортировании через терминал. Результаты: транспортные затраты грузовладельцев – 447,9 млн. руб., эффект – 373,95 млн. руб.

В заключительной части тестирования и усложнения модели обратная загрузка была разрешена как при перевозках через терминал, так и вне его (при транспортировке груза напрямую от производителя потребителю). При этом транспортные затраты грузовладельцев сократились до 439,85 млн. руб., а достигнутый эффект составил 382 млн. руб.

Таким образом, мы видим, что предложенная модель оптимизации региональных грузопотоков работает, причем, для различных условий функционирования транспортной сети, наличия (отсутствия) в ней крупных перегрузочных комплексов.

### **Заключение**

Результаты моделирования на контрольном примере при апробации предложенной автором экономико-математической модели оптимизации региональных грузопотоков показывают, что наибольший эффект от перераспределения грузопотоков региона может быть достигнут при организации перевозок с использованием терминала. Причем, это должен быть крупный транспортно-логистический комплекс, способный обслуживать значительные грузопотоки, обеспечивать их преобразование и грузопереработку (без чего невозможна организация обратной загрузки), нацеленный на работу с укрупненными грузовыми единицами. По мнению автора, в наибольшей степени указанным характеристикам соответствует портовый терминал, являющийся транспортным узлом в системе мультимодальных перевозок.

В дальнейших исследованиях автором планируется выявить зависимости получаемых оптимизационных эффектов от количества пунктов региональной транспортной сети, объемов перевозимых грузов, дальности перевозок. Это позволит определить наиболее эффективные и целесообразные границы использования (участия) воднотранспортных терминалов (портов) в системе региональных, межрегиональных и международных перевозок.

### **Список литературы**

1. Карташова О. И. Современное состояние и направления развития научно-методического обеспечения региональных грузовых перевозок с участием водного транспорта // Научные проблемы водного транспорта. №73. 2022. С. 185-195. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.293>.
2. Карташова О.И. Развитие региональной транспортной инфраструктуры во взаимодействии с международными транспортными коридорами // Актуальные решения проблем водного транспорта. Сборник материалов I Международной научно-практической конференции. Астрахань: ИП Сорокин Р.В., 2022. С. 198-203.
3. Коршунов Д.А., Рагулин И.А. Критерии оценки и выбора схем и способов доставки грузов в транспортно-логистических системах // Современный ученый. №2. 2017. С. 75-78.
4. Богачев В.А., Кравец А.С., Богачев Т.В. Математический эксперимент в логистических исследованиях мультимодальных грузоперевозок с временными и стоимостными показателями // Инновационные транспортные системы и технологии. Т. 9. № 1. 2023. С. 108–121. DOI: 10.17816/transsyst202391108-121.
5. Синельщиков Е.В., Турпищева М.С. Модель оптимизации распределения грузопотоков между объектами Астраханского транспортного узла с точки зрения минимизации интегральных издержек транспортного процесса // Вестник АГТУ. №2(3). 2006. С. 73–76.
6. Бруев А.П. Определение оптимальных схем доставки контейнеров в районы Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) // Вестник ВГАВТ. Вып. 6. 2003. С. 22–28.
7. Гришкова Д.Ю., Тесленко И.О. Логистические схемы доставки скоропортящихся грузов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 2 (74). 2022. С. 121–129. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.2(74).121-129.
8. Никифорова Г.И., Сергеева Т.Г. Выбор логистической схемы доставки груза // Бюллетень результатов научных исследований. Вып. 4. 2021.С. 65–74. DOI: 10.20295/2223-9987-2021-4-65-74
9. Телегин А.И., Милославская С.В., Коршунов Д.А., Наседкина Е.С. Концепция и алгоритм обоснования транспортно-логистических схем доставки экспортно-импортных сухогрузов с участием речного транспорта России // Научные проблемы

- водного транспорта. №68(3). 2021. С. 163–171. DOI:  
<https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.190>.
10. Шабров В.Н. Типовые логистические схемы доставки партий автомобильной техники «от двери до двери» с участием речного транспорта // Вестник ВГАВТ. Вып. 43. 2015. С. 274–280.
  11. Дрейбанд Д.В., Коршунов Д.А. Балансовый метод как эффективный инструмент стратегического планирования деятельности речного транспорта // Научные проблемы водного транспорта. №77(4). 2023. С. 119–129. DOI:  
<https://doi.org/10.37890/jwt.vi77.423>.
  12. Польшакова Н.В., Александрова Е.В. Разработка научно-методических подходов повышения эффективности автотранспортных перевозок зерна в регионе // Вестник аграрной науки. №3(96). 2022. С. 124–133. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.3.124.

#### References

1. Kartashova O. I. Sovremennoe sostoyaniye i napravleniya razvitiya nauchno-metodicheskogo obespecheniya regionalnykh gruzovykh perevozok s uchastiem vodnogo transporta [The current state and directions for the development of scientific and methodological support for regional freight transportation with the participation of water transport], *Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport]*, No.73, 2022, pp. 185-195. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.293>.
2. Kartashova O.I. Razvitie regionalnoi transportnoi infrastruktury vo vzaimodeistvii s mezhdunarodnymi transportnymi koridorami [Development of regional transport infrastructure in cooperation with international transport corridors], *Aktualnye resheniya problem vodnogo transporta. Sbornik materialov I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [ctual solutions to water transport problems. Collection of materials of the I International Scientific and Practical Conference]*, Astrakhan, 2022, pp. 198-203.
3. Korshunov D.A., Ragulin I.A. Kriterii ocenki i vybora skhem i sposobov dostavki gruzov v transportno-logisticheskikh sistemah [Criteria for evaluation and selection of cargo delivery schemes and methods in transport and logistics systems], *Sovremennyy uchenyy [Modern scientist]*, 2017, no.2, pp. 75-78.
4. Bogachev V.A., Kravets A.S., Bogachev T.V. Matematicheskii ehksperiment v logisticheskikh issledovaniyakh multimodalnykh gruzoperevozok s vremennymi i stoimostnymi pokazatelyami [Mathematical experiment in logistics research of multimodal cargo transportation with time and cost indicators], *Innovatsionnye transportnye sistemy i tekhnologii [Innovative transport systems and technologies]*, Vol. 9, No. 1, 2023, pp. 108–121. DOI: 10.17816/transsyst202391108-121.
5. Sinelshchikov E.V., Turpishcheva M.S. Model optimizatsii raspredeleniya gruzopotokov mezhdru obektami Astrakhanskogo transportnogo uzla s tochki zreniya minimizatsii integralnykh izderzhkek transportnogo protsessa [Model of optimization of the distribution of cargo flows between the facilities of the Astrakhan transport hub in terms of minimizing the integral costs of the transport process], *Vestnik AGTU [Bulletin of ASTU]*, No. 2(3), 2006, pp. 73–76.
6. Bruev A.P. Opredelenie optimalnykh skhem dostavki konteynerov v raiony Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga (KHAMAO) [Determination of optimal schemes for delivering containers to the regions of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug], *Vestnik VGAVT [VGAVT Bulletin]*, Vol. 6, 2003, pp. 22–28.
7. Grishkova D.YU., Teslenko I.O. Logisticheskie skhemy dostavki skoroportyashchikhsya gruzov [Logistic schemes for delivery of perishable goods], *Sovremennyye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, No. 2 (74), 2022, pp. 121–129. DOI 10.26731/1813-9108.2022.2(74).121-129.
8. Nikiforova G.I., Sergeeva T.G. Vybora logisticheskoi skhemy dostavki gruzov [Choice of logistics scheme for cargo delivery], *Byulleten rezultatov nauchnykh issledovaniy [Bulletin of scientific research results]*, Vol. 4, 2021, pp. 65–74. DOI: 10.20295/2223-9987-2021-4-65-74.
9. Telegin A.I., Miloslavskaya S.V., Korshunov D.A., Nasedkina E.S. Konceptiya i algoritm obosnovaniya transportno-logisticheskikh skhem dostavki eksportno-importnykh suhogruzov s uchastiem rechnogo transporta Rossii [Concept and algorithm for justification of transport and logistics schemes for delivery of export-import dry cargo ships involving Russian river

- transport], *Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport]*, no.68(3), 2021, pp. 163–171. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.190>.
10. Shabrov V.N. Tipovye logisticheskie skhemy dostavki partii avtomobil'noi tekhniki «ot dveri do dveri» s uchastiem rechnogo transporta [Typical logistics schemes for the delivery of car equipment batches "from door to door" with the participation of river transport], *Vestnik VGAVT [VGAVT Bulletin]*, Vol. 43, 2015, pp. 274–280.
  11. Dreiband D.V., Korshunov D.A. Balansovyi metod kak ehffektivnyi instrument strategicheskogo planirovaniya deyatel'nosti rechnogo transporta [Balance method as an effective tool for strategic planning of river transport activities], *Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport]*, No. 77(4), 2023, pp. 119–129. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi77.423>.
  12. Polshakova N.V., Aleksandrova E.V. Razrabotka nauchno-metodicheskikh podkhodov povysheniya ehffektivnosti avtotransportnykh perevozok zerna v regione [Development of scientific and methodological approaches to improving the efficiency of grain transport in the region], *Vestnik agrarnoi nauki [Bulletin of Agrarian Science]*, No. 3(96), 2022, pp. 124–133. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.3.124.

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

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

**Olga I. Kartashova**, Dr. Sci. (Econ), assistant professor, director, The Caspian Institute of Sea and River Transport named after Gen.-Adm. F. M. Apraksin is a branch of the Volga State University of Water Transport, Nikolskaya st., 6, Astrakhan city, 414000, Russian Federation, e-mail: [lesy\\_g@mail.ru](mailto:lesy_g@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 27.02.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 27.02.2024; published online 20.06.2024.

УДК 338

DOI: 10.37890/jwt.v79.489

## **Внутренний контроль как средство обеспечения экономической безопасности предприятий водного транспорта**

**И.Ю. Кудрявцева**

*ORCID: 0000-0002-8178-4032*

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

**Аннотация.** Проблемы экономической безопасности предприятий водного транспорта приобретают все большую актуальность в условиях кризиса, спровоцированного охватившей весь мир пандемией COVID-19 и проведением антироссийской санкционной политики. Преодоление новых не известных ранее ограничений, вызовов и угроз, требуют кардинально новых подходов к обеспечению экономической безопасности. В проведенном исследовании выявлены основные проблемы и перспективы развития водного транспорта. Определены функциональные направления экономической безопасности и установлена их взаимосвязь с видами и направлениями внутреннего контроля. Представлена классификация источников угроз экономической безопасности по сферам возникновения. Проведена сравнительная характеристика внутреннего контроля и экономической безопасности, что свидетельствует о наличии взаимосвязи их целей и функций, а также тождественности их субъектов и объектов. Проведенный анализ дает основание считать внутренний контроль основным средством обеспечения экономической безопасности. Результаты проведенного исследования могут быть положены в основу дальнейших разработок в области интеграции систем внутреннего контроля и экономической безопасности.

**Ключевые слова:** экономическая безопасность, угрозы экономической безопасности, внутренний контроль, виды контроля, водный транспорт, проблемы водного транспорта, постковидные ограничения, санкции.

## **Internal control as a means of ensuring the economic security of water transport enterprises**

**Irina Y. Kudryavtseva**

*ORCID: 0000-0002-8178-4032*

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

**Abstract.** The problems of economic security of water transport enterprises are becoming increasingly important in the context of the crisis provoked by the COVID-19 pandemic that has swept the whole world and the anti-Russian sanctions policy. Overcoming new previously unknown restrictions, challenges and threats require radically new approaches to ensuring economic security. The study identified the main problems and prospects for the development of water transport. The functional directions of economic security are determined and their relationship with the types and directions of internal control is established. A classification of sources of threats to economic security by spheres of occurrence is presented. A comparative characteristic of internal control and economic security has been carried out, which indicates the presence of a relationship between their goals and functions, as well as the identity of their subjects and objects. The analysis carried out gives grounds to consider internal control as the main means of ensuring economic security. The results of the study can be used as the basis for further developments in the field of integration of internal control systems and economic security.

**Keywords:** economic security, threats to economic security, internal control, types of control, water transport, water transport problems, post-COVID restrictions, sanctions.

### **Введение**

В настоящий момент в нашей стране особо остро стоят вопросы о защите национальных интересов от внешних и внутренних угроз, и особую значимость приобретают вопросы обеспечения национальной безопасности. «Базовым документом стратегического планирования, определяющим интересы и национальные стратегические приоритеты РФ, цели и задачи государственной политики в области обеспечения национальной безопасности и устойчивого развития РФ на долгосрочную перспективу»<sup>1</sup> является «Стратегия национальной безопасности Российской Федерации», утвержденная Указом Президента РФ 02.07.2021г. № 400.

Неотъемлемой частью системы национальной безопасности является экономическая безопасность - «состояние защищенности национальной экономики от внешних и внутренних угроз, при котором обеспечивается экономический суверенитет страны, единство ее экономического пространства, условия для реализации стратегических национальных приоритетов Российской Федерации.»<sup>2</sup>

Устойчивое развитие экономики страны невозможно без обеспечения экономической безопасности каждого конкретного экономического субъекта, так как их функционирование затрагивает государственные и общественные интересы. В связи с этим анализ состояния экономической безопасности предприятия приобретает особую актуальность.

Под экономической безопасностью предприятия будем понимать «определенное финансово-экономическое состояние организации, при котором в конкурентных условиях, а также при отсутствии обстоятельств неопределенной силы (то есть чрезвычайных обстоятельств) обеспечивается устойчивый экономический рост и устойчивое развитие, и, как следствие обеспечивается защита экономических интересов, защищенность от угроз и влияния негативных факторов» [1, с.257]

Основу экономической безопасности предприятий водного транспорта составляет механизм ее обеспечения, включающий в себя систему нормативно-правовых документов, инструментов и средств, способствующих достижению ее целей и решению поставленных задач.

Обеспечение экономической безопасности носит не хаотичный характер, а структурированный по определенным функциональным направлениям. Анализ трудов отечественных и зарубежных авторов показал, что в качестве основных функциональных составляющих экономической безопасности выделяют правовое, финансовое, кадровое, производственное, инвестиционное, технико-технологическое, информационное и экологическое направления. [2]

Состояние экономической безопасности предприятий водного транспорта характеризуется наличием у них четкой организационной архитектуры предприятия, способствующей достижению стратегических целей, наличие конкурентного преимущества в рамках материально-технического, финансового, инновационного и информационного обеспечения.

### **Методы**

Основу изучения взаимосвязи внутреннего контроля и экономической безопасности составили общенаучные методы (анализ, синтез), статистические

<sup>1</sup> «Стратегия национальной безопасности» (утв. Указом Президента РФ от 02.07.2021 № 400) -URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046> (дата обращения 03.08.2023)

<sup>2</sup> «Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» (утв. Указом Президента РФ от 13.05.2017 г. № 208) - URL: <https://base.garant.ru/71672608/#friends> (дата обращения 02.08.2023)

методы сбора и обработки данных (сводка, группировка), а также методы наглядного представления данных. Информационную базу исследования составили нормативно-правовые акты в области внутреннего контроля, национальной и экономической безопасности; публикации отечественных и зарубежных авторов; отраслевые издания и данные официальной статистики.

### Результаты

В целях предотвращения и снижения негативных последствий внутренних и внешних угроз экономической безопасности, первоочередной задачей становится изучение источников их возникновения.

В научной литературе рассматривается множество классификаций угроз экономической безопасности: по сферам возникновения, по возможности прогнозирования, по вероятности наступления, по вероятности предотвращения, по цели воздействия, по объему ущерба, по времени возникновения и др.

На наш взгляд особого внимания заслуживает рассмотрение источников угроз по сферам возникновения, так как они оказывают влияние на экономическую безопасность всех экономических субъектов. (рис.1)



Рис. 1. Классификация источников угроз экономической безопасности по сферам возникновения<sup>3</sup>

Следует отметить что внешние источники носят общий характер и характерны для большинства экономических субъектов, в то время как внутренние источники более индивидуальны, и включают отдельные элементы характерные только для данного предприятия.

<sup>3</sup> Составлено автором на материалах [9,10]

За последнее десятилетие функционирование предприятий водного транспорта связано с множеством факторов: непостоянство внешней экономической обстановки, повышенная конкуренция со стороны других видов транспорта (железнодорожного, автомобильного), проблемы кадрового обеспечения, низкая инвестиционная привлекательность и др. Следует отметить, наибольшее влияние за исследуемый период на транспортную сферу оказали пандемия COVID-19 (период 2020-2022 гг.) и начавшаяся 24 февраля 2022 года СВО на Украине, которые способствовали возникновению новых угроз и ограничений, повлиявших в большей или меньшей степени на экономическую безопасность предприятий.

Меры предотвращающие глобальное распространение коронавирусной инфекции привели к частичному ограничению или полной остановке работы судостроительных, судоремонтных предприятий, а также судоходных компаний и портов, в результате чего была нарушена сбалансированная система грузоперевозок (произошло увеличение стоимости за транспортировку грузов из-за нехватки контейнеров для перевозок, снижение скорости разгрузки и погрузки судов из-за снижения численности рабочей силы в портах и др.).

Закрытие границ и введение двухнедельного карантина, для экипажей, прибывших из-за границы, привело к проблемам замены экипажей морских судов, увеличению расходов при их укомплектовании и оформлении документов.

На грани банкротства оказались судоходные компании - туроператоры, из-за невозможности осуществления пассажирских перевозок.

Судоходные, судостроительные и судоремонтные предприятия из-за недостатка собственных средств для финансирования затрат на постройку новых судов, затрат по ремонту флота и портовой инфраструктуры, оплату отпусков и отгулов экипажам морских и речных судов в межнавигационный период вызывают необходимость привлечения предприятиями различных видов кредитов. Из-за недополучения прибыли в связи со снижением грузо- и пассажироперевозок, ростом дополнительных расходов на меры профилактики коронавирусной инфекции (покупка дезинфицирующих средств и оборудования, индивидуальных средств защиты, расходы на ПЦР тестирование сотрудников и др.) предприятия столкнулись с проблемой отсутствия денег, для обслуживания кредитов и лизинговых платежей.

Под воздействием введенных санкций для нашей страны водный транспорт также претерпел ряд изменений, в первую очередь были затронуты морские перевозки.

Страны Евросоюза и другие недружественные России страны закрыли или частично ограничили доступ российским судам в свои порты, что привело к следующим проблемам: снижение грузооборота, увеличение времени доставки из-за ужесточения проверок со стороны таможенных органов на фоне введенных санкций, при осуществлении дальних маршрутов суда лишились возможности заходить в порты на дозаправку и необходимое техническое обслуживание.

С Российского рынка ушли глубоко интегрированные в логистику перевозок крупнейшие мировые контейнерные линии, такие как Maersk, Nippon-Lloyd, Yang Ming, ONE и др., нарушив глобальные цепи поставок.

Под воздействием антироссийских санкций обострились, имеющиеся ранее экологические проблемы, связанные с транспортной отраслью. Так аналитики Школы управления «Сколково» в своем исследовании «Декарбонизация магистральной логистики» акцентируют внимание на ухудшении экологической обстановки из-за выбросов парниковых газов: «санкции, затронувшие морские перевозки нефти, нефтепродуктов, зерна, СПГ и других товаров из РФ уже привели к задержкам и остановкам товарных потоков, что увеличивает расход топлива и углеродный след доставляемой продукции».<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Декарбонизация магистральной логистики –URL: [https://sk.skolkovo.ru/storage/file\\_storage/19ae32e0-5da7-487a-b9b1-deeef88b9e47/SKOLKOVO\\_EneC\\_RU\\_DMLogistics-06.08\\_FINAL.pdf](https://sk.skolkovo.ru/storage/file_storage/19ae32e0-5da7-487a-b9b1-deeef88b9e47/SKOLKOVO_EneC_RU_DMLogistics-06.08_FINAL.pdf) (дата обращения 03.07.2023)

На протяжении последних десятилетий перед предприятиями водного транспорта особо остро стоят проблемы изношенности грузового и пассажирского флота, а также недостатка количества судов, которые усугубились после ухода с Российского рынка крупных европейских перевозчиков. По данным исследований, проведенных аналитическим агентством Infoline «Средний возраст грузовых судов, составляет 37 лет, а нормативные сроки эксплуатации критически превышены у 45-50% судов внутреннего водного транспорта. Средний возраст пассажирских судов ВВТ - 38 лет, круизных более 49 лет. Ко II кварталу 2021 г. более 65% пассажирских судов речфлота ходила за пределами нормативных сроков. Средний возраст пассажирских судов морфлота России составляет 25 лет».<sup>5</sup>

Многие комплектующие для судостроительной и судоремонтной отраслей стали недоступны из-за введенных санкций, что привело к необходимости перепроектирования судов, с целью их замены. Санкционная политика установила запрет зарубежным производителям поставлять в Россию «винто-рулевые колонки, главные двигатели и дизель-генераторы, радионавигационные системы, автоматику и другое оборудование».<sup>6</sup> Как следствие нарушаются сроки сдачи судов и растут расходы на их постройку. Так российская судовой верфь «Звезда» сдвигает сроки выпуска головного танкера-газовоза ARC7 «как минимум на год, примерно на то же время могут быть перенесены сроки производства еще четырех танкеров» [3], в тоже время «южнокорейская судовой верфь Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) расторгла контракт на строительство трех СПГ-танкеров» [4] из-за просрочки платежей по контракту, вызванных трудностями с проведением платежей под воздействием введенных санкций.

В связи с увеличившейся нагрузкой на предприятия водного транспорта, спровоцированной переходом на использование нового оборудования, не попавшего под санкции, увеличением гособоронзаказа, заключением договоров на строительство новых судов гражданского флота, развитием портовой инфраструктуры и внутреннего туризма предприятия испытывают дефицит кадров. Только в судостроительной отрасли спрос на кадры на начало 2023 года увеличился на 20% по сравнению с показателями 2022 года.<sup>7</sup>

Тройка лидеров, перед которыми вопрос обеспечения кадрами стоит наиболее остро Санкт-Петербург, Удмуртия и Приморский край на долю которых приходится 20%, 10% и 7% вакансий от всего объема по стране. По данным ИАА ПортНьюс на «Адмиралтейских верфях», «Северной верфи», ЦС «Звездочка» и СПО «Арктика», входящих в состав АО «Объединенная судостроительная корпорация» в большей степени востребованы новые специалисты рабочих профессий: трубопроводчики, электросварщики, сборщики КМС, слесари-монтажники судовые, сборщики-достройщики», а также «потребности в инженерных кадрах ежегодно составляют порядка 1150 человек до 2025 года». [5] С такими же проблемами столкнулись Самарская верфь, Онежский судостроительный завод, Калининградский завод «Преголь», судостроительный завод «Красное Сормово» и др., которые также нуждаются в инженерных руководителях проектов, в инженерно-конструкторских кадрах и рабочих с высокой квалификацией. Не снижается спрос и на офисных сотрудников (программистов, экономистов, бухгалтеров и др.). Следует признать, что интересы соискателей и работодателей не всегда совпадают, и более востребованными в судостроительной отрасли являются офисные специальности, а не рабочие, в то время как потребность в последних значительно выше.

<sup>5</sup> Потаева, К. Потребность в новых речных судах в России до 2030 года составит до 4000 единиц – URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/09/21/887661-rechnih-sudah> (дата обращения 04.07.2023)

<sup>6</sup> Судостроение в условиях санкций: проблемы и перспективы - URL: <http://www.zspk.gov.ru/press-service/press-relizy/591513/> (дата обращения 04.07.2023)

<sup>7</sup> Дефицит кадров усилился в 2023 году. – URL: <https://www.spb.kp.ru/daily/27466/4722396/>

В условиях проведения СВО терроризм превратился в одну из основных угроз и может сосредоточить свое внимание на грузовых и пассажирских судах, а также объектах инфраструктуры: портах, судостроительных верфях и др.

Постковидные и санкционные ограничения дали новый толчок для развития водного транспорта и обозначили основные пути обновления предприятий отрасли: увеличение грузооборота; развитие отечественного судостроения; развитие круизного туризма и пассажироперевозок; развитие инфраструктуры водного транспорта; снижение негативного влияния на окружающую среду; цифровизация отрасли; развитие кадрового потенциала.

Увеличение объема торговли возможно за счет изменения логистических маршрутов и их переориентации на Индию, Турцию и Китай. Перспективными направлениями увеличения грузооборота являются следующие направления: коридор «Север-Юг» (маршрут Индия-Иран-Санкт Петербург является одним из основных маршрутов доставки грузов в нашу страну); Азово-Черноморское направление (Турция); Восточное направление (приоритетным проектом становится развитие Северного морского пути, направленного на «создание круглогодичного транспортного коридора, который свяжет регионы Северо-Запада и Дальнего востока, а в перспективе станет и своеобразной альтернативой грузоперевозкам через Суэцкий и Панамский каналы»<sup>8</sup>. Новая геополитическая ситуация требует присутствия России в Арктике как военного, так и экономического: «В таких условиях увеличение коммерческих перевозок, следующих Северным морским путем, может принести значительную выгоду и усилить влияние России в Арктике». [6, с.54] Проведенные исследования и прогнозы выявили положительную тенденцию увеличения грузоперевозок, так «по прогнозам Минтранса РФ ожидается прирост грузопотоков по таким направлениям (по сравнению с 2022 годом): Коридор «Север-Юг» (+79%); Азово-Черноморское направление (+21%); Восточное направление (+8%)»<sup>9</sup>.

В рамках политики по импортозамещению одним из приоритетных направлений было выделено развитие отечественного судостроения. Для достижения обозначенных целей «были переориентированы потоки поставок необходимых комплектующих из стран, которые перестали осуществлять торговлю с РФ, на дружественные страны, готовые поставлять необходимое оборудование и механизмы», а также «принята директива согласно которой, ключевое оборудование и комплектующие должны производиться на территории Российской Федерации для обеспечения суверенитета стратегически важной отрасли от внешних факторов» [7].

Президентом РФ В.В. Путиным на пленарной сессии ПМЭФ были обозначены задачи обновить торговый флот в ближайшие 5 лет, за счет привлечения средств Фонда национального благосостояния «отмечу, что только в рамках данной программы в 2023-2028 годах на российских судостроительных верфях запланировано строительство не менее 260 судов» - подчеркнул глава государства.<sup>10</sup> В ближайшую пятилетку флот должны пополнить «119 судов грузовых, 73 пассажирских, 10 рыбопромысловых, 27 судов дноуглубительного флота (необходимых для судоходных рек), 1 плавдок, 5 крупнотоннажных и 5 буксирных судов, 20 барж».<sup>11</sup>

В рамках реализации Концепции развития круизного туризма в РФ на период до 2024г. намечены направления развития морских и речных круизов по акваториям нашей страны, которые имеют своей целью обеспечить широкодоступность и

<sup>8</sup> Ильина, Н. «Логистика». Приложение № 211 от 15.11.2022, стр.3

<sup>9</sup> Проблемы морского транспорта -URL: <https://ecoshp.ru/blog/problemy-morskogo-transporta/> (дата обращения 21.07.2023)

<sup>10</sup> Самофалова, О. Россия вкладывается в судостроение по-крупному – URL: <https://www.discred.ru/2023/06/18/rossiya-vkladyvaetsya-v-sudostroenie-po-krupnomu/>

<sup>11</sup> Самофалова, О. Россия вкладывается в судостроение по-крупному – URL: <https://www.discred.ru/2023/06/18/rossiya-vkladyvaetsya-v-sudostroenie-po-krupnomu/> (дата обращения 23.07.2023)

привлекательность водного транспорта для граждан.<sup>12</sup> Эта программа успешно реализуется в различных регионах. Так только в Нижегородской области и Нижнем Новгороде (которые находятся на 6 месте национального туристического рейтинга за 2022г.<sup>13</sup>) наряду с привычными маршрутами осуществляются речные перевозки на судах «Валдай 45Р» по 16 новым туристско-экскурсионным маршрутам<sup>14</sup>, возрожден маршрут «Московской кругосветки» на трехпалубном круизном теплоходе-колеснике ПКС-180 «Золотое кольцо»; для обеспечения межрегионального сообщения до Казани, Кинешмы, Костромы и Плёса будут выполняться рейсы на постоянной основе уже в 2023 г. суднами на подводных крыльях «Метеор120Р», а также планируется «существенно расширить географию маршрутов: как пассажирских, так и туристических, <...> организовать рейсы до Ульяновска и Рыбинска»<sup>15</sup>; в 2023 году запущены два новых прогулочных судна «Соталия» и двухпалубный катамаран «ЭкоходЪ» (судно класса «река-озеро» для совершения прогулочных и экскурсионных поездок). В Тверской области реализуется новый проект «Волжское море», «который свяжет вместе водный, железнодорожный и автомобильный транспорт и станет отправной точкой для путешествий по Волге и акватории так называемого «Московского моря»<sup>16</sup>. В Санкт Петербурге разработаны три новых маршрута: «Тайны северных островов», «Круиз впечатлений», «Панорамная переправа № 2», последний из которых ввиду невысокой стоимости билета, может стать альтернативой наземному транспорту.<sup>17</sup>

В связи с увеличением объемов перевозок по перемещению грузов и пассажиров по морским и внутренним водным путям особо остро стоит вопрос модернизации оборудования, обустройства плавучих причалов и глубоководных портов. По данным Федерального агентства морского и речного флота «в рамках транспортной части Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 г. прирост мощностей российских портов составит 330 млн. т. Объем финансирования развития инфраструктуры морского транспорта с 2019-2024 гг. составит 817,4 млрд. руб., в том числе: средства федерального бюджета -125 млрд. руб., внебюджетное финансирование – 692,4 млн. руб.»<sup>18</sup>

Развитие пассажирского судоходства невозможно без развития береговой инфраструктуры. Например, для решения этих проблем в 2022-2023 годах за счет средств инвесторов планируется построить пассажирские причалы в Великом Новгороде (Новгородская область) Сортавале (республика Карелия) [8]; с целью ликвидации инфраструктурных ограничений на основных направлениях грузо- и пассажиропотоков осуществляется строительство Нижегородского низконапорного гидроузла (срок реализации 2020-2024 гг.); для увеличения пассажиропотока

<sup>12</sup> Концепция развития круизного туризма в Российской Федерации на период до 2024 г. (Утв. Распоряжением Правительства РФ от 28.01.2022г. №117-П)- URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403388914/#1000> (дата обращения 23.07.2023)

<sup>13</sup> Национальный туристический рейтинг 2022 – URL: <https://russia-rating.ru/info/21283.html> (дата обращения 17.07.2023)

<sup>14</sup> Васи́лишина ,Ю. Новые маршруты и новые суда: Какие изменения ждут речные перевозки в Нижнем Новгороде - URL: <https://www.nnov.kp.ru/daily/27489/4747434/> (17.07.2023)

<sup>15</sup> Новинки речных путешествий в Нижнем Новгороде: неспеша и на максимальной скорости - URL: <https://strategy.nobl.ru/stati/transport/novinki-rechnyix-puteshestvij-v-nizhnem-novgorode-nespesha-i-na-maksimalnoj-skorosti/> (15.06.2023)

<sup>16</sup> Флагман туризма: как развивается главный объект кластера «Волжское море» - URL: <https://vedtver.ru/news/society/flagman-turizma-kak-razvivaetsja-glavnyj-obekt-klastera-volzhscoe-more/> (дата обращения 15.06.2023)

<sup>17</sup> Краев, В., Гонтарь Д. В Петербурге открываются новые речные маршруты, а на верфях калининграда заложили туристическое судно для речных прогулок – URL: <https://rg.ru/2023/07/24/reg-szfo/bez-probok-po-vode.html> (дата обращения 21.06.2023)

<sup>18</sup> Инфраструктурные проекты в сфере морского транспорта -URL: [https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya\\_deyatelnosti/portyi\\_rf/infrasturktrnyie\\_proektyi\\_v\\_sfere\\_morskogo\\_transporta/](https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/portyi_rf/infrasturktrnyie_proektyi_v_sfere_morskogo_transporta/) (дата обращения 21.06.2023)

осуществляется строительство международного морского терминала для приема круизных и грузопассажирских судов в г. Пионерский (Морской порт Калининград) и строительство комплекса береговой и морской инфраструктуры (Морской порт Геленджик), проектная мощность составит 250 тыс. и 19,6 тыс. пассажиров в год соответственно.<sup>19</sup>

В настоящее время на предприятиях водного транспорта определены первоочередные направления работы для снижения экологической нагрузки на окружающую среду: применение энергоэффективных технологий и модернизация судов, альтернативных видов топлива; разработка новых более коротких логистических маршрутов; развитие ледокольного флота и др.

Первые шаги в этом направлении уже сделаны, так введены в эксплуатацию двухтопливные паромы проекта CNF - 19М «Маршал Рокоссовский» и «Генерал Черняховский», работающие на двух видах топлива (низкозернистом дизельном топливе и СПГ) [8], построен нефтеналивной танкер типа Aframax «Владимир Мономах»<sup>20</sup>, продолжается строительство «двух инновационных двухтопливных ледоколов мощностью 12-14 Мвт проекта 23620»[8], а также танкеров-газовозов ледового класса ARC7 (портфель заказов составляет 15 единиц)<sup>21</sup>.

В рамках обеспечения экологической безопасности новым этапом в развитии речного судоходства стали максимально экологичные электросуда вместимостью от 50 до 200 человек (двухпалубные и однопалубные катамараны Ecovolt и Ecosruise для прогулочных и круизных маршрутов, речные трамваи для регулярных перевозок Ecobus и Cityvolt).<sup>22</sup> В Нижнем Новгороде и Красноярске открыли навигацию в 2023г. новые электрокатамараны «ЭкоходЪ». В Москве активно используются пассажирские электротрамваи круглогодичного использования, которые «могут стать хорошей альтернативой и дополнением к другим видам транспорта, позволяют сократить время в пути, где-то дадут возможность разгрузить автотрассы» как отметил Президент РФ В.В. Путин на «Совещании по развитию речного судоходства».<sup>23</sup>

Связующим элементом направлений развития водного транспорта в настоящее время становятся цифровые технологии. Цифровая трансформация отрасли способствует росту пропускной способности портовой инфраструктуры, повышению энерго-и ресурсоэффективности, повышению безопасности судоходства, развитию интермодальных перевозок, внедрению энергоэффективных технологий. Уже начались разработки новой модели отрасли «умный водный транспорт», ключевыми направлениями которого являются е-Навигация (электронные технологии судовождения) и а-Навигация (автономное судоходство), направленные на повышение безопасности судоходства и снижения себестоимости перевозок. В настоящее время в рамках инициативы «Маяки развития технологий» реализуется проект «Автономное судовождение» результатом которого станет «разработанный набор технологий автоматического и дистанционного судовождения на

<sup>19</sup> Инфраструктурные проекты на внутреннем водном транспорте – URL: [https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya\\_deyatelnosti/rechnoy\\_flot/infrastrukturnyie\\_proektyi\\_na\\_vnutrennem\\_vodnom\\_transporte/](https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/rechnoy_flot/infrastrukturnyie_proektyi_na_vnutrennem_vodnom_transporte/) (дата обращения 21.06.2023)

<sup>20</sup> Волуйская. М. Что представляет собой танкер «Владимир Мономах» – URL: [https://aif.ru/money/economy/chto\\_predstavlyaet\\_soboy\\_tanker\\_vladimir\\_monomah](https://aif.ru/money/economy/chto_predstavlyaet_soboy_tanker_vladimir_monomah) (дата обращения 21.06.2023)

<sup>21</sup> Развитие судов, работающих на газомоторном топливе – URL: <http://www.morvesti.ru/analitika/1689/90019/>

<sup>22</sup> «Водные автобусы – новое звено в системе городского электротранспорта»: Sitronics Group представила пассажирские электросуда в Совете Федерации – URL: [https://www.vedomosti.ru/press\\_releases/2023/06/09/vodnie-avtobusi--novoe-zveno-v-sisteme-gorodskogo-elektrotransporta-sitronics-group-predstavila-passazhirskie-elektrosuda-v-sovete-federatsii](https://www.vedomosti.ru/press_releases/2023/06/09/vodnie-avtobusi--novoe-zveno-v-sisteme-gorodskogo-elektrotransporta-sitronics-group-predstavila-passazhirskie-elektrosuda-v-sovete-federatsii)

<sup>23</sup> Совещание по развитию речного судоходства – URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/71467>

маршруте м. п. Усть–Луга – м. п. Балтийск за счет разработки и внедрения образцов судовых и береговых программно–аппаратных комплексов автономной и дистанционной навигации, создания береговой инфраструктуры электронной навигации и автономной навигации в морских портах Санкт- Петербург и Калининград.» [8].

Одним из основополагающих направлений развития судостроения и судоходства являются высококвалифицированные кадры, подготовке которых уделяется особое внимание. В рамках траектории «школа-ВУЗ-предприятие» в российских школах открываются инженерные судостроительные классы. Так в Нижнем Новгороде «создан образовательный судостроительный кластер, в который входят 9 школ, 4 Вуза и 4 учреждения дополнительного образования детей»<sup>24</sup>, такие классы также планируется открыть в Комсомольске-на-Амуре, Северодвинске и Калининграде. Для подготовки кадров для судоремонтных предприятий (АО «Азовская судостроительная верфь», ОАО «Моряк», АО «РИФ») на базе Донского государственного университета открыт факультет кораблестроения и морской техники (ранее в Ростовской области, где расположены три крупнейших морских порта - Ростов-на –Дону, Азов и Таганрог, подготовкой специалистов в этой области не занимались). Для ликвидации кадрового дефицита в отрасли применяется программа «Трудовая мобильность» предполагающая получение компенсации расходов на переезд, проживание и адаптацию работника и его семьи на новом месте. В рамках этой программы в 2019 г. в ООО «ССК» Звезда» в Приморском крае трудоустроены 330 работников<sup>25</sup>

Для реализации разработанных программ и направлений развития, продиктованных новыми условиями экономических и геополитических отношений, предприятиям водного транспорта следует решить «сложные задачи адаптации системы управления, направленной на повышение конкурентоспособности и эффективности их деятельности». [11] Таким инструментом адаптации в условиях новых вызовов и угроз является внутренний контроль, в процессе реализации которого решается ряд первостепенных задач (соответствие функционирования экономического субъекта запланированным целям; рациональное и экономически обоснованное использование всех видов ресурсов; укрепление финансового положения, устойчивости и независимости экономического субъекта; соблюдение норм действующего законодательства, а также внутренних положений и регламентов; повышение достоверности первичной документации и отчетности и др.), обеспечивающих эффективное функционирование предприятия.

Внутренний контроль на предприятиях водного транспорта представляет собой комплекс координационных мер, методов и процедур, и включает в себя пять основных элементов, таких как контрольная среда; оценка рисков; процедуры внутреннего контроля; информация и коммуникация; оценка внутреннего контроля.

В отечественной литературе все чаще стали появляться научные труды авторы, которых изучают взаимосвязь внутреннего контроля и экономической безопасности [1,2,10,12], а также анализируют место внутреннего контроля в системе управления предприятием. [13,14]

Для определения места и роли внутреннего контроля в системе экономической безопасности предприятия, проведем сравнительный анализ этих категорий в разрезе целей, функций, субъектов, объектов, элементов, ограничений эффективности, который составлен автором на основании информации Минфина России от 25.12.2013 г. № ПЗ-11/2013, [9,15,16] (рис. 2).

<sup>24</sup> ОСК откроет новые инженерные классы в трех регионах России - URL:<https://www.aosk.ru/press-center/news/osk-otkroet-novye-inzhenemye-klassy-v-trekh-regionakh-rossii/> (дата обращения 30.07.2023)

<sup>25</sup> Как программа «трудовая мобильность» помогает решать кадровый вопрос в регионе <https://sskzvezda.ru/index.php/ru/10-smi/455-na-dalnij-vostok-s-gospodderzhkoj> (дата обращения 30.07.2023)

Экономическая безопасность	Внутренний контроль
<b>ЦЕЛИ</b>	
<p><b>Общая цель:</b> Обеспечение постоянного и максимально результативного функционирования в настоящий момент, и высокого потенциала развития перспективе.</p> <p><b>Функциональные цели:</b> обеспечение правовой защищенности; поддержание эффективности деятельности, финансовой устойчивости и независимости; развитие технического потенциала и конкурентоспособности; защита информационных ресурсов; снижение негативного влияния на окружающую среду; поддержание на высоком уровне компетентности и квалификации сотрудников.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обеспечение эффективности и результативности финансово-хозяйственной деятельности, управления активами и рисками;</li> <li>2. Обеспечение достоверности, полноты, объективности и своевременности составления, представления всех видов отчетности;</li> <li>3. Соблюдение норм действующего законодательства, а также стандартов и регламентов предприятия;</li> <li>4. Обеспечение информационной безопасности в информационной сфере.</li> </ol>
<b>ФУНКЦИИ</b>	
<p>Административно - управленческая; учетно-контрольная; хозяйственно-распорядительная; организационно-техническая; социально-кадровая; плано-производственная; информационно-аналитическая; научно-методическая;</p>	<p>Защитная, оперативная, коммуникативная, регулятивная, информативная, превентивная.</p>
<b>СУБЪЕКТЫ</b>	
<p><b>Внешние:</b> государственные органы, частные охранные предприятия, информационные и аналитические центры.</p> <p><b>Внутренние:</b> сотрудники юридического и финансово-аналитического отделов, службы безопасности, охраны и др.</p>	<p>Собственники и руководство, сотрудники службы внутреннего контроля, сотрудники отделов и подразделений, на которых возложены контрольные функции в соответствии с должностными инструкциями.</p>
<b>ОБЪЕКТЫ</b>	
<p>Активы предприятия, находящиеся в собственности; научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы; техническое состояние производства и технологии; информационные, финансовые, и материальные ресурсы; персонал; архитектура предприятия; стратегия предприятия; финансовое состояние предприятия; система безопасности предприятия.</p>	<p>Человеческие, финансовые, материальные, нематериальные, информационные ресурсы; средства и системы информатизации; технические средства и системы охраны и защиты материальных и информационных ресурсов; управленческие решения, процессы, происходящие в организации или вне ее; результаты функционирования организации; аспекты времени.</p>
<b>ЭЛЕМЕНТЫ</b>	
<p>Безопасность: правовая, кадровая, экологическая, информационная, инженерно-техническая, физическая</p>	<p>Контрольная среда; оценка рисков; контрольные процедуры; информативная и коммуникация; мониторинг внутреннего контроля предприятия.</p>
<b>ОГРАНИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ</b>	
<p><b>Внешние:</b> политические; правовые; социально-демографические; научно-технические и технологические; экологические.</p> <p><b>Внутренние:</b> финансовые; производственные; управленческие; маркетинговые; кадровые.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изменение экономической конъюнктуры или законодательства, возникновение новых обстоятельств вне сферы влияния руководства экономического субъекта;</li> <li>2. Превышением должностных полномочий руководством или иным персоналом экономического субъекта, включая сговор персонала;</li> <li>3. Возникновением ошибок в процессе принятия решений, осуществлена фактор хозяйственной жизни, ведения бухгалтерского учета в том числе составлена бухгалтерской (финансовой) отчетности.</li> </ol>

Рис. 2. Сравнительная характеристика категорий «экономическая безопасность» и «внутренний контроль»

На основании проведенного исследования мы можем сказать, что внутренний контроль и экономическая безопасность тесно коррелируют между собой по следующим составляющим: цели, функции, объекты, субъекты, ограничения эффективности. Так они характеризуются общими целями: обеспечение правовой, информационной безопасности, эффективного функционирования экономического субъекта и рационального использования ресурсов.

В рамках обеспечения экономической безопасности выделяется отдельная учетно-контрольная функция, которая призвана обозначить особенно важные направления деятельности предприятия, оценить риски, влияющие на безопасность субъекта, наладить контроль за критическими важными объектами, своевременно обнаружить внешние и внутренние угрозы. И именно эта функция реализует все функции внутреннего контроля: защитную, которая направлена на обеспечение сохранности активов, документов, бухгалтерских регистров и т.д.; оперативную, проявляющуюся в ежедневной работе каждого сотрудника предприятия, осуществляющего контроль; коммуникативную, при помощи которой осуществляется обмен информацией в ходе проведения контроля; регулятивную, которая обеспечивает эффективную финансово-хозяйственную деятельность, предупреждая неэффективное использование ресурсов и увеличение затрат; информативную, направленную на получение информации при проведении контроля и использовании ее для принятий управленческих решений; превентивную, заключающуюся в предупреждении нарушений и выявлении резервов. Следует отметить, каждая из функций экономической безопасности может рассматриваться как единичный элемент, но при этом контрольные функции являются основополагающими при их реализации.

Субъекты экономической безопасности осуществляют контрольные мероприятия в рамках своих должностных инструкций и возложенных на них полномочий. Юридический отдел контролирует законность деятельности экономического субъекта. Финансово-аналитический отдел проводит контроль исполнения бюджетов, ведения расчетов, запланированного и целевого использования ресурсов. Служба безопасности совместно с другими структурными подразделениями предприятия выполняет широкий спектр контрольных мероприятий по следующим направлениям: обеспечение сохранности имущества, защита коммерческой тайны, обеспечение внешней деятельности предприятия и др. Отдел охраны проводит контроль сохранности зданий и помещений предприятия, контроль за перемещением товарно-материальных ценностей, контроль пропускного режима. Таким образом мы можем сделать вывод, что субъекты экономической безопасности, одновременно являются и субъектами внутреннего контроля.

Анализ объектов внутреннего контроля и экономической безопасности выявил их полную идентичность.

Предприятия водного транспорта функционируют в определенных условиях (политических, социальных, экономических), совокупность которых провоцирует возникновение новых рисков, порождающих ограничения эффективности обеспечения экономической безопасности. Например, в соответствии с Указом Президента РФ № 204 от 07.05.2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации до 2024 года» транспортная отрасль должна быть преобразована «посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений»<sup>26</sup>. Но внедрение цифровых технологий сопровождают ряд рисков: правовые (несовершенство нормативно-правового обеспечения цифровой экономики;

---

<sup>26</sup> Указ Президента РФ от 07.05.2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г. – URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/43027> (дата обращения 07.08.2023)

несвоевременное реагирование сотрудников предприятия на изменение нормативно-правовых документов); производственные (отсутствие или недостаточное количество информационно-коммуникационного оборудования, программного обеспечения для выполнения производственных задач); кадровые (недостаток высококвалифицированных IT-специалистов, риск потерь активов предприятия, при внедрении цифровых технологий, вызванных случайными или преднамеренными ошибками персонала, из-за недостаточной квалификации); информационные риски (разглашение конфиденциальной информации, потеря или недоступность данных, использование недостоверной информации) и др. Следовательно, решение этих проблем требует усиления всех видов контроля, по этим направлениям (рис.3).

Проведенные ранее исследования показали, что методика осуществления внутреннего контроля для каждого предприятия носит индивидуальный характер, что обусловлено «различиями в целях функционирования предприятия, стратегии его развития, организационной структуре, особенностях управления, а также отраслевых особенностей деятельности предприятия».[17] Проблемы функционирования предприятия водного транспорта (сокращение протяженности внутренних водных путей, снижение спроса на грузо- и пассажиро-перевозки, сокращение материально-технической базы из-за высокого износа и низких объемов судостроения, низкая инвестиционная привлекательность отрасли, отток профессиональных кадров, снижение экологической безопасности судоходства) определили виды внутреннего контроля (административно-управленческий, правовой, материально-технологический, производственно-технологический, инвестиционный, кадровый, пожарный, экологический) и основные направления его осуществления. [18]

Становится очевидным, что с одной стороны внутренний контроль на предприятиях водного транспорта выступает средством обеспечения экономической безопасности по основным функциональным направлениям, с другой стороны система экономической безопасности определяет основные виды контроля и направления его осуществления (рис.3)

### **Заключение**

Подводя итог следует отметить, результативность деятельности каждого отдельно взятого предприятия водного транспорта в настоящее время зависит от своевременности реагирования на возникающие угрозы его экономической безопасности.

Система экономической безопасности является уникальной системой, при построении которой необходимо учитывать проблемы и направления развития, характерные для каждого предприятия и отрасли в целом. Важным средством обеспечения экономической безопасности, является внутренний контроль, который направлен на минимизацию рисков и угроз, по основным функциональным направлениям экономической безопасности и является основным инструментом достижения устойчивого роста и развития предприятия не только в настоящее время, но и в будущем.

Функциональные направления системы экономической безопасности	Виды внутреннего контроля	Направления контроля
Правовое	Правовой	Контроль соответствия требованиям законодательства; реакция на изменение законодательства; оценка законности разработанных внутренних документов.
Финансовое	Финансовый	Контроль бюджетов; контроль расчетов (внутренних и внешних); контроль соответствия использования ресурсов установленным планам; контроль целевого использования ресурсов
Кадровое	Кадровый	Контроль соответствия кадровой документации трудовому законодательству; трудовой и исполнительской дисциплины; затрат на персонал и оценка экономической отдачи вложений в персонал, обеспеченности кадрами; квалификации кадров
Производственное	Производственно-технологический	Постатный контроль производственного процесса; Технологический контроль, в том числе технологических процессов работы судна; технологических процессов работы портов.
Технико-технологическое	Материально-технологический	Контроль транспортного, вспомогательного, технического флота; портов; ремонтных предприятий; средств связи и электронавигационного оборудования; материально-технического снабжения
Инвестиционное	Инвестиционный	Текущий контроль исполнения работ по проекту; контроль бюджет на всех стадиях проекта; анализ изменений и оценка влияния внешних и внутренних факторов на ход выполнения работ; контроль сроков выполнения работ по проекту; анализ причин отклонений от плана
Информационное	Информационный контроль	Контроль информационных активов предприятия (открытых, служебных, конфиденциальных);
Экологическое	Экологический	Контроль соблюдения природоохранного законодательства; соблюдения планов и мероприятий по охране окружающей среды; устранения выявленных нарушений природопользования; соблюдения установленных нормативов предельно допустимого воздействия на окружающую среду вредных веществ; влияния окружающей среды на состояние здоровья сотрудников предприятия; своевременного предоставления документации и достоверности информации; предусмотренной госстатистичностью

Рис. 3. Функциональные направления экономической безопасности, виды и направления внутреннего контроля в зависимости от проблем функционирования водного транспорта<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Составлено автором на материалах [18]

**Список литературы**

1. Ржевская, Т.А. Место внутрихозяйственного контроля в системе экономической безопасности организации / Т.А. Ржевская // Банковская система: устойчивость и перспективы развития: сборник научных статей XII Международной научно-практической конференции по вопросам банковской экономики, Пинск, 29 октября 2021 г. : в 2 ч. / Министерство образования Республики Беларусь [и др.] ; редкол.: В.И. Дунай [и др.] – Пинск : ПолесГУ, 2021. – Ч. 1. – С. 257-260.- URL: [https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/24241/1/Mesto\\_vnutrikhoziaistvennogo\\_kontrolia.pdf](https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/24241/1/Mesto_vnutrikhoziaistvennogo_kontrolia.pdf) (дата обращения 03.07.2023)
2. Шатров, С. Л. Система внутреннего контроля в обеспечении экономической безопасности организации / С. Л. Шатров, А. Н. Мороз // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности). – 2021. – № 1(14). – С. 247-253. – EDN UODXJY.- URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_48009418\\_16885354.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_48009418_16885354.pdf) (дата обращения 03.07.2023)
3. Дятел, Т. Танкеры отправятся с опозданием/Т. Дятел//Газета «Коммерсантъ» № 233 от 15.12.2022, стр.7
4. Дятел, Т. Танкеры расплылись/ Т. Дятел //Газета «Коммерсантъ» № 90 от 25.05.2022, стр.1
5. Ткачева, К. Судостроение на кадровом крючке/ К. Ткачева// Журнал ПортНьюс №1, март 2023 с. 54
6. Тейкин, М. С. Северный морской путь как перспективное направление в международных морских перевозках / М. С. Тейкин // Океанский менеджмент. – 2020. – № 4(9). – С. 53-55. – EDN GRMZBZ.- URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44490504\\_91518227.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44490504_91518227.pdf) (дата обращения 06.07.2023)
7. Алькатири, К. Ю. Модернизация судостроительной отрасли России в условиях санкционного режима / К. Ю. Алькатири // Россия: тенденции и перспективы развития : Ежегодник. XXII Национальная научная конференция с международным участием, Москва, 14–16 февраля 2023 года. Том Выпуск 18 Часть 1. – Москва: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2023. – С. 552-554. – EDN ANBOOC. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-sudostroitelnoy-otrasli-rossii-v-usloviyah-sanktsionnogo-rezhima/viewer> (дата обращения 21.06.2023)
8. Лаврищев, А.В. Вектор перемен/ Транспорт России, приложение Транспортный вестник ,№ 3- 2022.
9. Горбатовская, Е. Г. Криминальные угрозы безопасности предпринимательской деятельности и некоторые актуальные направления их предупреждения / Е. Г. Горбатовская, Н. С. Матвеева // Современное уголовное право и криминология : Сб. научн. тр. / Центр социал. научн.-информ. исслед. Отдел правоведения, ИПАН, Гос. ун-т - Высш. шк. экономики; Отв. ред. Жалинский А.Э.. – Москва, 2007. – С. 183-191. – EDN NBMHNX – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_15513087\\_76733376.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_15513087_76733376.pdf) (дата обращения 04.08.2023)
10. Серебрякова, Т. Ю. Экономическая безопасность и угрозы: сущность и подходы к определению / Т. Ю. Серебрякова, Н. Ю. Тимофеева // Вестник НГУЭУ. – 2013. – № 3. – С. 237-246. – EDN RBSFFN.-URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_20276026\\_21024453.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_20276026_21024453.pdf) (дата обращения 04.08.2023)
11. Кудрявцева, И. Ю. Проблемы цифровизации системы внутреннего контроля на предприятиях водного транспорта / И. Ю. Кудрявцева // Транспорт. Горизонты развития : Труды 1-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород - Новосибирск, 25–28 мая 2021 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО "ВГУВТ"), 2021. – С. 66. – EDN RZVMID.-URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_48326100\\_50448586.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48326100_50448586.pdf) (дата обращения 03.08.2023)
12. Агеева, О. А. Внутренний контроль как инструмент обеспечения экономической безопасности организации на микроуровне / О. А. Агеева, Ю. Д. Матыцына // Вестник университета. – 2021. – № 2. – С. 86-94. – DOI 10.26425/1816-4277-2021-2-86-94. – EDN AAOLSA.- URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44936991\\_89770028.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44936991_89770028.pdf) (дата обращения 15.07.2023)

13. Кудрявцева, И. Ю. Место внутреннего контроля в системе управления предприятиями водного транспорта / И. Ю. Кудрявцева // Мировые научные исследования современности: возможности и перспективы развития: материалы XVI международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 31 марта 2022 года. Том Часть 1. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Ставропольское издательство "Параграф", 2022. – С. 649-652. – EDN ZXYICF.-URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_48332323\\_29375436.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_48332323_29375436.pdf)
14. Гульпенко, К. В. Место внутреннего контроля в системе управления предприятием / К. В. Гульпенко, Е. Х. Сафарян // Проблемы современной экономики. – 2018. – № 4(68). – С. 112-115.
15. Старченко, И.В. Сущность экономической безопасности хозяйствующего субъекта//Экономика и бизнес: теория и практика-URL: <https://ачии.рф/files/13134f5d-64cf-4c8a-8d07-f54d23693636.pdf> (дата обращения 03.07.2023)
16. Экономическая безопасность предприятия: моногр./ А.К. Моденов, Е.И. Беляков, М.П. Власов, Т.А. Лелявина; СПбГАСУ.- СПб, 2019- 550 с.
17. Кудрявцева, И. Ю. Проблемы организации внутреннего контроля на предприятиях водного транспорта / И. Ю. Кудрявцева // Великие реки - 2020 : Труды 22-го международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 27–29 мая 2020 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. – С. 160. – EDN СВJВЕН. -URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_44631711\\_64431435.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44631711_64431435.pdf)
18. Кудрявцева, И. Ю. Обоснование направлений развития внутреннего контроля на водном транспорте / И. Ю. Кудрявцева // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2016. – № 48. – С. 182-188.

#### References

1. Rzhevskaya, T.A. The place of on-farm control in the system of economic security of the organization / T.A. Rzhevskaya // Banking system: sustainability and development prospects: collection of scientific articles of the XII International Scientific and Practical Conference on Banking Economics, Pinsk, October 29, 2021: at 2 hours / Ministry of Education of the Republic of Belarus [and others]; editorial board: V.I. Danube [and others] - Pinsk: PolesGU, 2021. - Part 1. - P. 257-260.- URL: [https://rep.polesu.by/bitstream/123456789/24241/1/Mesto\\_vnutrikhoziaistvennogo\\_kontrolia.pdf](https://rep.polesu.by/bitstream/123456789/24241/1/Mesto_vnutrikhoziaistvennogo_kontrolia.pdf) ( accessed 03.07.2023)
2. Shatrov, S. L. The system of internal control in ensuring the economic security of the organization / S. L. Shatrov, A. N. Moroz // Market of transport services (problems of increasing efficiency). - 2021. - No. 1(14). – S. 247-253. – EDN UODXJY.- URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_48009418\\_16885354.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_48009418_16885354.pdf) (accessed 07.03.2023)
3. Woodpecker, T. Tankers will depart late/T. Woodpecker//Newspaper "Kommersant" No. 233 dated 12/15/2022, p.7
4. Woodpecker, T. Tankers blurred / T. Woodpecker // Newspaper "Kommersant" No. 90 of 05/25/2022, p.1
5. Tkacheva, K. Shipbuilding on the personnel hook / K. Tkacheva // PortNews Magazine No. 1, March 2023 p. 54
6. Teikin, M. S. The Northern Sea Route as a promising direction in international shipping / M. S. Teikin // Ocean Management. - 2020. - No. 4(9). - S. 53-55. – EDN GRMZBZ.- URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44490504\\_91518227.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44490504_91518227.pdf) (accessed 07.06.2023)
7. Alkatiri, K. Yu. Modernization of the shipbuilding industry in Russia under the sanctions regime / K. Yu. Alkatiri // Russia: trends and development prospects: Yearbook. XXII National Scientific Conference with International Participation, Moscow, February 14–16, 2023. Volume Issue 18 Part 1. - Moscow: Institute for Scientific Information on Social Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2023. - P. 552-554. – EDN AHBOOC. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-sudostroitelnoy-otrasli-rossii-v-usloviyah-sanktsionnogo-rezhima/viewer> (accessed 21.06.2023)
8. Lavrishev, A.V. Vector of Changes / Transport of Russia, Appendix Transport Bulletin, No. 3-2022
9. Gorbatovskaya, E. G. Criminal threats to the security of business activities and some topical areas of their prevention / E. G. Gorbatovskaya, N. S. Matveeva // Modern criminal law and

- criminology: Sat. scientific tr. / Center for social. scientific-inform. research Department of Jurisprudence, IGPAN, State. un-t - Higher. school economy; Rep. ed. Zhalinsky A.E. - Moscow, 2007. - S. 183-191. – EDN NBMHNX – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_15513087\\_76733376.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_15513087_76733376.pdf) (accessed 08.06.2023)
10. Serebryakova, T. Yu. Economic security and threats: the essence and approaches to the definition / T. Yu. Serebryakova, N. Yu. Timofeeva // Bulletin of the National State University of Economics. - 2013. - No. 3. - P. 237-246. – EDN RBSFFN.-URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_20276026\\_21024453.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_20276026_21024453.pdf) (Accessed 08.06.2023)
  11. Kudryavtseva, I. Yu. Problems of digitalization of the internal control system at water transport enterprises / I. Yu. Kudryavtseva // Transport. Horizons of Development: Proceedings of the 1st International Scientific and Industrial Forum, Nizhny Novgorod - Novosibirsk, May 25–28, 2021. - Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport (FGBOU VO "VGUVT"), 2021. - P. 66. - EDN RZVMID.-URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_48326100\\_50448586.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48326100_50448586.pdf) (accessed 03.08. 2023)
  12. Ageeva, O. A. Internal control as a tool for ensuring the economic security of an organization at the micro level / O. A. Ageeva, Yu. D. Matytsyna // Bulletin of the University. - 2021. - No. 2. - P. 86-94. – DOI 10.26425/1816-4277-2021-2-86-94. – EDN AAOLSA.- URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44936991\\_89770028.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44936991_89770028.pdf) (Accessed 08.06.2023)
  13. Kudryavtseva, I. Yu. The place of internal control in the management system of water transport enterprises / I. Yu. Kudryavtseva // World scientific research of the present: opportunities and development prospects: materials of the XVI International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, 31 March 2022. Volume Part 1. - Stavropol: Limited Liability Company "Stavropol Publishing House "Paragraph", 2022. - P. 649-652. - EDN ZXYICF.-URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_48332323\\_29375436.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_48332323_29375436.pdf) (accessed 03.08 .2023)
  14. Gulpenko, K. V. The place of internal control in the enterprise management system / K. V. Gulpenko, E. Kh. Safaryan // Problems of modern economics. - 2018. - No. 4 (68). - P. 112-115.
  15. Starchenko I.V. The essence of the economic security of an economic entity // Economics and business: theory and practice-URL: <https://achii.rf/files/13134f5d-64cf-4cca-8d07-f54d23693636.pdf> (accessed 03.07.2023)
  16. Economic security of the enterprise: monograph / A.K. Modenov, E.I. Belyakov, M.P. Vlasov, T.A. Lelyavina; SPbGASU.- SPb, 2019- 550 p.
  17. Kudryavtseva, I. Yu. Problems of organizing internal control at water transport enterprises / I. Yu. Kudryavtseva // Great Rivers - 2020: Proceedings of the 22nd International Scientific and Industrial Forum, Nizhny Novgorod, May 27–29, 2020. - Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2020. - P. 160. - EDN CBJBEH. -URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_44631711\\_64431435.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44631711_64431435.pdf) (08.06.2023)
  18. Kudryavtseva, I. Yu. Substantiation of directions for the development of internal control in water transport / I. Yu. Kudryavtseva // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. - 2016. - No. 48. - P. 182-188.

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

**Кудрявцева Ирина Юрьевна**, старший преподаватель кафедры бухгалтерского учета, анализа и финансов, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [irina\\_yurievna\\_kudryavtseva@mail.ru](mailto:irina_yurievna_kudryavtseva@mail.ru)

**Irina Y. Kudryavtseva**, Senior Lecturer of the Department of Accounting, Analysis and Finance, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 23.08.2023; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 23.08.2023; published online 20.06.2024.

УДК 656.025.6

DOI: 10.37890/jwt.v79.480

## **Поиск путей совершенствования работы судоходных предприятий в регионах с развитой транспортной инфраструктурой**

**С.И. Нюркин**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0003-0194-820X

**Э.Е. Нюркина**<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-0407-363X>

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

**Аннотация.** Развитие путей наземных видов транспорта определяется в основном потребностями промышленности и связанным с ней населением. Работа каждого вида транспорта нацелена на достижение максимального результата, невзирая на имеющиеся недостатки. Внедрение в практику грузовладельцев логистических подходов при транспортировке своих грузов меняет траектории движения грузов, что создает для речного транспорта новые рыночные возможности. Это хорошо заметно применительно к волжским условиям функционирования «Южного транспортного коридора» и коридора «Один пояс - один путь». Наличие у судоходных компаний транспортных средств с разнообразными эксплуатационными параметрами позволяет формировать партии грузов, а при необходимости, консолидировать в одном транспортном средстве несколько партий грузов, следующих в нужном направлении. Фактически речь идет не только о решении организационно-технического вопроса снижения нагрузки на железнодорожные пути, которые не имеют значимого резерва пропускной способности, но и о комплексном ускорении транспортировки крупных партий грузов. Для портов и судоходных компаний это означает переход на работу по системным логистическим принципам. В результате использование речного флота при перевозке грузов, следующих параллельно наземным магистралям, может обеспечить повышение итоговых результатов доставки грузов конечным потребителям при наличии судов с соответствующими технико-эксплуатационными и экономическими характеристиками.

**Ключевые слова:** виды транспорта, речной флот, транзитные пути, транспортная сеть, контейнеры, контрейлеры.

## **Search for ways to improve the work of shipping companies in the regions with developed transport infrastructure**

**Sergey I. Niurkin**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0003-0194-820X

**Ella E. Niurkina**<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-8723-6635>

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

### **Введение**

Инициативное в перспективе переключение траектории больших грузопотоков на мировом транспортном рынке с традиционных маршрутов на новые («Один пояс – один путь» и «Южный транспортный коридор») резко увеличит нагрузку на сухопутную транспортную сеть Европейской части РФ. Рассматривается вариант использования для перевозки части транзитных грузов с Юго-Восточной Азии через Каспийские порты Ирана в российские порты Махачкала, Оля и грузовые терминалы

в Астрахани, а далее по территории России до грузополучателей в других странах Европы.

Для речных судоходных компаний в этом случае открываются привлекательные возможности использования своего флота как для работы в новом, а точнее, хорошо забытом старом, сегменте перевозок высокотарифицированных грузов, перевозимых в контейнерах, так и для роста грузоперевозок во внутриводном и межбассейновом сообщении [4]. Последняя группа грузов может быть переключена на речной транспорт, если коммерческие службы судоходных компаний и портов сумеют убедить таких грузовладельцев в выгоде замены автомобильного и железнодорожного транспорта на внутренний водный при перевозке своих грузов.

### Методы

В ближайшей перспективе характеристика транспортного рынка в областях, примыкающих к Волге, претерпит кардинальные изменения и судоходным компаниям необходимо готовиться к таким изменениям уже сейчас. При активной работе международных транспортных коридоров («Один пояс – один путь» и «Южный транспортный коридор») резко возрастет загрузка имеющихся ж/д путей. Видимо поэтому часть контейнерных грузопотоков планируется отправить водным путем, доставив грузы до иранских портов Южного Каспия далее по морю до портов Каспийского региона Оля и Махачкала, а также грузовые терминалы Астраханского водно-транспортного узла и далее по ж/д до получателей [8].

Первый из обозначенных международных транспортных коридоров «Один пояс – один путь» – это многосторонний проект для единого евроазиатского торгово-экономического пространства и транспортного коридора (рис.1).

Он позволит значительно сократить сроки доставки грузов из Китая в Европу. В настоящее время средний срок доставки контейнерных грузов морским транспортом составляет 45-60 суток. При его успешной реализации – будут доставляться за 10 дней.



Рис.1. «Один пояс – один путь»

«Южный транспортный коридор» – это второй из обозначенных международных транспортных коридоров, он должен совместить два участка: сухопутный и морской (рис.2). Изначально его планировали начать из Кыргызстана, затем пройти через Узбекистан в порт Туркменбаши на Каспийском море, и далее при участии водного транспорта грузы направятся в Каспийский регион (например, Астрахань). Сейчас уже речь идет о том, что начальной точкой отправления Южного транспортного коридора станет Китай. Для этого нужно будет задействовать ныне работающую автомагистраль Китай — Кыргызстан — Узбекистан. Но зимой движение грузовых автомобилей по ней затруднено. Эту проблему должна решить железнодорожная ветка, строительство которой планируется начать в следующем году.

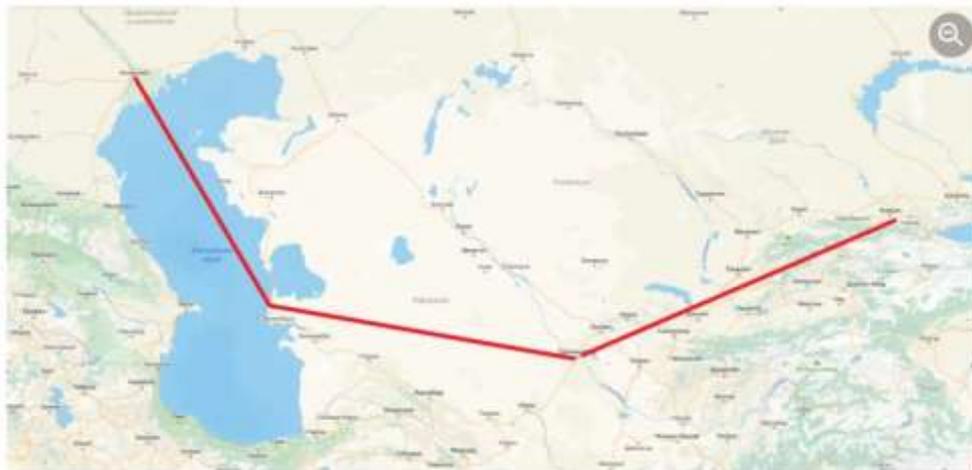


Рис.2. «Южный транспортный коридор»

Вопросы доставки контейнеров «Южного транспортного коридора» по воде уже рассматривались специалистами транспортной отрасли и отражены в [2,3].

Вместе с тем судоходные компании, работающие в Европейской части РФ, имеют флот, способный, взяв транспортную партию контейнеров в прикаспийском Иранском порту, доставить ее по морю и по внутренним водным путям практически до любого порта, имеющего подъездные ж/д пути и расположенного на Волге [6].

Такое решение позволит:

- снизить нагрузку на ж/д пути, имеющиеся в портах Оля и Махачкала и примыкающие к ним, распределив поступающие грузопотоки на другие ж/д пути (особенно это важно при отсутствии резерва пропускной способности какого-либо элемента ж/д структуры в этих портах);
- сократить время ожидания судами грузовой обработки в морских портах, при возникновении очереди;
- увеличить количество рабочего ядра флота судоходных компаний, а соответственно и их доходы.

Следовательно, грузовые терминалы речных портов должны оценить свои возможности обслуживания этих грузопотоков и разработать программу подготовки к перегрузке таких грузов на своих причалах. Учитывая, что одним из основных требований к таким грузопотокам является обеспечение минимальных сроков их доставки в конечные пункты, портам будет необходимо выполнить перечень международных требований (организационных, технологических и технических) при их обслуживании.

В качестве иллюстрации для оценки своих возможностей нужно учитывать современное состояние контейнерных перевозок в России, представленное в табл.1 и на рис.3 и рис.4.

Таблица 1

**Контейнерооборот портов России по итогам 2022 года (по данным <https://morvesti.ru/news/1679/104876/?ysclid=loslibvb3v692105440>)**

Вид перевозок	Процент по отношению к общему объему, %	Объем перевалки	Динамика 2022 г. по отношению к 2021 г., %
<i>Море* (итого по портам), в т.ч. по бассейнам:</i>		4,31 млн. TEU	-23,4 (в сравнении с 5,63 млн. TEU за 2021 г.)
Дальневосточный бассейн	53,1	2,29 млн. TEU	+8,2
Балтийский бассейн	24,81	1,07 млн. TEU	-56
Азово-Черноморский бассейн	17,74	765,2 тыс. TEU	-9
Каспийский бассейн	4,19	180,6 тыс. TEU	+142
При этом в экспорте отправлено, в т.ч.:	38,52	1,66 млн. TEU	- 26,6 (в сравнении с 2,27 млн. TEU в 2021 г.)
в импорте	38,63	1,67 млн. TEU	- 29,9 (в сравнении с 2,38 млн. TEU в 2021 г.)
в каботаже	19,79	853,6 тыс. TEU	+8,6 (в сравнении с 783,8 тыс. TEU в 2021 г.)
в транзите	3,06	132,1 тыс. TEU	-35 в сравнении с 194,03 тыс. TEU в 2021 г.)
<i>Железная дорога**</i>		6,52 млн. TEU	+ 0,3

\* Оборот грузеных контейнеров составил 3,17 млн. TEU (73,54% от общего), порожних – 1,14 млн. TEU (26,46%).

\*\*Количество грузеных контейнеров, отправленных во всех видах сообщения, составило 4 млн 659,9 тыс. ДФЭ (перевезено 66,8 млн. тонн грузов, +3,4%).



Рис.3. Статистика грузооборота контейнеров в России (импорт/экспорт) по бассейнам



Рис.4. Статистика грузооборота контейнеров в России (импорт/экспорт) по отдельным портам

По данным Морцентра-ТЭК, контейнерооборот портов России по итогам января-августа 2023 года составил 3,24 млн. TEU. Это превышает значения, достигнутые за аналогичный период 2022 года на 10,2%. Каботажная перевалка контейнеров в январе-августе выросла на 26%, импортная - на 22,7%. Экспортный контейнерный оборот упал на 6%, транзитный - на 20%.

Порты Дальневосточного бассейна нарастили перевалку контейнеров на 17,8%. Портами Балтийского бассейна перевалено на 14% ниже, чем за аналогичный период 2022 года. Рост перевалки в Азово-Черноморском бассейне составил 33,4% по сравнению с 2022 годом. Перевалка в Арктическом бассейне сократилась на 6,9%. Оборот Каспийского бассейна вырос в 2,3 раза относительно прошлого года.

В августе 2023 года перевалка контейнеров в портах РФ выросла на 31,9% по сравнению со значениями, достигнутыми в 2022 году.

Кроме того, необходимо предусмотреть и готовиться к возможности появления контрейлеров с транзитными грузами, а значит к необходимости использования морских и речных паромов, способных доставлять контрейлеры до нужного порта [4]. Определить места строительства причалов для приема и отправления контрейлеров, их оборудования и необходимой инфраструктуры [5]. Появление таких грузопотоков неминуемо приведет к увеличению загрузки автомобильных дорог, имеющих в этом регионе, что несомненно негативно скажется на интересах других участников дорожного движения.

### Обсуждение

При транспортировке небольших партий груза анализ протяженности маршрутов транспортировки грузов различными видами транспорта между крупными городами, расположенными на Волге [1], не дает решающего преимущества ни одному виду транспорта. Так скорость перемещения груза по транспортному пути наибольшая у автомобильного транспорта. Продолжительность начально-конечных операций с грузами наименьшая на автомобильном транспорте, только если речь идет о транспортировке груза по системе «от двери к двери». При других ситуациях решающую роль приобретает фактор размера транспортной партии и, конечно, стоимость доставки партии груза конечному грузовладельцу. А продолжительность начально-конечных операций может варьироваться от нескольких часов до нескольких суток. Вот в этом аспекте речной транспорт имеет большие резервы сокращения продолжительности этих операций, если организует работу флота и

грузовых терминалов речных портов на логистических принципах, а именно обеспечение минимального времени нахождения груза в пунктах передачи груза с автомобильного транспорта на водный или обратно.

Для этого судоходные компании и речные порты должны разработать системный подход и взять на себя основные обязанности по удовлетворению явных и латентных интересов грузовладельцев. То есть создать и организовать транспортно-технологическую систему, обеспечивающую выполнение всех операций с многочисленными грузопотоками, проходящими в зоне тяготения конкретного порта, на принципах логистики [7]. Сюда должно входить комплексное обслуживание грузоотправителей и грузополучателей в части формирования и расформирования грузопотока у грузовладельца, включая грузовые операции при необходимости, транспортное обслуживание (транспортом «последней мили»), минимизация времени и затрат в пункте передачи груза на речной транспорт, обеспечение согласованного срока (графика) доставки груза в пункт назначения и полное обеспечение пожеланий грузополучателя при доставке ему заказанной партии груза.

### **Заключение**

Как уже говорилось в более ранних публикациях авторов [1], стоимость транспортировки груза речным транспортом значительно меньше, чем автомобильным в расчете на один тонно-километр, поэтому возможность консолидации в одном судне многих партий грузов разных отправителей позволяет речному транспорту предложить значительно меньшую доходную ставку за перевозку, что выгодно для грузовладельцев. Возможность работы судов по расписанию снимает все вопросы грузовладельцев по срокам доставки груза.

Такое предложение по переключению части грузопотоков с автомобильного транспорта на водный выгодно и с государственной точки зрения (снижение автопотока повышает сохранность дорожного покрытия, улучшает условия работы других участников движения) и точки зрения населения прилегающих районов, пользующихся личным транспортом преимущественно в навигационный период.

### **Список литературы**

1. Нюркин С.И. Переосмысление функций и задач речных портов, расположенных в крупных городах. // Великие реки 2016: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2016. – URL: <http://vf-река-море.рф/2016/PDF/161.pdf>
2. Expanding the Participation of River Transport in the Basin Transportation of High-Tariff Cargo (On the Example of General Cargo Transportation Between the Regional Centers of the Volga Basin) / Niurkina E., Niurkin S. // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Volume 2 "Lecture Notes in Networks and Systems" 2022. С. 707-716.
3. Голованов, Д. В. Исходные концептуальные посылки создания комбинированных терминальных комплексов в транспортных узлах [Текст] / Д. В. Голованов, В. Н. Костров // Материалы науч.-техн. конф. проф.-преп. состава, аспирантов и специалистов / ВГАВТ. - Н.Новгород, 1999. - № 283, ч. 7. - С. 121-124.
4. Костров, В. Н. Стратегические факторы развития мультимодальных систем на внутреннем водном транспорте [Текст] / В. Н. Костров, С. И. Нюркин // Транспорт XXI век: материалы науч.-метод. конф. проф.-преп. состава, аспирантов и специалистов / ВГАВТ. - Н. Новгород, 2007. - С. 169.
5. Костров, В.Н. Организационно-экономическое обоснование транспортно-логистических систем доставки грузов [Электронный ресурс] : монография / В. Н. Костров, В. В. Цверов, А. В. Черемин ; ВГАВТ. - Н.Новгород, 2008.
6. Отечественная практика и зарубежный опыт государственного регулирования в транспортном комплексе [Электронный ресурс] : монография / В. Н. Костров [и др.] ; ВГУВТ; под ред. В.Н.Кострова, А.И.Телегина. - Н.Новгород, 2015.
7. Об экономической оценке конкурентоспособности различных видов транспорта, осуществляющих перевозки грузов [Текст] / А. И. Телегин, А.О.Ничипорук [и др.] // Речной транспорт. - 2017. - № 2. - С. 46-48.

8. Ничипорук, А. О. Современное состояние и направления исследований в области обеспечения качества и эффективности транспортирования грузов с участием водного транспорта [Текст] / А. О. Ничипорук // XII Прохоровские чтения: "Водный транспорт : проблемы настоящего, перспективы будущего" (по материалам заседаний президиума Госсовета по вопросам развития водных путей и транспортной инфраструктуры) : сб. статей участников Двенадцатых Прохоровских чтений, Н. Новгород, 1 декабря 2016 г. - Н. Новгород, 2017. - С. 21-26

#### References

1. Nyurkin S.I. Pereosmyslenie funktsii i zadach rechnykh portov, raspolozhennykh v krupnykh gorodakh. // Velikie reki 2016: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii. FGBOU VO «VGUVT». – 2016. – URL: <http://vf-reka-more.rf/2016/PDF/161.pdf>
2. Expanding the Participation of River Transport in the Basin Transportation of High-Tariff Cargo (On the Example of General Cargo Transportation Between the Regional Centers of the Volga Basin) / Niurkina E., Niurkin S. // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Volume 2 "Lecture Notes in Networks and Systems" 2022. S. 707-716.
3. Golovanov, D. V. Iskhodnye kontseptual'nye posylki sozdaniya kombinirovannykh terminal'nykh kompleksov v transportnykh uzлах [Текст] / D. V. Golovanov, V. N. Kostrov // Materialy nauch.-tekhn. konf. prof.-prep. sostava, aspirantov i spetsialistov / V GAVT. - N.Novgorod, 1999. - № 283, ch. 7. - S. 121-124.
4. Kostrov, V. N. Strategicheskie faktory razvitiya mul'timodal'nykh sistem na vnutrennem vodnom transporte [Текст] / V. N. Kostrov, S. I. Nyurkin // Transport XXI vek: materialy nauch.-metod. konf. prof.-prep. sostava, aspirantov i spetsialistov / V GAVT. - N. Novgorod, 2007. - S. 169.
5. Kostrov, V.N. Organizatsionno-ehkonomicheskoe obosnovanie transportno-logisticheskikh sistem dostavki грузов [Ehlektronnyi resurs] : monografiya / V. N. Kostrov, V. V. Tsverov, A. V. Cheremin ; V GAVT. - N.Novgorod, 2008.
6. Otechestvennaya praktika i zarubezhnyi opyt gosudarstvennogo regulirovaniya v transportnom komplekse [Ehlektronnyi resurs] : monografiya / V. N. Kostrov [i dr.] ; VGUVT; pod red.V.N.Kostrova, A.I.Telegina. - N.Novgorod, 2015.
7. Ob ehkonomicheskoi otsenke konkurentosposobnosti razlichnykh vidov transporta, osushchestvlyayushchikh perevozki грузов [Текст] / A. I. Telegin, A.O.Nichiporuk [i dr.] // Rechnoi transport. - 2017. - № 2. - S. 46-48.
8. Nichiporuk, A. O. Sovremennoe sostoyanie i napravleniya issledovaniy v oblasti obespecheniya kachestva i ehffektivnosti transportirovaniya грузов s uchastiem vodnogo transporta [Текст] / А. О. Ничипорук // XII Prokhorovskie chteniya: "Vodnyi transport : problemy nastoyashchego, perspektivy budushchego" (po materialam zasedanii prezidiuma Gossoveta po voprosam razvitiya vodnykh putei i transportnoi infrastruktury) : sb. statei uchastnikov Dvenadsatnykh Prokhorovskikh chtenii, N. Novgorod, 1 dekabrya 2016 g. - N. Novgorod, 2017. - S. 21-26

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

**Нюркин Сергей Иванович**, к.т.н., доцент, доцент кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [NurkinSI@rambler.ru](mailto:NurkinSI@rambler.ru)

**Sergey I. Niurkin**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterovst, Nizhny Novgorod, 603951

**Нюркина Элла Евгеньевна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [niurkina.ee@vsuvt.ru](mailto:niurkina.ee@vsuvt.ru)

**ElлаE. Niurkina**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Transport Management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterovst, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 15.02.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 15.02.2024; published online 20.06.2024.

УДК 338.364.4

DOI: 10.37890/jwt.v79.481

## **Концепция разработки компонентов безопасности на основе развития бизнес-процессов логистики компании**

**М.В. Фирсов**

*ORCID: 0009-0001-1377-1598*

*АО «Теплоэнерго», г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** В условиях продолжающейся цифровой революции, развития порождающего проектирования, машинного обучения, активного применения 3D-маркетинга в рекламе, технологий 3D-печати, новых принципов логистики и систем автоматизированного проектирования кардинально меняются бизнес-процессы предприятия. Возникает необходимость углубления ориентации бизнес-процессов на клиента, на предприятиях требует решения задача обеспечения низкой стоимости как самих бизнес-процессов, так и поддерживающих их компонентов безопасности. Ввиду сложности интеграции информационных систем необходимо заранее создавать концепцию разработки компонентов безопасности на основе развития бизнес-процессов логистики компании.

Очевидно, необходимо не просто учитывать аспекты информационной безопасности (ИБ) при совершенствовании бизнес-процессов, а рассматривать проблему комплексно, то есть разработать как концепцию, так и методику разработки, внедрения бизнес-процессов, их развития, оценки стоимости компонентов ИБ. Необходимо обеспечить гибкость и адаптацию внедряемых бизнес-процессов предприятия.

**Ключевые слова:** бизнес-процесс, 3D-маркетинг, машинное обучение, информационная безопасность, информационная система, система мониторинга.

## **The concept of developing security components based on the development of the company's logistics business processes**

**Michail V. Firsov**

*ORCID: 0009-0001-1377-1598*

*JSC Teploenergo, Nizhny Novgorod, Russia.*

**Abstract.** In the context of the ongoing digital revolution, the development of generative design, machine learning, the active use of 3D marketing in advertising, 3D printing technologies, new principles of logistics and computer-aided design systems, the business processes of the enterprise are radically changing. There is a need to deepen the orientation of business processes to the customer, and enterprises need to solve the problem of ensuring low cost of both the business processes themselves and the security components supporting them. Due to the complexity of the integration of information systems, it is necessary to create in advance a concept for the development of security components based on the development of the company's logistics business processes.

Obviously, it is necessary not only to take into account the aspects of information security (IS) when improving business processes, but to consider the problem comprehensively, that is, to develop both a concept and a methodology for developing, implementing business processes, their development, and estimating the cost of IS components. It is necessary to ensure the flexibility and adaptation of the implemented business processes of the enterprise.

**Keywords:** business process, 3D marketing, machine learning, information security, information system, monitoring system.

### **Постановка проблемы**

Бизнес-процессы на практике конструируют в рамках ERP-систем (Enterprise Resource Planning), которые являются основным средством автоматизации управления предприятием. ERP-системы строятся по модульному принципу. При этом бизнес-процессы предприятия постоянно меняются, совершенствуются, появляются новые современные инструментальные средства разработки ПО. При разработке информационной системы необходимо учитывать ее комплексное развитие с учетом встраивания системы информационной безопасности. При непродуманной наперед автоматизации, без учета реалий развития бизнес-процессов, технического прогресса и современных инструментов разработки ПО предприятие получает автоматизированные устаревшие процессы и неэффективную информационную систему управления, возникают сложности интеграции разных информационных систем и обеспечения безопасности.

Цель статьи – представить концепцию разработки ИТ-компонентов и компонентов безопасности, ориентированных на запросы клиента и современные инструменты разработки ПО, представить методику оценки затрат на разработку ИТ-компонентов. В таких информационных системах возрастает роль современных средств мониторинга программ, 3D-маркетинга, порождающего проектирования, машинного обучения, а инновационные процессы частично перекладываются на клиента за счет применения инструментов «low code».

### **Методика расчета совокупной стоимости владения**

В рамках применения общего экономического подхода можно применить методику расчета совокупной стоимости владения или стоимости жизненного цикла, которая используется для расчета экономического эффекта информационных систем (ИС).

Совокупная стоимость владения (от англ. total cost of ownership, TCO) – общая величина целевых затрат владельца с момента вступления в состояние владения до момента выхода из состояния владения и исполнения владельцем полного объема обязательств, связанных с владением.

При этом затраты разделяют на капитальные (постоянные) и операционные(косвенные) [1].

Опустим методику формирования косвенных расходов в отечественной и зарубежной практике. В данной статье будем рассматривать ключевые аспекты, определяющие все затраты, в первую очередь это места возникновения и бизнес-процессы.

Отталкиваться будем из постулата, что система информационной безопасности (СИБ) должна соответствовать следующим принципам:

- должна быть прозрачной для администратора системы по ключевым показателям, охватывающим как объекты, так и процессы, события и их динамику вовлеченности в различные процессы;
- затраты на внедрение и поддержку СИБ не должны превышать потенциальные потери от возможных нарушений безопасности;
- пользователь имеет доступ только к тем функциям и данным, которые необходимы для выполнения его задач для снижения рисков несанкционированного доступа и злоупотребления;
- СИБ должна быть удобной и интуитивно понятной для пользователей;
- СИБ должна иметь механизмы для быстрого отключения или обхода в случае чрезвычайных ситуаций и сбоев;
- СИБ обеспечивает безопасность всех компонентов и данных, используемых в процессе обработки информации, включая серверы, сети, базы данных и приложения;

- разработчики СИБ не имеют привилегированного доступа и контроля над системой для исключения конфликта интересов [2, 3].
- Стоимостная составляющая системы защиты охватывает множество аспектов. Выделим в начале основные:
  - затраты на оборудование и программное обеспечение: установка и поддержка физической и логической инфраструктуры, таких как серверы, межсетевые экраны, антивирусные программы, криптографические системы, электронно-цифровая подпись;
  - затраты на персонал (администрирование и аудит);
  - затраты на обучение и осведомленность сотрудников. Помимо IT-специалистов, все сотрудники организации должны быть осведомлены о принципах и практиках информационной безопасности. Бездействие или неосторожное отношение к безопасности может привести к потерям, включая утрату данных, взлом системы или нарушение конфиденциальности. Обучение сотрудников включает проведение семинаров, разработку политик и процедур, а также постоянное напоминание о безопасности информации. Сюда же можно включить затраты на построение моделей психологического поведения сотрудников и методов противодействия нежелательным моделям поведения.
- на предотвращение рисков и потенциальных угроз. Ведение пассивной политики безопасности и недостаточные меры защиты могут привести к потере репутации, судебным искам и другим потери для компании и ее клиентов. При этом расходы на поддержание информационной безопасности не могут превышать возможный ущерб.
- упущенные возможности вследствие эксплуатации устаревшего ПО для обеспечения бизнес-процессов компании и ИБ. Как правило, компания не использует передовые разработки в области маркетинга, облачных технологий, боится передавать любую информацию минуя узкоспециализированный сервер.

### **Методика разработки и внедрения компонентов ИС и ИБ.**

Практические приемы разработки компонентов ИТ и обеспечения безопасности непосредственно связаны с бизнес-процессами предприятия, структурой компонентов ИБ и процессами создания программного обеспечения для функционирования бизнеса (рис.1).



Рис. 1. Методика разработки и внедрения компонентов ИС и ИБ

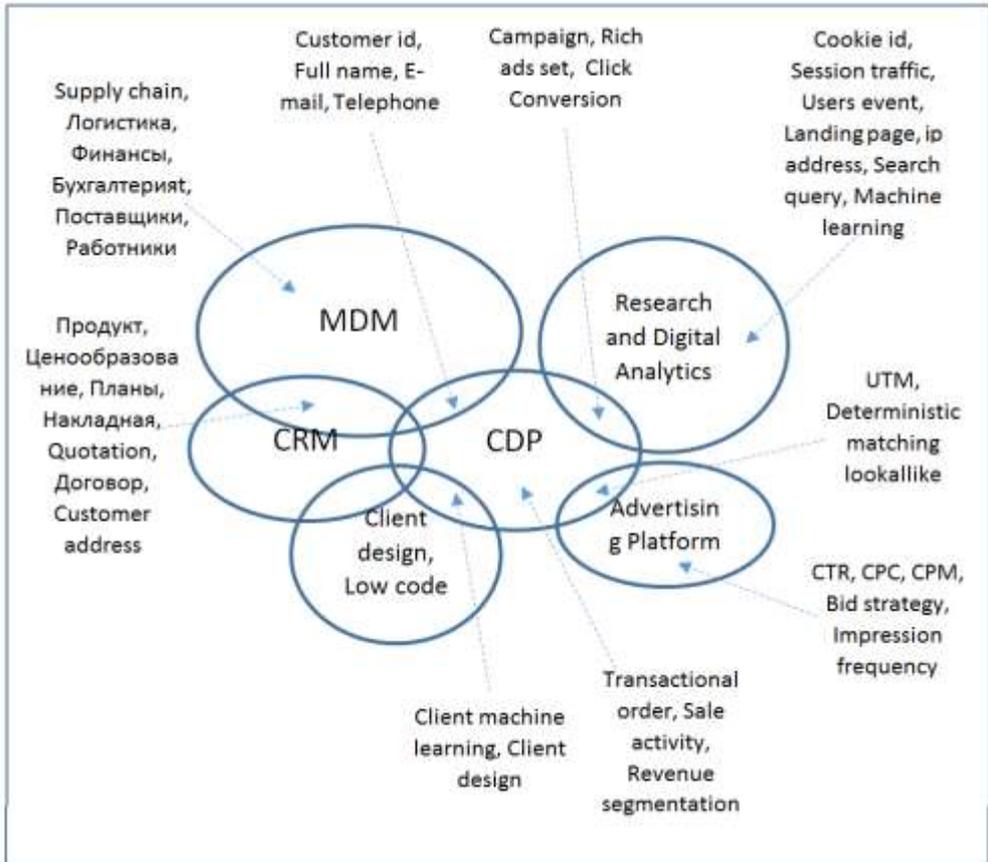


Рис. 2. Взаимосвязь модулей корпоративной ИС на основе схем Gartner

Развитие бизнес-процессов, ориентация их на клиентов приводит к изменениям подходов к разработке ИС [3, 4].

Развитие бизнес-процессов, ориентация их на клиентов, упрощение современных бизнес-процессов путем сокращения (выпадения) больших звеньев в виде физического обслуживания и транспортировки (за счет обработки информации через «облака», развития 3D-маркетинга, применения 3D-принтеров, автоматического конструирования в CAD), бурный рост именно автоматической (порождающего проектирования), а не автоматизированной разработки за счет машинного обучения приводит к изменениям подходов к разработке ИС [3, 4].

На текущем этапе основные перспективные области разработки ИС, выделенные Gartner, представлены на рис. 2.

На схеме видно появление новых названий модулей: CDP и MDM. Можно также выделить модули, связанные с клиентской разработкой требований к продукции и услугам. Например, на сайте компании.

При построении ИС необходимо учитывать:

- технологии хранения данных;
- логику построения бизнес-процессов;
- традиционные компоненты СИБ.

Технологии хранения предполагают:

- традиционные с использованием реляционных баз данных, которые построены на жестких правилах включения данных и соответствия таблиц, как правило без дублирования данных;
- новые большие хранилища сырой информации, работающие на современных технологиях разметки файлов, поиска внутри файла и архивирования. Допускают дублирование. Но его можно исключать для снижения издержек на хранение;
- нереляционные базы данных, в простом варианте в виде словарей для хранения информации в кэше;

Технологии хранения и бизнес-процессы вместе определяют разбивку комплексной ИС на специализированные модули и соответственно состав ИС, методологию проектирования модулей ИС (последовательность и приемы).

Рассмотрим наиболее критичные модули ИС, непосредственно связанные с клиентом.

Система управления мастер-данными MDM (Master Data Management System) используется в целях создания «золотой записи», то есть целостного и всестороннего представления о мастер-сущности и ее взаимосвязях, эталона мастер-данных, который используются всем предприятием, а иногда и между предприятиями для упрощения обмена информацией. Мастер-данные – это базовые данные, которые определяют бизнес-сущности (клиенты, поставщики, продукция, услуги, договора, счета), с которыми имеет дело предприятие.

Например, MDM-системы облегчают работу практически всех служб и отделов предприятия, как клиентских, так и производственных, финансовых.

MDM позволяет:

- повысить качество данных, исправить ошибочные и устаревшие записи, связанные с клиентами, сотрудниками, поставщиками, удалять дубликаты данных;
- упорядочить хранение клиентских данных;
- поднять уровень доверия к данным у руководства и улучшить качество принимаемых решений.
- унифицировать данные вместо применения разрозненных ИС.

Недостатки MDM сказываются на работе маркетологов, специалистов по работе с клиентским опытом, аналитиков и других сотрудников, отвечающих за рост и развитие компании [5].

MDM полагается на высокий уровень достоверности, порядка 90% и предполагает, что данные принадлежат конкретному человеку [5].

MDM-системы имеют дело с «твердыми» данными (транзакционными или справочными) и не включают в себя «мягкие» (например, на основе файлов cookie и IP-адреса) идентификаторы.

MDM обычно работают на реляционных базах данных SQL, что ограничивает маркетологов, поскольку это означает возможность работы только со структурированными данными и недопустимость обработки больших объемов неструктурированных данных.

MDM-системы не позволяют использовать данные для решения маркетинговых задач, например, для сбора информации о всех взаимодействиях, извлечения полезной информации из большого объема неструктурированных данных заказчиков для проведения аналитики.

CDP (Customer Data Platform) - платформа, которая действует как центр управления клиентскими данными внутри компании для повышения эффективности их использования.

CDP создана для обработки клиентских данных либо сырых неструктурированных данных компании по различным бизнес-процессам (сырье, исследования, технологии).

Для вовлечения использования сырых данных внутри компании необходима связь CDP с MDM.

Маркетинг и другие клиентские подразделения являются бизнес-заказчиками именно CDP для своих бизнес-процессов. Поэтому крупные компании обязательно инвестируют в CDP.

CDP позволяют:

- объединить все данные о клиентах в системах и источниках в режиме реального времени и обеспечивают полное, целостное представление о клиентах для команд роста или пользователей специфичных бизнес-процессов. В этом случае не требуется ожидать выгрузок списков для анализа и активации сегментов;
- использовать прогнозные модели и гипотезы для проведения эксперимента с большим набором данных;
- применять персонализированный маркетинг для целевой аудитории. Маркетологам важно доверие и практичность при использовании клиентских данных, уверенно доставлять сообщения на протяжении всего жизненного цикла клиента;
- активировать клиентские данные в любое время в режиме реального времени.
- монетизировать и обмениваться обезличенными данными о клиентах. Данная функция реализуется на биржах информации, где присутствуют собственники таких массивов информации.

Когда MDM-система и CDP-платформа используются вместе обе технологии могут друг друга дополнять.

Совместное использование MDM и CDP позволяет маркетологам объединять профили пользователей и устранять дублирование данных (адресов электронной почты, телефонных номеров, логинов, ников в социальных сетях).

Также с развитием инструментов Low code клиенты получают возможность использовать инструменты дизайна и машинного обучения (рис. 2).

### **Разработка компонентов СИБ**

К традиционным компонентам СИБ также относятся:

- ПО, ограничивающее доступ по сети (межсетевые фильтры), антивирусы;
- общие системы мониторинга инфраструктуры.
- Для мониторинга работы ИС предприятия применяются:
  - средства мониторинга бизнес-процессов и процессов работы основных программ, которые предоставляют широкие возможности для обеспечения ИБ и повышения эффективности бизнес-процессов (по времени, затратам, гибкости);
  - системы мониторинга отдельных приложений.

К общим системам мониторинга инфраструктуры относится, например, универсальный инструмент Zabbix, который способен отслеживать динамику работы серверов и сетевого оборудования, собирать статистику для оптимизации их работы, реагировать на внештатные ситуации, предупреждать проблемы с нагрузкой. Архитектура Zabbix включает четыре основных инструмента, позволяющих мониторить определенную рабочую среду:

- сервер - ядро, хранящее в себе все данные системы, включая статистические, оперативные и конфигурационные. Дистанционно управляет сетевыми сервисами, оповещает администратора о возникающих проблемах с оборудованием, находящимся под наблюдением;

- прокси-сервис, работающий от имени сервера и собирающий данные о доступности и производительности устройств. Данные при этом сохраняются в буфер и загружаются на сервер в отдельную БД (MySQL, PostgreSQL, SQLite или Oracle). Прокси-сервис необходим для снижения нагрузки на сервер, на процессор и на жесткий диск;
- агент - программа (демон), которая активно отслеживает работу локальных ресурсов (накопителей, оперативной памяти, процессора) и приложений и собирает статистику по ним. Отражение текущего состояния физического сервера осуществляются Zabbix-агентом при помощи таких метрик, как загруженность ядра (Processor load), время ожидания ресурсов (CPU io wait time), объем системы подкачки (Total swap space).
- веб-интерфейс, который является частью сервера системы и часто запускается на том же физическом узле, что и Zabbix.

Функционал Zabbix включает в себя общие проверки для наиболее распространенных сервисов - СУБД, SSH, Telnet, VMware, NTP, POP, SMTP, FTP. Если стандартных настроек системы недостаточно, их можно изменить самостоятельно или же пользоваться дополнением через API. Также к стандартным функциям системы относятся: контроль нагрузки на процессор - касается и общих, и отдельных процессов; сбор данных об объеме свободной оперативной и физической памяти; мониторинг активности жесткого диска и мониторинг сетевой активности; пинг для проверки доступности узлов в сети.

У проверок есть заданные шаблоны (Templates), которые упрощают создание новых вычислений. Есть несколько типов шаблонов - стандартизированные шаблоны для сетевых устройств, настройка шаблонов HTTP, настройка шаблонов IPMI, настройка шаблонов ODBC.

Для обработки данных в Zabbix используются триггеры - логические выражения со значениями FALSE, TRUE и UNKNOWN, которые можно создать вручную и протестировать на произвольных значениях перед использованием. У каждого триггера существует уровень серьезности угрозы, который маркируется цветом и передается звуковым оповещением в веб-интерфейсе.

В качестве примера мониторинга конкретного приложения рассмотрим мониторинг приложения Spring Boot с помощью Actuator, Micrometer, Prometheus и Grafana.

Как правило мониторинг с помощью Spring Boot Actuator внедряется в систему из нескольких приложений (микросервисов).

Например, это может быть система, включающая доступ к конечным точкам (http-адреса) по протоколу HTTP или JMX относительно универсального пути ресурса (URI) «/actuator». Например, это могут быть микросервисы:

- резервирования, которые состоят из общедоступных API для управления рабочими процессами резервирования;
- сама служба резервирования (основная база данных и стационарное ПО).

В Spring Boot Actuator можно видеть не только информацию о работоспособности (здоровье) приложения, но и о работоспособности инфраструктуры, например, MongoDB и Rabbitmq, поскольку они настроены автоматически.

Метрики Spring Boot Actuator включают:

- Метрики JVM, использование отчетов;
- Различные пулы памяти и буферов;
- Статистика, связанная со сборкой мусора;
- Использование потоков;
- Количество загруженных (выгруженных) классов;
- Метрики ЦП;

- Метрики файлового дескриптора;
- Метрики Logback: количество событий, зарегистрированных в Logback на каждом уровне журнала;
- Метрики времени безотказной работы: отчет о датчике времени безотказной работы и фиксированном датчике, представляющем абсолютное время запуска приложения;
- Метрики встроенного сервера Tomcat
- Метрики интеграции Spring
- Метрики MVC Spring
- Метрики Spring Webflux
- Метрики RestTemplate.

Spring Boot Actuator позволяет выполнять не только корпоративный мониторинг, но и визуализацию данных, однако ее нужно строить с нуля. Actuator обеспечивает управление зависимостями и автоматическую настройку Micrometer. Микрометр - библиотека поддержки метрик для приложения JVM поддерживает множество инструментов мониторинга, таких как Atlas, Datadog, Graphite, Prometheus и других., позволяет собирать информацию о памяти JVM, сборка мусора, диске.

Также Micrometer предоставляет «независимые от поставщика интерфейсы для таймеров, датчиков, счетчиков, сводок распределения и таймеров длительных задач с многомерной моделью данных, которая в сочетании с системой мониторинга измерений обеспечивает эффективный доступ к конкретной именованной метрике с возможностью детализации по ее измерениям».

Работа с многострочными трассировками стека Java. Многострочные события (трассировки стека) записывается в вывод журнала Spring Boot JSON, Promtail, а также многие другие парсеры, а потом отправляются в Loki.

Loki - система агрегации логов, отвечающая за хранение логов и обработку запросов. Loki спроектирован для простоты реализации в соответствии с принципами:

- простой старт;
- малое потребление ресурсов;
- отсутствие специального обслуживания;
- является дополнением к Prometheus для помощи в расследовании багов(ошибок)

Простота достигается за счет отсутствия индексации контента.

Индексируются только метаданные (labels). Сами данные затем сжимаются и сохраняются фрагментами (chunks) в различных файловых хранилищах (S3, GCS) или в файловой системе.

В результате поиск по тексту не такой эффективный, нет статистики по содержимому текста. Так как Loki является аналогом gher и дополнением к Prometheus, то эти недостатки несущественны, так как за счет сжатия достигается экономия в разы по сравнению с ELK, за использование которого к тому же необходимо платить огромные лицензионные сборы [6, 7].

В результате получаем комплексную систему мониторинга на уровне процессов работы программы, а также внешних физических объектов (для контроля безопасности отдельных объектов и инфраструктуры в целом).

Для удобства интерпретации получаемой от Spring Boot Actuator текстовой информации могут применяться Prometheus и Grafana, чтобы легко делать выводы из генерируемых данных.

Prometheus — это инструмент мониторинга с открытым исходным кодом, разработанный SoundCloud. Grafana — это открытая платформа для визуального мониторинга и аналитики данных временных рядов.

Источник данных Prometheus настраивается, чтобы можно было получать данные из Prometheus для отображения их в пользовательском интерфейсе.

Для мониторинга можно добавить и предварительно настроить свои панели (дашборды) для визуализации работоспособности наших приложений, а именно:

- Микрометр Java Щиток;
- Статистика Spring Boot;
- Производительность Spring.

Таким образом, мы располагаем необходимой инфраструктурой для выполнения корпоративного мониторинга нашего приложения.

Теперь мы будем моделировать нагрузку, состоящую из всех 3 вызовов API -

1. Сохранить бронирование
2. Получить все бронирования
3. Получить конкретное резервирование

Можно моделировать нагрузку с помощью Apache Bench, который обеспечивает более точный контроль с точки зрения тестирования производительности и бенчмаркинга. Таким образом, получается полноценный стенд для испытания работы микросервисов.

Если метрики начинают «сыпаться», срабатывают алерты (сообщения).

SRE-команды (программисты, отвечающие за функционирование сервисов) опираются на «бюджет ошибки» - допустимый период, в течение которого связанные сервисы могут работать ниже целевых уровней. С помощью бюджета можно измерять серьезность инцидентов. Если, например, инцидент истратил 30% бюджета, его можно считать серьезным. Это помогает SRE-инженерам не отвлекаться на неважные проблемы, которые регулярно возникают даже в самых оттестированных проектах.



Рис. 3. Методика расчета затрат на внедрение СИБ

В свою очередь, работа системы мониторинга предполагает затраты на формирование и контроль метрик - работу серверов метрик. Затраты зависят от объема и качества метрик в единицу времени, то есть нагрузки на сервер.

Grafana Cloud, например, позволяет получить разбивку по использованию ежемесячных метрик и связанных с этим затрат.

Часто клиенты планируют свои расходы на наблюдение в зависимости от общих расходов на ИТ (< 10%) в качестве базового показателя.

Можно отслеживать количество временных рядов с определенной меткой или набором меток, примененных с течением времени, чтобы понять, какой вклад вносят различные команды, среды или приложения в общее количество рядов. Получая эти данные в виде временных рядов, можно определить на панели мониторинга Grafana, как изменение метрик в определенный момент времени приводит к изменению бюджета по основным расходам. Методика расчета затрат приведена на рис.3.

Таким образом можно выявлять и неиспользуемые метрики с целью определенной работы с ними для уменьшения затрат. Опыт показывает, что можно сократить объем временных рядов на 20–50 %. Машинное обучение позволяет строить постоянно совершенствующиеся модели реагирования приложений, в том числе на основе набора алгоритмов машинного обучения[ 8 ]. Описанная схема построения ИТ-компонентов и компонентов СИБ представлена на рис.4 на примере системы резервирования заказов. Контроль бизнес-процессов компании осуществляется за счет использования брокера сообщений, парсеров, логов информации и ее анализа с помощью машинного обучения.

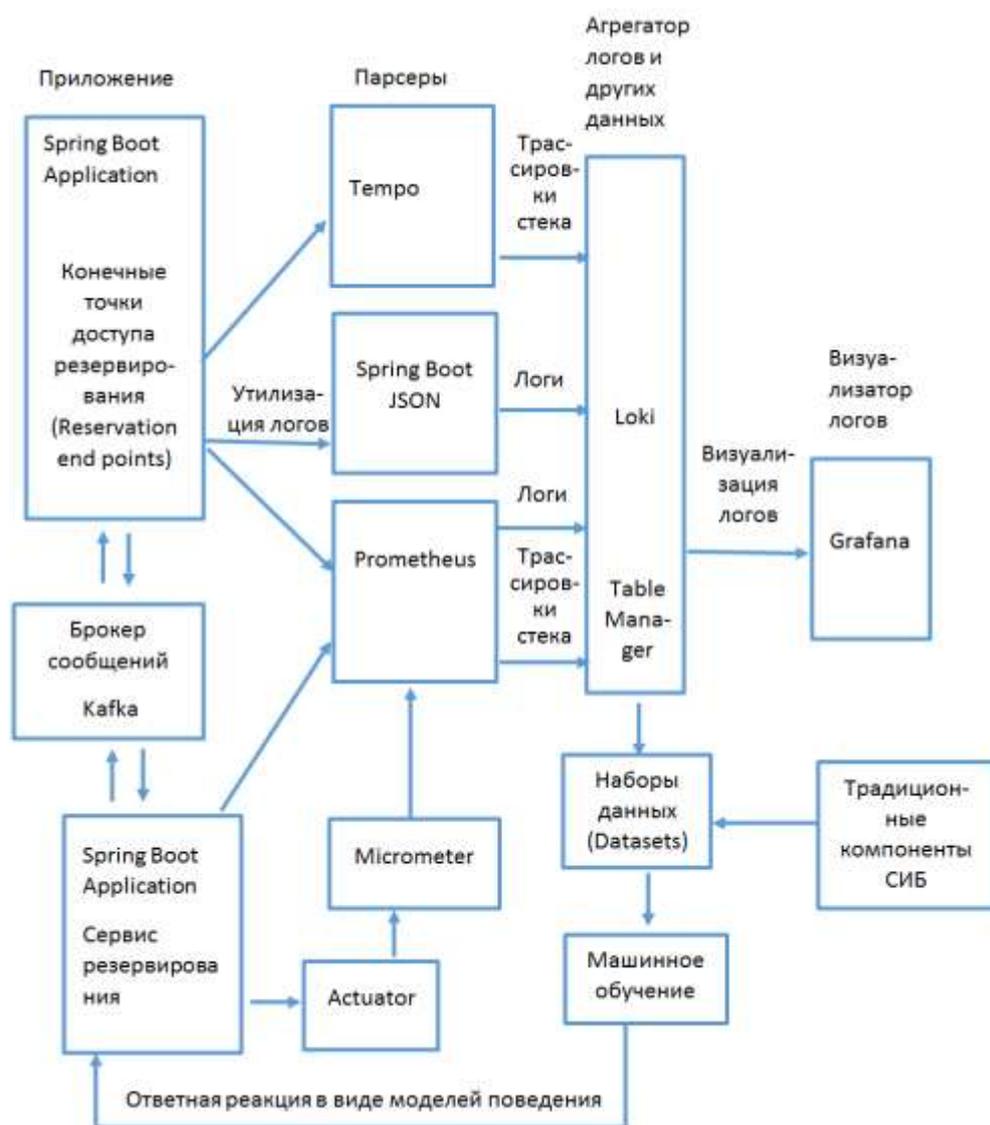


Рис. 4. Комплексная система мониторинга на основе Loki-Grafana в системе резервирования заказов

### Заключение

Бизнес-процессы на практике конструируют в рамках IT-систем, которые являются основным средством автоматизации управления предприятием. IT-системы строятся по модульному принципу. При этом бизнес-процессы предприятия постоянно меняются, совершенствуются, появляются новые современные инструментальные средства разработки ПО. При разработке бизнес-процессов и реализующей их информационной системы необходимо учитывать комплексное развитие с учетом встраивания компонентов системы информационной безопасности.

Предложенная концепция разработки компонентов СИБ позволяет учесть основные запросы клиентов с точки зрения управления стоимостью компонентов ИБ и гибкости бизнес-процессов. Это обеспечивается во многом разработанной методикой создания и внедрения компонентов ИС и ИБ. За основу был взят

стратегический подход к развитию бизнес-процессов с учетом всех основных элементов менеджмента бизнес-процессов (цепочка поставок, маркетинг, реклама).

Уменьшение затрат на компоненты системы безопасности в разы становится возможным как за счет правильного проектирования бизнес-процессов, так и ориентации на сжатие данных, использование современных файловых хранилищ, open source компонентов и машинного обучения. Машинное обучение позволяет обеспечить дополнительную гибкость для осуществления постоянного во времени совершенствования бизнес-процессов предприятия.

#### Список литературы:

1. DDudko. Подходы к расчету совокупной стоимости владения и эксплуатации комплексных систем безопасности. Блог компании ГК ЛАНИТ. - 20 июля 2021. - <https://habr.com/ru/companies/lanit/articles/566598/> (дата обращения 18.01.2024).
2. Кислова Д.А., Аветисян Т.В. Стоимостные аспекты информационной безопасности. XVI Международная студенческая научная конференция «Студенческий научный форум – 2024». - <https://scienceforum.ru/2024/> (дата обращения 18.01.2024).
3. Фирсов М.В. Концепция создания ERP-систем / М.В. Фирсов. - М.: ТЕИС, 2004. - 93 с.
4. Фирсов М.В. Роль 3D-маркетинга в конструировании бизнес-процессов./ М.В. Фирсов // Маркетинговые коммуникации. - 2016.- №3.- С.164–172.
5. Cleverdata\_team. MDM и CDP: различия систем. Как сделать выбор. - 12 дек 2023. - <https://habr.com/ru/companies/lanit/articles/776862/> (дата обращения 18.01.2024).
6. Grafana Loki - Как хранятся данные. - APRIL 11, 2023. - <https://tipoit.kz/how-loki-stores-data> (дата обращения 18.01.2024).
7. MaxRokatansky. Loki — сбор логов, используя подход Prometheus. - 5 фев 2020. - <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/487118/> (дата обращения 18.01.2024).
8. Л. Ф. Тагирова, Н. Г. Семенова Проектирование адаптивных пользовательских интерфейсов интеллектуальных обучающих систем на основе нейросетевых технологий/ Н. Г. Семенова //Информационные технологии. – 2023. - №9. - С. 473–484.

#### References:

1. DDudko. Podhodi k raschetu sovokupnoi stoimosti vladenija i ekspluatatsii kompleksnih sistem bezopasnosti. Blog kompanii GK Lanit [approaches to calculating the total cost of ownership and operation of integrated security systems. Blog of the LANIT Group of Companies]. Available at: < <https://habr.com/ru/companies/lanit/articles/566598/> > (accessed 18.01.2024).
2. Kislova D.A., Avetisan T.V. Stoimostnii aspekti informatsionnoi bezopasnosti [Cost aspects of information security]. XVI International Student Scientific Conference “Studencheskij nauchnij forum” [Student Scientific Forum – 2024]. Available at: < <https://scienceforum.ru/2024/> > (accessed 18.01.2024).
3. Firsov M.V. Kontseptsiya sozdaniya ERP-sistem [The concept of creation of ERP-systems]. Moscow, TEIS, 2004, 98 p.
4. Firsov M.V. Rolj 3D-marketinga v konstruirovanii biznes-processov [The role of 3D marketing in business process design]. Journal of Marketing communications. 2016, no 3, pp. 164–172. (In Russ).
5. Cleverdata\_team. MDM и CDP: raslichia system. Kak sdelatj vibor [MDM and CDP: system differences. How to make a choice]. Available at: < <https://habr.com/ru/companies/lanit/articles/776862/> > (accessed 18.01.2024).
6. Grafana Loki - kak hranjatsja dannii [Grafana Loki - How data is stored]. Available at: < <https://tipoit.kz/how-loki-stores-data> > (accessed 18.01.2024).
7. MaxRokatansky. Loki – sbor logov, ispolzuja podhod Prometheus [Loki - collecting logs using the Prometheus approach]. Available at: <<https://habr.com/ru/companies/otus/articles/487118/>> (accessed 18.01.2024).

8. L. F. Tagirova, N.G. Semenova. Proektirovanije adaptivnih poljzovateljskih interfeisov intellektualjnih obučajushih system na osnove neirosetevih tehnologii [Designing adaptive user interfaces for intelligent learning systems based on neural network technologies]. Journal of Information technology. 2023, no 9, pp. 473–484. (In Russ).

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

<b>Фирсов Михаил Владимирович</b> , профессор, д.э.н., ведущий инженер-программист АО «Теплоэнерго», 603086, г. Нижний Новгород, б-р Мира, д. 14	<b>Michail V. Firsov</b> , Ph.D. in Economic Science, Professor, Doctor of Economics, Leading Software Engineer of JSC Teploenergo, 603086, Nizhny Novgorod, Mira Boulevard, 14
---	--

Статья поступила в редакцию 15.02.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 15.02.2024; published online 20.06.2024.

УДК656.6

DOI: 10.37890/jwt.v79.486

## **Системный подход к поставкам нерудных строительных материалов на речном транспорте**

**В.В. Цверов**<sup>1</sup>

*ORCID: 0000-0003-0835-4615*

**О.Л. Домнина**<sup>1</sup>

*ORCID: 0000-0002-9098-313X*

**Д.И. Мамедов**<sup>1</sup>

**У. Герби**<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** В представленном исследовании с системных позиций описан процесс добычи и поставки нерудных строительных материалов на речном транспорте. В ходе исследования для системы добычи и поставки нерудных строительных материалов были разработаны функциональная и организационные модели обобщенного предприятия речного транспорта, а также несколько организационных моделей входящих в нее следующих функциональных подсистем: предпроизводственной, добычи и производства нерудных строительных материалов, управления поставками, планирования, материально-технического обеспечения. Особое внимание отводится исследованию предпроизводственного этапа логистического процесса добычи и производства этих материалов. Системный подход позволил выявить, что в настоящее время наиболее слабым звеном в поставках нерудных строительных материалов речным транспортом является отсталая техническая база производства и перегрузки нерудных строительных материалов. Это связано с тем, что обновление добывающей техники затруднено с одной стороны, практическим отсутствием ее производства отечественными предприятиями, а с другой стороны, санкционными ограничениями зарубежных поставок. Это влияет на себестоимость и качество поставляемых нерудных строительных материалов; экологические процессы, сопровождающие процесс добычи. Дополнительно слабое развитие цифровых технологий при взаимодействии с клиентами оказывает влияние на управление поставками в целом, а отсутствие научно-обоснованной системы управления запасами в процессе круглогодичной добычи и поставки сказывается на уровне сервиса и стоимости поставок.

**Ключевые слова:** речной транспорт, нерудные строительные материалы, системный подход, добыча и производство, система производства и поставки, функциональная и организационные модели.

## **A systematic approach to the supply of non-metallic construction materials on river transportation**

**Vladimir V. Tsverov**<sup>1</sup>

*ORCID: 0000-0003-0835-4615*

**Olga I. Domnina**<sup>1</sup>

*ORCID: 0000-0002-9098-313X*

**D.I. Mamedov**<sup>1</sup>

**Usami Gerbi**

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

**Abstract:** In the presented study, the process of extraction and supply of non-metallic building materials on river transport is described from a systematic point of view. In the course of the study, functional and organizational models of a generalized river transport enterprise were developed for the system of extraction and supply of non-metallic building materials, as well as several organizational models of the following functional subsystems included in it: pre-production, extraction and production of non-metallic building materials, supply management, planning, logistics.

Special attention is paid to the study of the pre-production stage of the logistic process of extraction and production of these materials. A systematic approach has revealed that currently the weakest link in the supply of non-metallic building materials by river transport is the backward technical base of production and transshipment of non-metallic building materials. This is due to the fact that the modernization of mining equipment is hampered, on the one hand, by the practical lack of its production by domestic enterprises, and, on the other hand, by sanctions restrictions on foreign supplies. This affects the cost and quality of non-metallic construction materials supplied; environmental processes accompanying the extraction process. Additionally, the weak development of digital technologies in interaction with customers has an impact on supply management in general, and the lack of a scientifically based inventory management system in the process of year-round production and supply affects the level of service and cost of supplies.

**Keywords:** river transport, non-metallic building materials, systems approach, mining and production, production and supply system, functional and organizational models.

### **Введение**

Перевозка нерудных строительных материалов (НСМ) и поставка части из них – в основном речного песка, песчано-гравийной смеси и обогащенной песчано-гравийной смеси на речном транспорте являются одними из основных видов деятельности. «Доля НСМ на рынке транспортных услуг по перевозке грузов речным транспортом составляет около 60%» [1]. Доходы отдельных речных портов до 90% от их общего объема могут формироваться от поставок НСМ [2].

Производство НСМ может обеспечиваться посредством добычи из сухих карьеров и добычи из обводненных месторождений (со дна рек, озер, водохранилищ). В первом случае речной транспорт является одним из звеньев цепи поставки, выполняя функцию перевозки по внутренним водным путям, а во втором – обеспечивает весь логистический процесс поставки (добычу и доставку).

На рынке поставок НСМ кроме предприятий речного транспорта поставки НСМ осуществляет большое количество других поставщиков. В этих условиях поставщикам, добывающим НСМ из обводненных месторождений в акваториях речных бассейнов (в силу этого имеющим специфику производства НСМ), приходится конкурировать, не только между собой, но и с поставщиками, добывающими НСМ из сухих карьеров.

Анализ рынка поставок НСМ на речном транспорте проведенный авторами 2018, 2021 и 2023 годах позволил выявить, что «к конкурентным факторам при их поставках относятся: цена; возможность выполнять поставщиком набора, связанных с поставкой логистических операций; варианты и стоимость доставки; географическое расположение клиента поставщика; формы оплаты; способы получения информации; сроки поставки; обеспечение доставки точно в срок; качество НСМ» [3].

Отдельные аспекты поставок (в основном доставка и организация добычи) НСМ предприятиями речного транспорта широко исследовались в условиях плановой экономики такими учеными, как А.Н. Аляев, А.М. Быков, Н.И. Ильин, А.А. Кичигин, А.Г. Прохоров, Е.С. Сидорок, Н.В. Силин и др.

В рыночных условиях в этой области следует отметить труды Н.В. Бажан, В.Н. Кострова, Е.Е. Котова, Е.Н. Лоскутова, М.А. Матюгина, Н.М. Суховой, А.И. Телегина и др.

Вопросы организации доставки (в том числе сроков доставки) рассматриваются в большом количестве научных публикаций такими авторами, как А.И. Телегин, А.О. Ничипорук, О.Л. Домнина [4, 5], А.В. Галушкин, А.Ю. Самарина, Р.Я. Вакуленко [6], В.А. Кноль [7].

Вопросы добычи и обогащения детально изучались в период плановой экономики в диссертационных работах, в частности: А.Н. Аляев исследовал вопросы гидроклассификации и погрузки нерудных строительных материалов землесосными установками [8]; Н.В. Силина исследовала вопросы переработки и доставки нерудных строительных материалов до складов потребителей [9]. В современных условиях исследования в этом направлении продолжаются: Е.С. Жендаревой рассматриваются различные транспортно-логистические системы добычи и доставки нерудных строительных материалов [1, 10, 11], Е.Н. Лоскутовым оценивается эффективность совмещения дноуглубительных работ на судовом ходу с добычей нерудных строительных материалов [12].

Увязка всего процесса добычи и доставки в единый логистический процесс поставки НСМ нашла отражение лишь в небольшом количестве исследований. Так, А.А. Лисиным в работе [2] рассматриваются логистические подходы к управлению поставкой нерудных строительных материалов в речных портах (в части отражения обеспечения доставки по принципам «от двери до двери» и «точно в срок»); М.А. Матюгин в диссертационном исследовании рассматривает управление ресурсами речных портов при поставке нерудных строительных материалов [13].

Следует отметить, что в исследованиях поставка НСМ на речном транспорте, в силу принадлежности к транспортной отрасли, рассматривается в основном как перевозка с предварительной добычей перевозимого груза. Не отражается сама сущность экономического понятия поставки (продажи продукции одним предприятием другому с гарантированием соответствия качества этой продукции, оговоренным в договоре поставки требованиям). При этом доставка этой продукции может и не входить в состав обязательств поставщика по конкретному договору поставки.

Справедливости ради, надо отметить, что в отдельных статьях отмечается необходимость обеспечения качества поставляемого НСМ [4, 14], рассматриваются вопросы информационного взаимодействия с клиентами при поставках НСМ речным предприятием, стоимости поставки [15, 16, 17], но комплексного (системного) рассмотрения поставок НСМ речным транспортом нет.

Из сказанного следует целесообразность всесторонне исследовать поставки НСМ предприятием речного транспорта. Поэтому целью данной работы является систематизация имеющейся информации с позиций системного подхода по работе предприятия речного транспорта, занимающегося добычей и поставкой НСМ.

В рамках достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- составить функциональную модель производства и поставок НСМ предприятия речного транспорта;
- детально рассмотреть процессы различных этапов организационной модели производства и поставок НСМ предприятиями речного транспорта.

### **Материалы и методы**

Для комплексного исследования процесса производства и поставки НСМ был использован системный подход. На его основе разработана логистическая система производства и поставки НСМ на предприятии речного транспорта. Это позволит учесть все этапы рассматриваемого процесса и все взаимосвязи, как внутренние между подсистемами, так и внешние с деловыми партнерами и институциональными организациями.

## Результаты

Логистический процесс поставки НСМ на речном транспорте тесно связан с их производством и во многих случаях неразрывен. Например, при добыче плавучим краном необогащенного песка из обводненного месторождения, выполняемого при отгрузке в судно клиента захват грейфером песка со дна водоема относится к операции добычи (производства), а раскрытия грейфера (высыпка НСМ в трюм судна) к операции поставки – отгрузке покупателю. Поэтому для изучения и управления процессом поставки НСМ на речном транспорте разработана функциональная модель логистической системы, объединяющей производство и поставку НСМ (рис.1).

Разработанная логистическая система включает в себя взаимосвязанные подсистемы:

- предпроизводственную;
- добычи и производства НСМ;
- управления поставками;
- планирования;
- материально-технического обеспечения.

Она имеет связи с логистическими партнерами:

- клиентами (заказчиками НСМ);
- транспортными компаниями;
- поставщиками материальных ресурсов;
- поставщиками добывающего и обогатительного оборудования;
- поставщиками транспортных средств;
- банками, страховыми и лизинговыми компаниями.

Кроме того, система добычи и поставки НСМ связана с различными институциональными организациями:

- территориальными подразделениями государственной комиссии по запасам (ТКЗ);
- Министерством экологии и природных ресурсов области (республики и т.п.);
- Федеральным агентством морского и речного транспорта (Росморречфлотом);
- Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзором);
- Федеральным агентством по недропользованию (Роснедра).

**Предпроизводственная подсистема.** В публикациях по добыче и поставкам НСМ на речном транспорте предпроизводственный этап не нашел отражения. При этом качество НСМ, себестоимость добычи, обогащения и поставки во многом зависят от этапа, предшествующего производству: качество НСМ – во многом определяется месторождением; трудоемкость добычи и обогащения – зависит от характеристик месторождения; затраты на поставку зависят от места расположения месторождения. Это обуславливает необходимость детального рассмотрения процессов предпроизводственного этапа и разработки организационной модели предпроизводственной подсистемы производства и поставок НСМ организациями речного транспорта (рис.2).

Перед добычей НСМ из речных месторождений необходимо проведение различных изыскательских работ. Например, геодезических, гидрологических, геологических и прочих.

Так, геодезические работы проводятся для уточнения границ месторождения, объемов запасов НСМ посредством русловых съемок и изысканий (топографических и промерных), съемки береговой полосы и водоемов для контроля деформационных процессов.

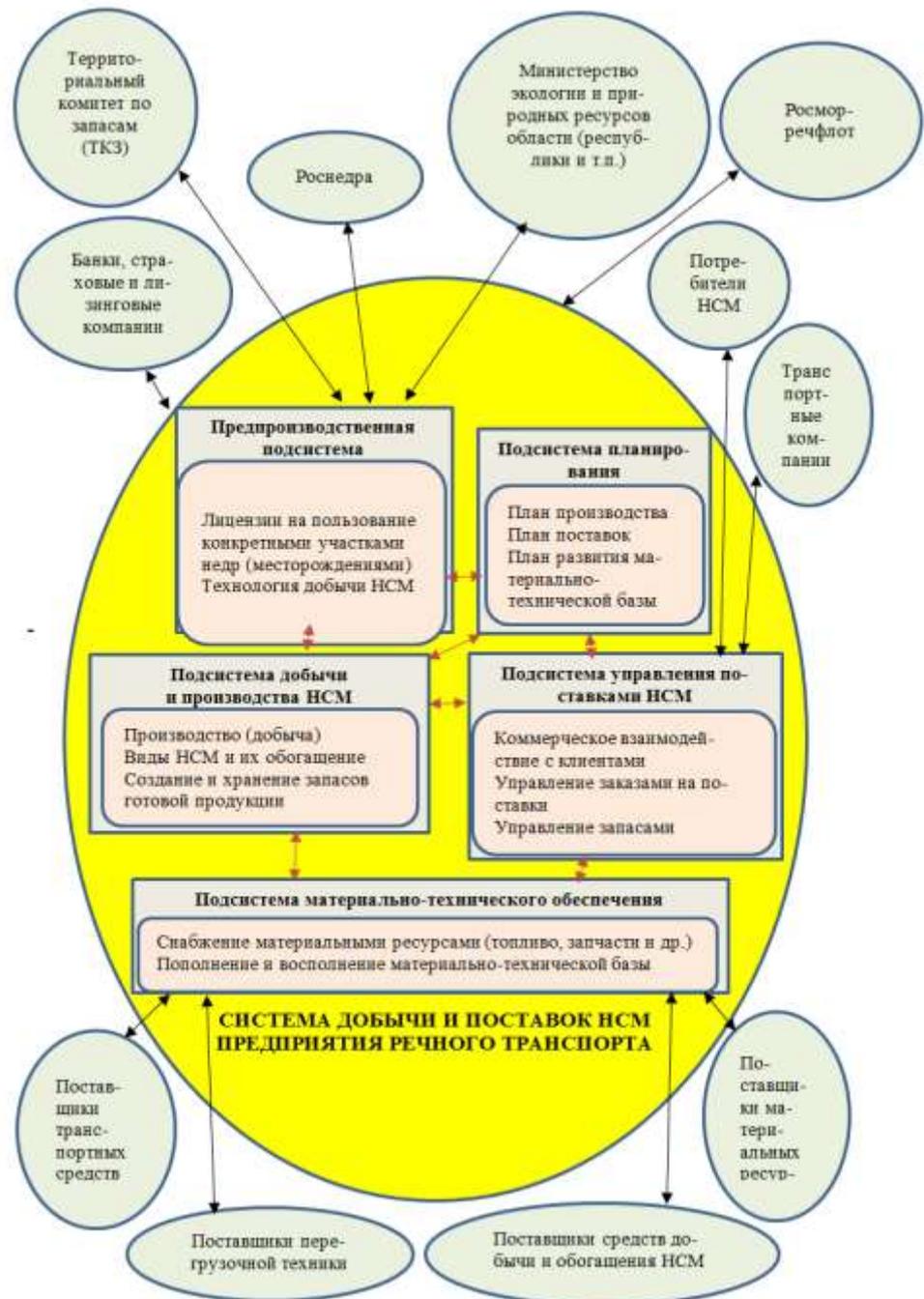


Рис. 1. Функциональная модель производства и поставок НСМ предприятия речного транспорта

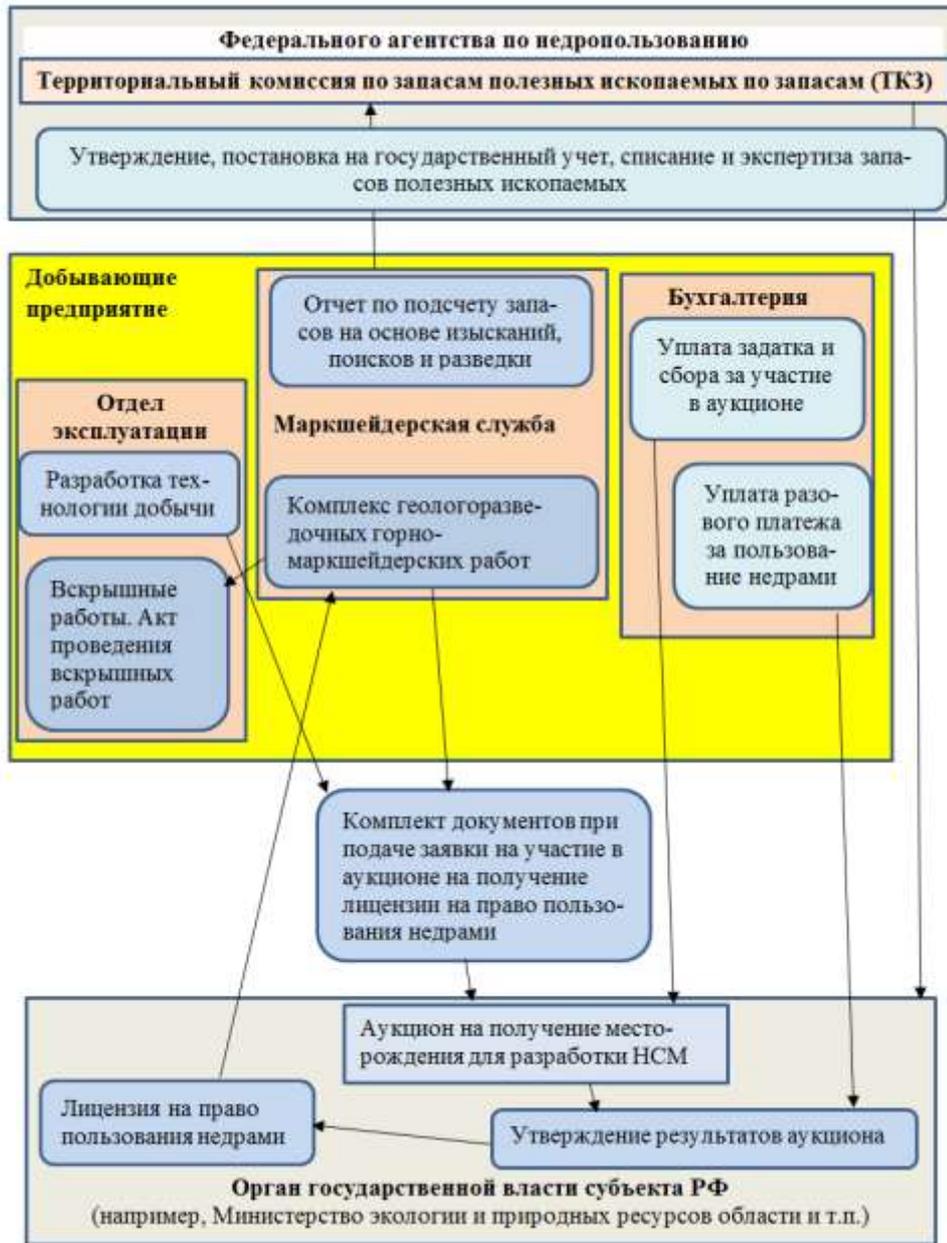


Рис. 2. Организационная модель предпроизводственной подсистемы производства и поставок НСМ предприятия речного транспорта

Для определения качества и объемов запасов полезных ископаемых проводятся геологические работы.

Гидрологические работы проводятся с целью наблюдения за уровнями воды, направлениями и скоростями течения, а также исследования русловых деформаций. В ходе их проведения замеряются расходы воды и наносов; волнения.

Все указанные выше предварительные работы (геодезические, топографические) выполняются с целью исследования рельефа дна в предполагаемом месте добычи и прилегающей к нему береговой полосы.

Проведение изыскательских работ финансируется недропользователем.

После геологоразведочных работ утверждаются запасы месторождения, направляются в территориальный комитет по запасам (ТКЗ) [18]. Оформление, государственная регистрация и выдача лицензий на пользование недрами осуществляются федеральным органом управления государственным фондом недр, его территориальными органами и подведомственными ему государственными казенными учреждениями, а лицензий на пользование участком недр местного значения - уполномоченным органом исполнительной власти соответствующего субъекта Российской Федерации [19].

Для получения лицензии необходимо сформировать комплект документов (заявку; прилагаемые документы; копия свидетельства о регистрации предприятия с выпиской из устава; краткую пояснительную записку с соответствующими приложениями; ситуационный план с нанесением планируемых для разработки площадей месторождения; топографический план; продольные и поперечные геологические разрезы; согласованное выполнение требований законодательства РФ по охране недр и окружающей природной среды, безопасному ведению работ, а также по платежам за право пользования недрами) [19]. После рассмотрения документов уполномоченным представителем комитета РФ по геологии и использованию недр и органа государственной власти субъекта РФ выдается лицензия. Лицензия в подавляющем числе случаев выдается по аукциону [20].

Расходы по предпроизводственному этапу являются важной составляющей общих расходов по добыче НСМ. Они складываются из затрат на:

- уплату разового платежа за пользование недрами по лицензии;
- изыскания, подсчет запасов;
- проектные работы;
- геологическое и маркшейдерское обеспечение работ по добыче;
- вскрышные работы;
- выпуск рыбы и другие экологические платежи.

**Подсистема добычи и производства НСМ.** Составными элементами производства НСМ на речном транспорте могут являться добыча, обогащение и доставка на склад готовой продукции. В зависимости от условий они могут сокращаться только до добычи.

Разработанная организационно-функциональная модель подсистемы добычи и производства системы производства и поставки НСМ предприятия речного транспорта приведена на рис. 3.

Обогащение НСМ в логистическом процессе производства может:

- не требоваться (если качество НСМ в месторождении соответствует требованиям к его качеству при поставке);
- осуществляться в процессе добычи (когда на добыче устанавливаются средства добычи, оборудованные устройствами для обогащения);
- производиться на береговых обогатительных устройствах с предварительной доставкой на них.

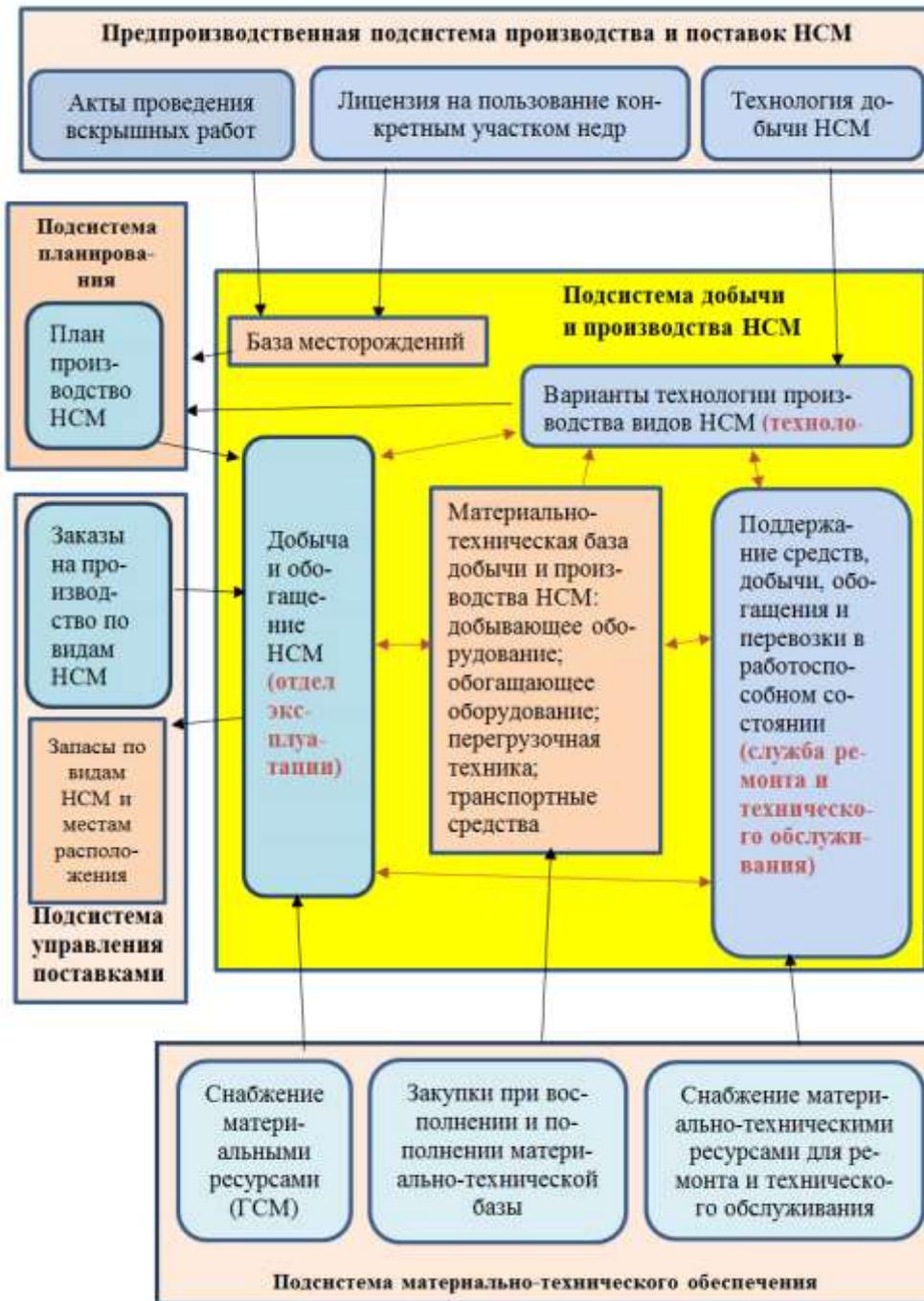


Рис. 3. Организационно-функциональная модель подсистемы добычи и производства системы производства и поставки НСМ предприятия речного транспорта

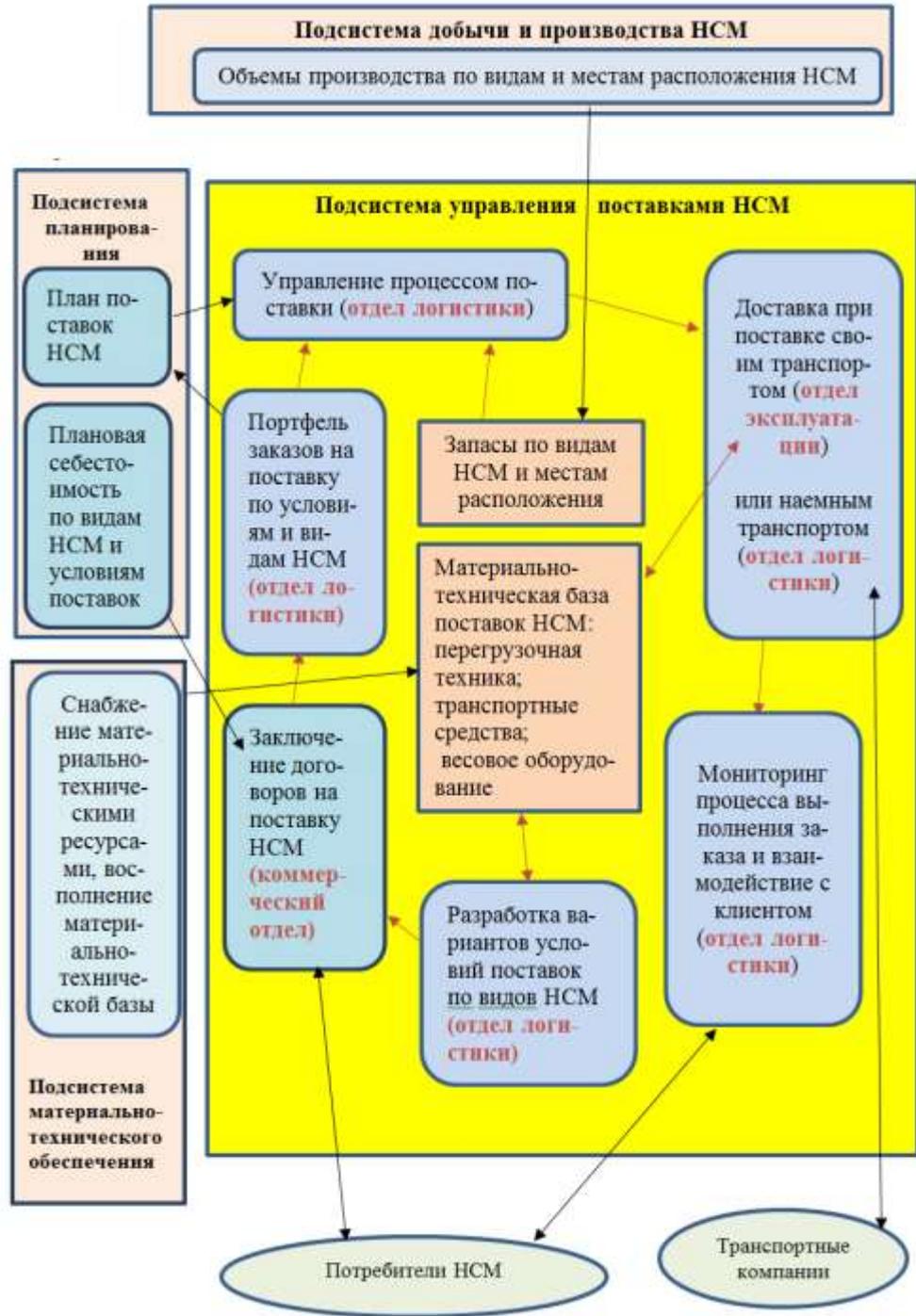


Рис. 4. Организационно-функциональная модель подсистемы управления поставками системы производства и поставок НСМ предприятия речного транспорта

Производительность добычи НСМ, себестоимость добычи, а также качество добываемого сырья зависит от используемого оборудования и перегрузочной техники.

При этом техническая база производства и перегрузки НСМ (земснарядов и плавучих кранов) значительно изношена. В настоящее время ее обновление затруднено практическим отсутствием производства земснарядов и плавучих кранов отечественными предприятиями, а поставки зарубежной техники затруднены санкционными ограничениями. Это влияет на производительность процесса производства НСМ, себестоимость и качество поставляемых НСМ, экологическую составляющую процесса добычи НСМ.

**Подсистема управления поставками НСМ.** Логистический процесс поставки НСМ включает заключение договоров на поставку, выполнения операций поставки в зависимости от условий поставки (определения массы поставляемых НСМ, отгрузки, перевозки, выгрузки, сдачи продукции клиенту), финансовые расчеты за поставку.

Разработанная организационно-функциональная модель подсистемы управления поставками системы производства и поставок НСМ предприятия речного транспорта приведена на рис. 4.

Техническая база поставок НСМ (плавучие краны, суда) также, как и материально-техническая база производства НСМ имеет большой износ и требует обновления.

Выполняемые задачи подсистемы управления поставками находятся в тесной зависимости от других подсистем. Так от подсистемы добычи и производства НСМ зависят качество и себестоимость поставляемых НСМ, наличие и территориальное расположение запасов.

Проблемами данной подсистемы, требующими решение, в настоящее время является:

- отставание в цифровом взаимодействии с клиентами по сравнению с поставщиками других отраслей;
- необходимость методического научно-обоснованного обеспечения управления запасами применительно к условиям поставок НСМ на предприятии речного транспорта (с учетом комплекса проблем – сезонного производства, неопределенности спроса по объемам и структуре НСМ в межнавигационный период и др.).

**Подсистема материально-технического обеспечения.** В функции этой подсистемы входят:

- снабжение материальными ресурсами (в основном горюче-смазочными материалами);
- снабжение материально-техническими ресурсами для ремонта и технического обслуживания;
- закупки при восполнении и пополнении материально-технической базы.

От подсистемы материально-технического обеспечения зависит бесперебойность снабжения материально-техническими ресурсами (в первую очередь топливом и запасными частями) и как следствие себестоимость и надежность выполнения физических операций по добыче, перемещению продаваемой продукции (погрузке, перевозке, выгрузке).

От восполнения и пополнения материально-обеспечение базы современным оборудованием (земснарядами, плавучими кранами, обогатительным оборудованием, судами и др.) зависят такие стороны производства, как надежность процесса поставок НСМ (одного из важнейших требований к поставкам), себестоимость и качество поставляемых НСМ, экологичность.

Отсутствие развития материально-технической базы выполнения физических операций процесса производства и поставки НСМ на предприятиях речного транспорта приводит к ограничению вариантов условий поставок (поставляются в

основном небогащенный песок и небогащенная песчано-гравийная смесь) с доставкой на собственные причалы и причалы необщего пользования.

### **Заключение**

На основе проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. На основе системного подхода сформирована функциональная модель системы производства и поставки НСМ предприятием на речном транспорте, состоящая из пяти подсистем: предпринимательской, добычи и производства НСМ соответствующего качества, управления поставками, планирования и материально-технического обеспечения. Она позволяет учитывать весь комплекс факторов, оказывающих влияние на деятельность, связанную с добычей и поставкой НСМ на речном транспорте.

2. В ходе исследования была разработана организационная модель предпринимательской подсистемы добычи и поставок НСМ на речном транспорте. С ее помощью можно учесть внешние факторы и ресурсы добывающего предприятия и организовать управление этим этапом деятельности.

3. Разработана организационная модель подсистемы добычи и производства НСМ применительно к предприятиям речного транспорта, позволяющая учесть факторы обеспечения качества производимых НСМ.

4. Разработана организационная модель подсистемы управления поставками НСМ применительно к предприятиям речного транспорта, позволяющая обеспечивать соответствие уровня качества логистического сервиса требованиям потребителей НСМ.

5. Системный подход (включая разработанные модели системы и подсистем производства и поставки НСМ) позволил выявить звенья в поставках НСМ речным транспортом. Это:

- отсталая техническая база производства и перегрузки НСМ. Обновление земснарядов и плавучих кранов затруднено практическим отсутствием производства отечественными предприятиями, а поставки зарубежной техники затруднены санкционными ограничениями. Это влияет на себестоимость и качество поставляемых НСМ и на экологическую составляющую процесса добычи и поставки НСМ;
- слабое развитие цифровых технологий во взаимодействии с клиентами при поставках НСМ – влияет на управление поставками;
- отсутствие научно-обоснованной системы управления запасами при поставках НСМ круглогодично – сказывается на уровне сервиса и стоимости при поставках.

### **Список литературы**

1. Жендарева Е.С. Оценка эффективности функционирования речных комплексов по добыче и доставке нерудных строительных материалов: дисс. ... канд. экон. наук : 08.00.05. – Новосибирск, 2015. – 121 с.
2. Лисин А.А. Логистические подходы к управлению поставкой нерудных строительных материалов в речных портах // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2016. – № 46. – С. 15-20.
3. Цверов В.В., Таланова К.М. Исследование нижегородского рынка поставщиков нерудных строительных материалов. //Транспорт. Горизонты развития. 2023: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2023. – URL: [http://вф-река-море.рф/2023/6\\_27.pdf](http://вф-река-море.рф/2023/6_27.pdf)
4. Обеспечение качества и эффективности перевозок сухих грузов речным транспортом в современных условиях / А.И. Телегин, А.О. Ничипорук, О.Л. Домнина [и др.]. –

- Нижегород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. – 132 с. – ISBN 978-5-901722-71-8
5. Ничипорук А.О. Современное состояние и направления исследования в области добычи и поставки нерудных строительных материалов в речном транспорте // XI Прохоровские чтения посвященные 85-летию Волжского государственного университета водного транспорта: сборник статей участников Одиннадцатых Прохоровских чтений, Нижний Новгород, 23 декабря 2015 года. – Нижний Новгород: ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. – С. 41-48.
  6. Галушкин А.В., Самарина А.Ю., Вакуленко Р.Я. Перспективы, концепция и научно-методические задачи развития транспортного обеспечения поставок нерудных строительных материалов на внутренних водных путях // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – №2 (44).
  7. Кноль В. А. Региональная логистическая система доставки нерудных строительных материалов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2018. – №1. – С. 37-39.
  8. Аляев А.Н. Исследование вопросов гидроклассификации и погрузки нерудных строительных материалов землесосными установками: автореферат дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.19. – Горький, 1969. – 28 с.
  9. Силин Н.В. Исследование вопросов переработки и доставки нерудных строительных материалов до складов потребителей: дисс. канд. техн. наук : 05.22.19. – Горький, 1973. – 271 с.
  10. Жендарева Е.С., Кадникова Е.С., Гюнтер А.В. Организация взаимодействия различных видов транспорта в производственно-транспортных процессах добычи и доставки нерудных строительных материалов // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 71. – С. 110-121. – DOI 10.37890/jwt.vi71.261. – EDN ASIGNO.
  11. Жендарева Е.С. Транспортно-логистические системы добычи и доставки нерудных строительных материалов // 52-я Международ. научн. конф: Транспорт / Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск. – 2014. – С. 41.
  12. Лоскутов Е.Н. Техничко-экономическая эффективность совмещения дноуглубительных работ на судовом ходу с добычей нерудных строительных материалов: дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.17. – Новосибирск, 1999. – 271 с.
  13. Матюгин М.А. Управление ресурсами речных портов при поставке нерудных строительных материалов: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.22.19. - Нижний Новгород, 2009. - 22 с.
  14. Рагулин И.А., Коршунов Д.А. Технологические аспекты повышения качества нерудных строительных материалов при их поставке предприятиями речного транспорта // Успехи современной науки. – 2017. – № 7. – С. 117-122.
  15. Цверов В.В., Домнина О.Л. Анализ информационной взаимодействия речных судоходных компаний и портов с клиентами по стоимости услуг. // Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – URL: [http://vf-река-море.рф/2022/1\\_24.pdf](http://vf-река-море.рф/2022/1_24.pdf)
  16. Цверов В.В., Домнина О.Л. Моделирование калькулятора стоимости поставок нерудных строительных материалов на речном транспорте. Транспортное дело России. 2022. № 3. С. 152-157.
  17. Цверов В.В., Наседкина Е.С. Оценка состояния уровня информационной прозрачности речных портов для целей управления цепочками поставок // Конгресс Международного форума "Великие реки" 2018. "Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек". Онлайн-журнал широкой научной тематики. Выпуск 7, 2018 - URL: <http://vf-река-море .rf/2018/PDF/98.pdf> (дата обращения: 18.10.2021).
  18. Приказ Федерального агентства по недропользованию Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 22 декабря 2005 года N 1332 «О территориальных комиссиях по запасам полезных ископаемых» (с изменениями на 26 января 2011 года)/ <https://docs.cntd.ru/document/901973281>
  19. Закон РФ от 21.02.1992 N 2395-1 (ред. от 25.12.2023) "О недрах" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2024)/ [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_343/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/)
  20. Постановление Правительства Российской Федерации от 12.03.2022 № 353 «О порядке проведения аукциона на право пользования участком недр федерального значения, участком недр местного значения, а также участком недр, не отнесенным к

участкам недр федерального или местного значения» /  
[http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link\\_id=0&nd=602709760&intelsearch=&firstDoc=1](http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=0&nd=602709760&intelsearch=&firstDoc=1)

### References

1. Zhendareva, E. S. Evaluation of the efficiency of river complexes for the extraction and delivery of non-metallic building materials: dissertation. ... candidate of economic sciences : 08.00.05. - Novosibirsk, 2015. - 121 с.
2. Lisin, A. A. Logistic approaches to managing the delivery of non-metallic construction materials in river ports // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. - 2016. - № 46. - С. 15-20.
3. Tsverov V.V., Talanova K.M. Research of Nizhny Novgorod market of suppliers of non-metallic building materials. //Transport. Development Horizons. 2023: Materials of the international scientific and practical forum. FGBOUE VO "VGUVT". - 2023. - URL: [http://вф-пека-море.рф/2023/6\\_27.pdf](http://вф-пека-море.рф/2023/6_27.pdf)
4. Ensuring the quality and efficiency of dry cargo transportation by river transport in modern conditions / A. I. Telegin, A. O. Nichiporuk, O. L. Domnina [et al.]. - Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2020. - 132 с. - ISBN 978-5-901722-71-8
5. Nichiporuk, A. O. Current state and directions of research in the field of extraction and supply of non-metallic building materials in river transport // XI Prokhorov Readings dedicated to the 85th anniversary of Volga State University of Water Transport: a collection of articles of participants of the Eleventh Prokhorov Readings, Nizhny Novgorod, December 23, 2015. - Nizhny Novgorod: FSBEU VO "Volga State University of Water Transport", 2016. - С. 41-48.
6. Galushkin A.V., Samarina A.Yu., Vakulenko R.Ya. Prospects, concept and scientific and methodological problems of development of transport support of non-metallic construction materials supply on inland waterways // Vestnik of transport of the Volga region. - 2014. - №2 (44).
7. Knol V. A. Regional logistic system of delivery of non-metallic building materials // Scientific problems of transport of Siberia and the Far East. - 2018. - № 1. - С. 37-39.
8. Alyaev A.N. Research of the issues of hydroclassification and loading of non-metallic building materials by dredging units: abstract of dissertation. ... candidate of technical sciences : 05.22.19. - Gorky, 1969. - 28 с.
9. Silin N.V. Research of the issues of processing and delivery of non-metallic building materials to the consumers' warehouses: dissertation. ... candidate of technical sciences : 05.22.19. - Gorky, 1973. - 271 с.
10. Zhendareva E. S., Kadnikova E.S., Gunter A.. V. Organization of interaction of different types of transport in production and transport processes of extraction and delivery of non-metallic building materials // Scientific problems of water transport. - 2022. - № 71. - С. 110-121. - DOI 10.37890/jwt.vi71.261. - EDN ASIGHO.
11. Zhendareva, E.S. Transport-logistic systems of extraction and delivery of non-metallic building materials // 52nd Intern. scientific conf. Transport / Novosibirsk State Univ. - Novosibirsk. - 2014. - С. 41.
12. Loskutov E.N. Technical and economic efficiency of combining dredging works on ship running with extraction of non-metallic building materials: dissertation. ... candidate of technical sciences : 05.22.17. - Novosibirsk, 1999. - 271 с.
13. Matyugin M. A. Resource management of river ports at delivery of non-metallic building materials : abstract of disc. ... Candidate of Technical Sciences : 05.22.19. - Nizhny Novgorod, 2009. - 22 с.
14. Ragulin I. A., Korshunov D. A. Technological aspects of improving the quality of non-metallic construction materials at their delivery by river transport enterprises // Uspekhi sovremennoi nauki. - 2017. - № 7. - С. 117-122.
15. Tsverov, V.V.; Domnina, O.L. Information interaction analysis of the river shipping companies and ports with clients on the cost of services. //Transport. Development Horizons. 2022: Materials of the international scientific and practical forum. FGBOUE VO "VGUVT". - 2022. - URL: [http://вф-пека-море.рф/2022/1\\_24.pdf](http://вф-пека-море.рф/2022/1_24.pdf)

16. Tsverov V.V., Domnina O.L. Modeling of the calculator of the cost of supplies of non-metallic building materials on river transport. *Transportnoe delo Rossii*. 2022. № 3. С. 152-157.
17. Tsverov V.V., Nasedkina E.S. Assessment of the state of the level of information transparency of river ports for supply chain management // Congress of the International Forum "Great Rivers" 2018. "Problems of use and innovative development of inland waterways in the basins of the great rivers". An online journal of broad scientific topics. Issue 7, 2018 - URL: <http://вф-река-море .rf/2018/PDF/98.pdf> (date of reference: 18.10.2021).
18. Order of the Federal Agency for Subsoil Use of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of December 22, 2005 N 1332 "On Territorial Commissions for Mineral Reserves" (as amended on January 26, 2011) / <https://docs.cntd.ru/document/901973281>.
19. Law of the Russian Federation of 21.02.1992 N 2395-1 (ed. of 25.12.2023) "On Subsoil" (with amendments and additions, effective from 01.03.2024) / [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_343/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/).
20. Resolution of the Government of the Russian Federation of 12.03.2022 No. 353 "On the procedure for holding an auction for the right to use a subsoil plot of federal significance, a subsoil plot of local significance, as well as a subsoil plot not classified as a subsoil plot of federal or local significance" / [http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link\\_id=0&nd=602709760&intelsearch=&firstDoc=1](http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=0&nd=602709760&intelsearch=&firstDoc=1).

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

**Цверов Владимир Викторович**, доктор экономических наук, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [v.tsverov@yandex.ru](mailto:v.tsverov@yandex.ru)

**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](mailto:o-domnina@yandex.ru)

**Мамедов Джейхун Илгарович**, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, [mr.mamedov.1993@mail.ru](mailto:mr.mamedov.1993@mail.ru)

**Усами Герби**, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Эль-Уед, район Роббах, Алжир, [Ch.oussama39@gmail.com](mailto:Ch.oussama39@gmail.com).

**Vladimir V. Tsverov**, Dr. Sci. (Econ), Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterovast., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: [v.tsverov@yandex.ru](mailto:v.tsverov@yandex.ru)

**Olga L. Domnina**, Ph.D.(Eng), assistant professor, Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterovast., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: [o-domnina@yandex.ru](mailto:o-domnina@yandex.ru)

**Dzheikhun I. Mamedov**, postgraduate student, Volga State University of Water Transport, Nesterovast., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation

**Usami Gerbi**, postgraduate student, Volga State University of Water Transport, El Oued, Robbach district, Algeria.

Статья поступила в редакцию 26.03.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 26.03.2024; published online 20.06.2024.

УДК 332.14

DOI: 10.37890/jwt.vi79.488

## **Инновационное развитие предприятий водного транспорта как отрасли высокотехнологичной промышленности**

**В.С. Чеботарев<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-2913-2360*

**И.К. Кузьмичев<sup>2</sup>**

*ORCID: 0000-0001-8186-0544*

<sup>1</sup>*АО «Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт автоматической аппаратуры имени академика В.С. Семенухин», Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** Статья посвящена инновационному развитию предприятий высокотехнологичной<sup>28</sup> продукции на примере водного транспорта.

Водный транспорт относится к высокотехнологичной продукции и в этой связи его производство имеет довольно сложную производственную логистику (интеллектуальную, снабженческую, организационную, финансовую, информационную, кадровую, инновационную и др.) [2-3]. В связи с этим приобретает особую актуальность и важность поиска перспективных направлений в развитии высокотехнологичной продукции: реальная возможность реализовать научно-исследовательские как инновационно-инвестиционные<sup>29</sup> проекты, выполнение которых выведет предприятия высокотехнологичной промышленности по производству водного транспорта на ведущие позиции не только в национальной экономике, но и – мировой [4-6]. Именно этим определяется важность мониторинга научно-исследовательских проектов как вектор развития инновационного производства на двух уровнях: продуктовом (высокотехнологичная продукция) и – технологическом (инновационные технологии) [7].

Инновационный вектор развития предприятий высокотехнологичной продукции позволяет фактическую эффективность высокотехнологичного производства приблизить к полной потенциальной эффективности при прочих равных факторах производства в короткое время этапа научно-исследовательского и научно-технического развития жизненного цикла продукции судопромышленной продукции, которому отведено основное внимание в статье [6-7].

Одновременно инновационный подход, вводя в промышленный оборот продукцию, закономерно обеспечивает условия дальнейшего научно-технического (инновационного) развития как непосредственно самой продукции, так и – технологий (другими словами - досрочное введение продукции обеспечивает и досрочное ее выведение: скорость колеса экономической эффективности производственной деятельности).

При достижении фактической эффективности предела потенциальной эффективности технологичного производства в соответствии с законами синергии происходит скачок, инновационный переход к новому (очередному, последующему) уровню потенциальной эффективности производства высокотехнологичной продукции, что закономерно выдвигает новые требования инновационного характера к производству. В противном случае производство по причине (закона) морального

<sup>28</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 15.06.2019 г. № 773. «О критериях отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции» [1].

<sup>29</sup> «Инновационно-инвестиционный проект – это ограниченное во времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов (потребительские свойства (потребительская стоимость) высокотехнологичной продукции (товара) – авторское уточнение), возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией»[4].

старения промышленной продукции обречено на банкротство вследствие так называемого фактора технологичной гибкости производства (ТГ). Которая (ТГ), если организационно учтена в экономической деятельности предприятий как прогнозирование, планирование и управление (проектно-инновационное руководство), на инновационно-инвестиционном подходе образует (экономически обеспечивает) в современных условиях устойчивое функционирование и развитие предприятий высокотехнологичной продукции (колесо экономической эффективности производственной деятельности – человеческий фактор): в рыночной модели государства преобразование продукта (изделия) в товар и контрактацию.

**Ключевые слова:** высокотехнологическая продукция, вектор развития инновационного производства, инновации, инновационно-инвестиционный проект, подход, предприятие, стратегия, технологическая гибкость, цифровизация.

## **Innovative development of water transport enterprises as a branch of high-tech industry**

**Vladislav S. Chebotarev**<sup>1</sup>

*ORCID: 0000-0002-2913-2360*

**Igor K. Kuzmichev**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0001-8186-0544*

<sup>1</sup>*JSC "Order of the Red Banner of Labor Scientific Research Institute of Automatic Equipment named after Academician V.S. Semenikhin"*

<sup>2</sup>*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The article is devoted to the innovative development of enterprises of high-tech products on the example of water transport.

Water transport refers to high-tech products and in this regard, its production has a rather complex production logistics (intellectual, supply, organizational, financial, information, personnel, innovation, etc.) [2-3]. In this regard, the search for promising directions in the development of high-tech products becomes particularly relevant and important: a real opportunity to implement research and innovation and investment projects, the implementation of which will bring enterprises of the high-tech industry for the production of water transport to leading positions not only in the national economy, but also in the world [4-6]. This determines the importance of monitoring research projects as a vector for the development of innovative production at two levels: product (high-tech products) and technological (innovative technologies) [7].

The innovative vector of development of enterprises of high-tech products allows the actual efficiency of high-tech production to be brought closer to full potential efficiency, other things being equal, production factors in a short time of the stage of research and scientific and technical development of the life cycle of products of shipbuilding products, which is given the main attention in the article [6-7].

At the same time, an innovative approach, introducing products into industrial circulation, naturally provides conditions for further scientific and technical (innovative) development of both the products themselves and technologies (in other words, early introduction of products ensures its early withdrawal: the speed of the wheel of economic efficiency of production activities).

When the actual efficiency of the limit of the potential efficiency of technological production is reached, in accordance with the laws of synergy, there is a leap, an innovative transition to a new (next, subsequent) level of potential efficiency of production of high-tech products, which naturally puts forward new requirements of an innovative nature to production. Otherwise, production due to the (law) moral aging of industrial products is doomed to bankruptcy due to the so-called factor of technological flexibility of production (TG). Which (TG), if organizationally taken into account in the economic activities of enterprises as forecasting, planning and management (design and innovation management), forms (economically ensures) the sustainable functioning and development of enterprises of high-tech products in modern conditions (the wheel of economic efficiency of production

activities is the human factor): in the market model of the state transformation of a product (product) into a commodity and contracting.

**Keywords:** high-tech products, the vector of development of innovative production, innovations, innovation and investment project, approach, enterprise, strategy, technological flexibility, digitalization.

### **Введение**

Учитывая условия современной экономической среды, а именно внешние факторы отрицательного воздействия экономических санкций на производственную деятельность предприятий судостроительной промышленности, что закономерно требует разработку собственных производственно-инновационных траекторий развития отечественной высокотехнологичной промышленности (программ), применения системного подхода к управлению всеми производственными процессами в высокотехнологичной промышленности водного транспорта. Системный подход в современных условиях подразумевает функциональную связанность факторов инновационного и инвестиционного развития как высокотехнологичной продукции, так и технологий их производства: инновационно-инвестиционный<sup>30</sup> подход.

Данные программы и подход позволят упорядочить процессы разработки инновационно-инвестиционных проектов, связанных с развитием предприятий, а также обеспечить высокую степень доведения результатов (отчетов) НИОКР до научной общественности, специалистов практики и всех интересующихся вопросами развития и повышения эффективности функционирования предприятий высокотехнологичной продукции. Отсюда следует объективная необходимость становления и дальнейшего развития инновационно-инвестиционных программ и проектов как основного фактора устойчивого экономического развития предприятий высокотехнологичной продукции.

### **Методы и материалы исследования**

Проведенное исследование инновационного развития предприятий высокотехнологичной продукции базируется на достижениях современных теорий инвестиционного анализа, стратегического, производственного, инновационного и проектного управления, финансового менеджмента, экономических механизмов, моделей, методов и инструментов развития и повышения эффективности высокотехнологичных производств промышленности [2, 4, 6-8].

Фактическую основу составили законодательные акты Российской Федерации, нормативные правовые документы и методики Правительства и министерств России, связанные с функционированием предприятий отраслей высокотехнологичной промышленности, а также научные публикации отечественных и зарубежных ученых, отчеты научно-исследовательских работ научных и образовательных организаций, материалы научно-методических и практических конференций по развитию и

---

<sup>30</sup> Инновационно-инвестиционный подход включает (подразумевает) разработку соответствующего методологического и методического аппарата, необходимого для проведения процедур инвестиционного анализа, оценки эффективности и управления процессом создания высокотехнологичной продукции, обладающей высокими конкурентными потребительскими свойствами (потребительная стоимость) при заданной стоимости (согласованной с заказчиком ценой или в противном случае - удовлетворяющей заказчика ценой), что позволяет в целом гармонизировать экономические интересы сторон заказчика и исполнителя заказа (авторское определение).

повышению эффективности предприятий высокотехнологической продукции, а также источники сети Интернет [1, 5 8-16].

### **Результаты и обсуждение**

Инновации в высокотехнологичной промышленности неразрывно связаны с технологическими и стратегическими прогнозами, которые направляют процесс модернизации производственных процессов [7-9]. Современные стратегии развития высокотехнологичных производств в промышленности основываются на динамичной разработке и поэтапном внедрении инновационных, научно-исследовательских проектов. Эти проекты нацелены на повышение уровня конкурентоспособности путем внедрения новейших технологий, материалов и производственных методов. В частности, развитие высокотехнологичных производств в судостроительной промышленности приведет к завоеванию международного рынка высокотехнологичной продукции. Эта продукция будет отличаться улучшенными экономическими показателями, такими как повышенная надежность, увеличенные сроки эксплуатации и более низкие эксплуатационные расходы. Кроме того, внедрение комплексной диджитализации<sup>31</sup>, или процесса цифровой трансформации общества и экономики, позволит оптимизировать производственные процессы и повысить эффективность бизнеса. Стратегические прогнозы в высокотехнологичной промышленности ориентированы на долгосрочные цели. Они направлены на повышение экономических показателей и результативности, реализуемых отраслевых промышленных программ [2, 5, 7-8]. Это может включать в себя прогнозирование спроса на высокотехнологичную продукцию, анализ конкурентной среды и определение необходимых инвестиций в исследования и разработки. В целом, инновации в высокотехнологичной промышленности требуют тщательного планирования и внедрения на основе технологических и стратегических прогнозов [2-3, 5]. Эти прогнозы помогают предприятиям ориентироваться в постоянно меняющемся технологическом ландшафте и принимать обоснованные решения для обеспечения долгосрочного успеха. Помимо вышеперечисленного, инновации в высокотехнологичной промышленности также связаны и с другими аспектами.

**Сотрудничество с академическими учреждениями и исследовательскими центрами:** инновации часто являются результатом совместных усилий промышленности и академических организаций (институтов, центров и обществ). Сотрудничество позволяет предприятиям получать доступ к передовым знаниям и технологиям, а исследовательским центрам - получать финансирование и практическое применение для своих разработок.

**Инвестиции в человеческий капитал:** распространение высокотехнологичной промышленности требует квалифицированной рабочей силы (кадровый ресурс и человеческий фактор), способной работать с передовыми технологиями (инженерно-технический персонал, административно-управленческий аппарат, специалисты маркетингово-логистического характера, рабочие высшей квалификации по работе с технологическим оборудованием и автоматизированными линиями и др.). Предприятия должны уделять особое внимание обучению и развитию сотрудников, чтобы идти в ногу с технологическим прогрессом.

**Экологическая устойчивость:** инновации в высокотехнологичной промышленности должны учитывать вопросы экологической устойчивости [10]. Предприятия должны стремиться к использованию экологически чистых технологий и материалов, а также к сокращению выбросов и отходов.

**Глобализация:** высокотехнологичная промышленность часто носит глобальный характер. Предприятия должны адаптироваться к различным рыночным условиям,

---

<sup>31</sup> Диджитализация — это процесс трансформации традиционного бизнеса посредством внедрения новейших цифровых технологий.

нормативным актам и культурным различиям, чтобы добиться успеха на мировом уровне.

Вместе с тем, для того чтобы добиться выполнения этих показателей, предполагается использование экономико-организационных императивов, способствующих выполнению экономических показателей и результативности выполнения программ по завоеванию международного рынка высокотехнологичной продукции, таких как: реализация институциональных реформ в отраслях высокотехнологичной промышленности; распространение диверсификации высокотехнологичных производств отраслей промышленности и синергизм; коммерциализация результатов отраслей высокотехнологичной промышленности; совершенствование нормативной правовой базы, регулирующей производственные процессы высокотехнологичного производства промышленности; модернизация кадрового менеджмента на высокотехнологичных производствах отраслей промышленности [11-12].

**Организация производства** продукции судостроительной промышленности по всем этапам жизненного цикла<sup>32</sup>: научных исследований по разработке научно-исследовательских (инновационно-инвестиционных) проектов; непосредственное производство высокотехнологической продукции от опытного образца до промышленного внедрения; эксплуатация, обслуживание и ремонт (система сервиса); утилизация. В инновационно-инвестиционном подходе, где особо выделены от всего производственного процесса такие этапы жизненного цикла высокотехнологической продукции судостроительной промышленности, как научно-исследовательский и опытно-конструкторский (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР)), которые реально определяют наиболее перспективные виды высокотехнологичной продукции (по признаку функциональной специфики) по инновационно-инвестиционному показателю и маркетингово-логистической организации: методический и технологический инструментарий инновационно-инвестиционного (научно-технического) проекта на инвестиционной основе (расчетном дисконте инвестиций в производство – расчетной прибыли во времени на всем временном горизонте жизненного цикла инновационной продукции).

Государство осуществляет целевой мониторинг как заказчик и основной инвестор, а головной исполнитель отвечает за выполнение НИОКР и все производство в целом, как получающий для этого целевым назначением финансовые средства. Особая ответственность исполнителя должна отводиться на выполнение показателей и разработок НИОКР и нести непосредственно за контроль выполнения, всех установленных договором (контрактом) показателей, привлечение больших инвестиций и организацию дополнительного количества рабочих мест [12].

В целях недопущения роста затрат на выпускаемую высокотехнологичную продукцию водного транспорта выполнение работ НИОКР структурируется и рассчитывается за каждую разработку научно-технических и научно-исследовательских проектов в отдельности, так как все издержки производства, в соответствующей степени, характеризуют рынок высокотехнологичной продукции и определяются содержательно как инновационно-инвестиционный проект [13]. Поэтому, при расчетах издержек на разработку инновационно-инвестиционных (или научно-технических) проектов водного транспорта как продукции первоначального преобразования ее в условиях рыночной модели государства в товар, а в дальнейшем – контрактацию, неизбежно могут возникать проблемы инвестиционного характера, которые могут разрешаться в форме государственно-частного партнерства. Тем самым снимается частично нагрузка с государственного бюджета.

---

<sup>32</sup> Жизненный цикл инновации представляет собой определенный период времени, в течение которого инновация обладает активной жизненной силой и приносит производителю и/или продавцу прибыль или другую реальную выгоду [4].

Таким образом, инновации в высокотехнологичной промышленности представляют собой многогранный процесс, требующий тщательного планирования, сотрудничества, инвестиций и внимания к экологической устойчивости и глобализации, что достигается методологическим аппаратом (методами и инструментами) инновационно-инвестиционного подхода [13].

В рамках развития высокотехнологичного производства отраслей промышленности в Российской Федерации, разработана собственная стратегическая траектория, преследующая цель формирования конкурентных преимуществ [13-14]. Согласно данной траектории необходимо использование Smart-технологий. Под Smart-технологиями понимаются конкретные, измеримые, достижимые, согласованные и ограниченные во времени инновационные инструменты, обеспечивающие стабилизацию производственных и технологических процессов. Также предполагается осуществление процедур оптимизации высокотехнологичных производств отраслей промышленности, в рамках функционирования технологических и научно-производственных кластеров и технопарков, а также проведение периодичный пересмотр производства с учетом отраслевой специфики нормативных правовых документов, регулирующих взаимодействие всех предприятий высокотехнологичной промышленности, где основными направлениями экономической деятельности являются гражданское, военное, коммерческое, диверсификационное<sup>33</sup> и др.

С определением приоритетных направлений промышленной политики, в рамках функционирования экономической деятельности в судостроительной промышленности, как высокотехнологичной отрасли промышленности возникают проблемы.

Одной из значимых проблем в судостроительной промышленности остается ее возрастающее технологическое отставание. Оно проявляется в морально устаревшей инфраструктуре производственных мощностей, технологий и оборудования, что приводит к завышенным издержкам в их использовании [15].

Необходимо выделить три основных стратегии успешных организаций: *всесторонняя*, *производственная* и *функциональная*. Успешные организации применяют комплексные стратегии, которые охватывают различные аспекты их деятельности. Рассмотрим содержательно каждую стратегию.

1. **Всепроницающая стратегия** обеспечивает согласованность и последовательность действий на всех уровнях организации, от распределения ресурсов до повседневных операций. Она требует, чтобы все подразделения работали в унисон, поддерживая общую стратегическую цель.
2. **Производственная стратегия** устанавливает связь между производственными решениями и целями организации. Она предполагает четкое определение производственной задачи и обеспечение соответствия всех производственных решений этой задаче.
3. **Функциональная стратегия** объединяет стратегии в различных функциональных областях, таких как исследования и разработки, маркетинг и продажи, финансы и контроль.

Данная триада функциональных стратегий по целевой установке конкурентного преимущества предприятия (и/или организации) и критерию взаимодействия должны быть согласованы и интегрированы между собой. Важность согласованности стратегий в современных условиях крайне важна, особенно в области выработки и принятия управленческих решений, сопряженность их с общими показателями

---

<sup>33</sup> Диверсификация (от английского diversity — «разнообразие») — это стратегия, которая подразумевает распределение ресурсов, чаще всего, в отношении финансовых активов и инвестиций. Впервые термин «диверсификация» использовал в 1952 году американский экономист Гарри Марковиц. Применительно к бизнесу это стратегия, в рамках которой компания запускает новые товары, услуги и целые направления, а также вкладывается в разные активы и рынки [17].

инновационных и инвестиционных проектов, а также с возможностями их реализации. Что в свою очередь требует учета следующих основных восьми показателей производственных решений, включенных в производственную стратегию:

1. мощность основных материальных активов (оборудования);
2. технологии производства высокотехнологичной продукции;
3. вертикальную интеграцию;
4. кадровый потенциал (специалисты технологических процессов – люди, обладающие необходимыми знаниями, навыками и умениями производства высокотехнологичной продукции);
5. качество высокотехнологичной продукции;
6. планирование производства высокотехнологичной продукции;
7. учет производственных издержек высокотехнологичной продукции;
8. организацию производственного процесса в аспекте выполнения экономических показателей производства высокотехнологичной продукции. Которое (достижение экономических показателей высокотехнологичной продукции) в современных условиях не возможно без цифровизации и маркетингов-логистической интеграции производственной деятельности предприятий судостроительной промышленности.

В целях обеспечения четкой и оперативной работы предприятий высокотехнологичных производств в судостроительной промышленности необходима реализация следующих мер:

- компьютеризация (цифровизация) производства;
- использование цифровых технологий, что позволяет автоматизировать процессы и тем самым повысить эффективность производства;
- интеграция стратегий в производственной и маркетинговой областях. Маркетинговые стратегии должны поддерживать производственные цели, обеспечивая соответствие между предлагаемой продукцией и потребностями рынка в соответствии с рыночным законом спроса и предложения.

Успешные организации также используют и другие стратегии.

Например:

- стратегию быстрого реагирования, которая позволяет быстро адаптироваться к изменениям рынка и конкурировать с более крупными организациями (предприятиями, холдингами и корпорациями);
- матричную стратегию, которая сочетает функциональную и проектную организационные структуры для повышения эффективности и инновационности;
- стратегию технологий, которая фокусируется на развитии и использовании передовых технологий для создания конкурентного преимущества.

Однако эффективное применение этих стратегий требует тщательного планирования, внедрения и постоянного мониторинга. Организации и предприятия, которые успешно реализуют эти стратегии, могут добиться значительного улучшения своих операционных результатов и увеличения рыночной доли выпускаемой высокотехнологичной продукции.

Управленческие решения (управленческий ресурс и человеческий фактор) в сфере изменения в условиях учета затрат как управленческий фактор экономического характера, могут привести к структурным изменениям в подразделениях высокотехнологичных производств судостроительной промышленности.

Любые изменения имеют положительное или отрицательное влияние на развитие и устойчивое функционирование (в том числе - повышение эффективности) любой организации бизнеса, а в производстве высокотехнологичной продукции предприятий судостроительной промышленности - особенно. В связи с этим большое значение имеют **стратегическое видение** в виде *производственной (технологической) и корпоративной* стратегий судостроительной промышленности и **экономическое следование** (поведение) им: потенциальная эффективность предприятий высокотехнологичной продукции реализуется в – фактическую, исходя из динамического вектора производственного процесса экономического функционирования предприятий высокотехнологичной продукции судостроительной промышленности, определяемую принятыми к руководству стратегиями.

Отличительная особенность экономического характера предприятий отраслей высокотехнологичной промышленности заключается в росте рентабельности за счет повышения эффективности производственного процесса высокотехнологичной продукции, что невозможно без инновационного этапа жизненного цикла производственного процесса высокотехнологичной продукции, так называемой технологической гибкости.

В условиях четвертой промышленной революции, определяемой как стратегия «Индустрия 4.0<sup>34</sup>» или «Общество 4.0», инновационные технологии требуют разработки, соответствующих производственных и корпоративных стратегий при определяющем инновационном факторе - технологической гибкости.

### **Заключение**

Судостроительная промышленность, это огромная платформа, включающая в себя разные виды производств и видов экономической деятельности, различные профессии работников, разные уровни организации производственных процессов, разные возможности по реализации высокотехнологичного оборудования и внедрения цифровых технологий, что в итоге отражается на результате достижения экономических показателей и соответственно экономики судостроительной промышленности в целом.

Поиск перспективных направлений в развитии судостроительной промышленности очень важен, так как это большая возможность реализовать научно-технические проекты как - инновационно-инвестиционные, выполнение которых выведет отечественную судостроительную промышленность на ведущие позиции реального сектора экономики страны, а также - международного.

Организация и проведение НИОКР, разработка инновационных технологий и продуктов как инновационно-инвестиционных проектов в жизненном цикле судостроительной продукции (от замысла и до утилизации: техническое задание НИОКР, опытный экземпляр, промышленное производство, эксплуатация, ремонт, утилизация) является главным этапом, определяющим развитие и экономическую эффективность предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности.

Этап НИОКР жизненного цикла высокотехнологичной продукции является определяющим по критерию специфичности для продукции судостроительной промышленности: инновационные характеристики, методический аппарат и

---

<sup>34</sup> Индустрия 4.0 — это термин, впервые использованный в 2011 году немецким исследовательским союзом Industry-Science Research Alliance. Эта концепция, по сути, описывает создание интеллектуальных фабрик, т.е. управление производственной цепочкой осуществляется в режиме реального времени с помощью информационных и коммуникационных технологий, а также установкой роботов [18]. Четвёртая промышленная революция (англ. The Fourth Industrial Revolution) — концепция Клауса Шваба, изложенная в одноименной книге 2016 года, согласно которой ближайшее будущее будет определяться широким внедрением киберфизических систем в производство (индустрия 4.0) и обслуживание человеческих потребностей, включая быт, труд и досуг (работа 4.0) [19].

технологический инструментарий изделий (продукции) судостроительной промышленности как инновационно-инвестиционного проекта. В этом аспекте (этапа НИОКР жизненного цикла продукции судостроительной промышленности) следует отметить, что сегодняшнее руководство судостроительной промышленности, обращает свое внимание на еще недостаточно освоенный в инновационно-инвестиционном отношении промышленный потенциал отрасли, который необходимо использовать для современного и будущего развития высокотехнологичных производств в судостроительной промышленности [16].

В период функционально-технологического воздействия на определение инновационных стратегий технологической гибкости как одному из важнейших факторов инновационного развития отечественных предприятий высокотехнологичной промышленности принадлежит целевое значение и поэтому может выступать в качестве индикативного показателя оценки инновационного состояния и развития предприятий судостроительной промышленности, что требует отдельного самостоятельного исследования как перспективного направления дальнейшего развития рассмотренной темы.

#### Список литературы

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.06.2019 г. № 773. «О критериях отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции».
2. Голубев С.С., Чеботарев С.С., Чибинев А.М., Юсупов Р.М. Методология научно-технологического прогнозирования Российской Федерации в современных условиях. М.: Креативная экономика, 2018. – 282 с.
3. Кохно П.А., Чеботарев С.С. Тенденции развития высокотехнологичной промышленности // Общество и экономика. 2015. № 4-5. С. 44-63.
4. Лопатников А.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. – М.: Дело, 2003. – 478 с.
5. Чеботарев С.С. Промышленная политика Российской Федерации в области оборонно-промышленного комплекса // Экономические аспекты технологического развития современной промышленности 11/2018. Материалы Международной научно-практической конференции. Московский политехнический университет (МАМИ). М.: Издательство Научный консультант, 2018. С.220-223.
6. Чеботарев С.С., Мельников Г.Н. Двойной подход к оценке эффективности управления организациями наукоёмких отраслей экономики в сфере государственного заказа // Вестник воздушно-космической обороны. 2019. № 2 (22). С. 5-14.
7. Чеботарев, С. С. Векторы управления инновациями высокотехнологичных организаций промышленности: методологические аспекты / С. С. Чеботарев, Б. В. Проскурин, В. А. Ельшин. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс", 2022. – 148 с.
8. Чеботарев, С. С. Методология стратегического управления высокотехнологичными промышленными предприятиями на основе теории эффективности и инвестиционного анализа / С. С. Чеботарев, В. А. Ельшин, А. Я. Черныш. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс", 2023. – 184 с.
9. Ивантер В.В., Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Шокин И.Н. Основы структурно-инвестиционной политики в современных российских условиях // Вестник Финансового университета. – № 1. – 2017. – С. 6–16.
10. Экономика чрезвычайных ситуаций: теория. Том 1: монография/ С.С. Чеботарев, А.И. Овсяник, А.С. Родионов, Р.М. Юсупов; под науч. ред. С.С. Чеботарева. – Москва: РУСАЙНС, 2021. – 174 с.
11. Чеботарев С.С., Мельников Г.Н. Генезис методов оценки эффективности сложной инновационной продукции военного и двойного назначения и оценки эффективности НИОКР по их созданию и модернизации // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2019. № 1. С. 58-67.
12. Роль оценки качества товаров предприятия. Чеботарев С.С., Чеботарев В.С., Зенова Е.Н., Строков А.А., Шох М.А., Елфимов О.М., Ионов В.А., Хмыз А.Н. Учебное пособие / Москва, 2021.

13. Чеботарев С.С. Проектно-инвестиционный подход при оценке и управлении эффективностью предприятий и кластеров ОПК. «Цифра» - реальность, меняющая мир: готовность российской экономики к новым правилам игры» 13/2019/ материалы Национальной научно-практической конференции. С.191-195.
14. <http://static.government.ru/media/files/...pdf> (дата обращения 22.02.2024).
15. [dzen.ru/a/Zdw34Kkc6ljoCe7X](https://dzen.ru/a/Zdw34Kkc6ljoCe7X) (дата обращения 22.02.2024).
16. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства российской Федерации от 28 октября 2019 г. № 2553-р.
17. Ансофф И. Стратегическое управление: Сокр. пер. с англ./ Научн. ред. и авт. предисл. Л.И Евенко – М.: Экономика, 1988 г., 519 с.
18. Симонин, П. В. Стратегии развития индустрии 4.0 и формирование платежеспособного спроса / П. В. Симонин, В. В. Богачев, Т. В. Богачева, Е. А. Ветрова // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/79ECVN123.pdf> DOI: 10.15862/79ECVN123
19. [ru.wikipedia.org](https://ru.wikipedia.org) (дата обращения 22.02.2024).

### References

1. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 06/15/2019 No. 773. "On criteria for classifying goods, works, services as innovative products and (or) high-tech products."
2. Golubev S.S., Chebotarev S.S., Chibinev A.M., Yusupov R.M. Methodology of scientific and technological forecasting of the Russian Federation in modern conditions. M.: Creative Economy, 2018. – 282 p.
3. Kohno P.A., Chebotarev S.S. Trends in the development of high-tech industry // Society and economics. 2015. No. 4-5. pp. 44-63.
4. Lopatnikov A.I. Economic and mathematical dictionary: Dictionary of modern Economics. – M.: Delo, 2003. – 478 p.
5. Chebotarev S.S. Industrial policy of the Russian Federation in the field of the military-industrial complex // Economic aspects of technological development of modern industry 11/2018. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Moscow Polytechnic University (MAMI). Moscow: Scientific Consultant Publishing House, 2018. pp.220-223.
6. Chebotarev S.S., Melnikov G.N. A dual approach to assessing the effectiveness of management of organizations of knowledge-intensive sectors of the economy in the field of public procurement // Bulletin of Aerospace Defense. 2019. No. 2 (22). pp. 5-14.
7. Chebotarev, S. S. Vectors of innovation management of high-tech industrial organizations: methodological aspects / S. S. Chebotarev, B. V. Proskurin, V. A. Elshin. – Moscow : Rusains Limited Liability Company, 2022. – 148 p.
8. Chebotarev, S. S. Methodology of strategic management of high-tech industrial enterprises based on the theory of efficiency and investment analysis / S. S. Chebotarev, V. A. Yelshin, A. Ya. Chernysh. – Moscow : Rusains Limited Liability Company, 2023. – 184 p
9. Ivanter V.V., Porfiriev B.N., Shirov A.A., Shokin I.N. Fundamentals of structural and investment policy in modern Russian conditions // Bulletin of the Financial University. – No. 1. – 2017. – pp. 6-16.
10. Economics of emergency situations: theory. Volume 1: monograph/ S.S. Chebotarev, A.I. Ovsyanik, A.S. Rodionov, R.M. Yusupov; edited by S.S. Chebotarev. – Moscow: RUSAIN, 2021. – 174 p.
11. Chebotarev S.S., Melnikov G.N. Genesis of methods for evaluating the effectiveness of complex innovative military and dual-use products and evaluating the effectiveness of R&D on their creation and modernization // Scientific Bulletin of the military-industrial complex of Russia. 2019. No. 1. pp. 58-67.
12. The role of assessing the quality of goods of the enterprise. Chebotarev S.S., Chebotarev V.S., Zenova E.N., Stokov A.A., Shokh M.A., Elfimov O.M., Ionov V.A., Khmyz A.N. Textbook / Moscow, 2021.
13. Chebotarev S.S. Design and investment approach in evaluating and managing the efficiency of enterprises and clusters of the defense industry. "Digit" is a reality changing the world:

- the readiness of the Russian economy for the new rules of the game" 13/2019/ proceedings of the National Scientific and Practical Conference. pp.191-195.
14. [http://static.government.ru "media/files/....pdf](http://static.government.ru/media/files/....pdf) (accessed 02/22/2024).
  15. [dzen.ru "a/Zdw34Kkc6ljoCe7X](http://dzen.ru/a/Zdw34Kkc6ljoCe7X) (accessed 02/22/2024).
  16. Strategy for the development of the shipbuilding industry for the period up to 2035. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated October 28, 2019 No. 2553-R.
  17. Ansoff I. Strategic Management: Short translation from English/ Scientific ed. and author's preface by L.And Evenko – М.: Economics, 1988, 519 p.
  18. Simonin P.V., Bogachev V.V., Bogacheva T.V., Vetrova E.A. Strategies for the development of industry 4.0 and the formation of effective demand. The Eurasian Scientific Journal. 2023; 15(1): 79ECVN123. Available at: <https://esj.today/PDF/79ECVN123.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/79ECVN123
  19. [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org) (accessed 02/22/2024).

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

**Чеботарев Владислав Стефанович**, д.э.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт автоматической аппаратуры имени академика В.С. Семенихина», 117393, Москва, ул. Профсоюзная, д. 78, e-mail: [vschebotarev@rambler.ru](mailto:vschebotarev@rambler.ru)

**Vladislav S. Chebotarev**, Doctor of Economics, Professor, Chief Scientist, JSC "Order of the Red Banner of Labor Scientific Research Institute of Automatic Equipment named after Academician V.S. Semnikhin", 117393, Moscow, ul. Trade Union, 78

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

**Igor K. Kuzmichev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Volga State University of Water Transport, Nesterova, 5, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: [rector@vsuwt.ru](mailto:rector@vsuwt.ru)

Статья поступила в редакцию 05.03.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 05.03.2024; published online 20.06.2024.

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ, СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ**

### **WATER TRANSPORT OPERATION, WATERWAYS, COMMUNICATIONS AND HYDROGRAPHY**

УДК 656.62

DOI: 10.37890/jwt.v79.482

#### **Особенности планирования и оценки работы судов малых судоходных предприятий на современном этапе**

**Е.И. Вершинина**<sup>1</sup>

ORCID: 0009-0008-6632-9681

**М.В. Никулина**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0002-8973-4101

**Ю.И. Платов**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0003-1758-1684

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

**Аннотация.** В статье рассматривается один из возможных подходов к планированию и оценке работы судов малых судоходных предприятий на современном этапе. Существующие алгоритмы математического моделирования работы флота являются универсальными и вполне могут применяться для предприятий с малым числом судов, но при этом являются сложными, затратными и потому неэффективными, а следовательно, и невостребованными. В связи с этим, в статье ставится проблема разработки системы оперативного планирования и оценки работы флота малых судоходных предприятий в условиях современной экономики и тенденций применения информационных технологий, определяются цели разработки и реализации системы, ее конфигурация; раскрываются назначение и способы реализации компонентов системы. Называются методики, необходимые при разработке системы и также подлежащие разработке. Подчеркивается важность обоснования эффективности информатизации.

**Ключевые слова:** малое судоходное предприятие, система оперативного планирования и оценки работы флота, график Ганта, современные информационные технологии, автоматизированное рабочее место, эффективность информатизации.

#### **Features of planning and evaluation of the work of small shipping vessels enterprises at the present stage**

**Elena I. Vershinina**<sup>1</sup>

ORCID: 0009-0008-6632-9681

**Marina V. Nikulina**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0002-8973-4101

**Juri I. Platov**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0003-1758-1684

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

**Abstract.** The article considers one of the possible approaches to planning and evaluating the fleet operation of small shipping enterprises at the present stage. The existing algorithms for mathematical modeling of fleet operations are universal and can be used for enterprises with

a small number of vessels, but at the same time they are complex, costly and therefore inefficient, and therefore unclaimed. In this regard, the article poses the problem of developing a system for operational planning and evaluation of the fleet of small shipping enterprises in the context of modern economics and trends in the use of information technology, defines the objectives of the development and implementation of the system, its configuration; reveals the purpose and methods of implementing the components of the system. The methods necessary for the development of the system and also to be developed are named. The importance of substantiating the effectiveness of informatization is emphasized.

**Keywords** small shipping company, fleet operational planning and evaluation system, Gantt schedule, modern information technologies, automated workplace, informatization efficiency.

### **Введение**

В настоящее время в РФ транспортную деятельность на внутреннем водном транспорте (ВВТ) осуществляет 322 судоходных предприятия (СП), в эксплуатации находится более 40 тыс. судов [1]. В составе СП можно выделить свыше 30 крупных речных предприятий, сформированных на базе бывших пароходств и входящих на разной организационной основе в такие крупные объединения, как ПАО «НК «Роснефть», «Газпром», «Лукойл» и др. Остальные являются средними и малыми СП с небольшим числом судов. При этом понятие «малое судоходное предприятие» не определено ни в законодательном порядке, ни в научной литературе [2, 3]. В данной статье эта проблема выносится за скобки и, исходя из целей статьи, условно будем называть малым такое СП, у которого в эксплуатации находится от одного до максимум 8 судов или составов. Отличительными характеристиками малых СП являются ограниченная география перевозок и клиентская база, специализация на перевозках только нескольких родов грузов и отсутствие возможности расширять номенклатуру из-за ограничений по типу флота или его возрасту.

Для таких СП в научных работах до настоящего времени не уделялось должного внимания оперативному планированию работы флота несмотря на то, что они составляют большую долю в общем количестве СП [2, 3]. Для них вполне возможно создание системы планирования более простой, а следовательно, с меньшими сроками и единовременными затратами на разработку по сравнению с крупными СП [3].

### **Актуальность**

Вполне естественно, что условия работы и методы планирования и оценки работы судов малых СП должны существенно отличаться от крупных [4]. Между тем, как показано в аналитическом обзоре [4], исследования возможностей математического аппарата и адаптации его для решения задач, связанных с управлением флотом малой судоходной компании морского транспорта, не соответствует требованиям сегмента транспортного рынка, приходящегося на долю малых судоходных компаний. В работе [4] делается вывод о необходимости исследований применения математического моделирования в деятельности малых судоходных компаний. Такой вывод вполне справедлив для малых СП и при управлении работой речных судов, но с некоторой оговоркой. Так, сложные алгоритмы моделирования являются универсальными и могут применяться для СП с малым числом судов, но при этом являются неэффективными, а следовательно, и не востребуемыми [5, 6].

Поэтому для таких СП в условиях повышения уровня информатизации отрасли, учитывая их важную роль, а также специфику их работы, при разработке методов оперативного планирования и оценки работы судов необходим особый подход. Однако в настоящее время применительно к речному транспорту научных работ, в

которых рассматриваются вопросы управления работой флота малых СП, нами не найдено.

### **Формулирование проблемы**

Основными интегральными задачами оперативного управления (ОУ) работой речного флота для малого СП в условиях современной экономики и тенденций применения информационных технологий (ИТ), по нашему мнению, являются следующие две:

1. Разработка оперативных планов (ОП) путем выбора рациональных назначений судам в рамках заключённых договоров перевозки грузов и, в том числе, обеспечения сроков доставки грузов.

2. Реализация оперативных планов путем рейсового планирования работы каждого судна на каждом конкретном обороте (груженом и порожнем рейсах), круговом рейсе с учетом условий плавания и обеспечения безопасности.

Главной целью разработки ОП является максимизация прибыли СП путем минимизации рейсовых эксплуатационных расходов для каждого судна за счет оптимизации затрат на топливо и смазку и экономии расходов на комплексное обслуживание судна (КОФ). Минимизация затрат на топливо и смазку должна обеспечиваться путем регулирования режима движения судна по участкам водных путей на основе экономико-математических моделей [5, 6]. Экономия расходов на КОФ обеспечивается путем выбора пунктов обслуживания с учётом цен на обслуживание и, в том числе, цен на топливо и смазку.

Целью реализации ОП также является максимизация прибыли путем:

- выполнения функций непрерывного контроля и регулирования режима движения судов;
- минимизации их простоев на основе дислокации флота;
- учета, анализа и оценки результативности работы каждого судна и в целом всего флота СП.

Система ОП должна соответствовать базовым принципам, которые наиболее полно были сформулированы в работе [6]. Основным принципом является то, что эта система должна функционировать для каждого судна персонально в форме непрерывного календарного графика работы флота на любой произвольный период работы. Непрерывность означает, что при изменении эксплуатационной обстановки план пересчитывается. Таким образом, при такой постановке планирование совмещается с регулированием. Справедливости ради необходимо отметить, что принципы непрерывности и календарности были заложены еще Генри Л. Гантом [7], графики которого широко использовались в советский период в различных отраслях, в том числе и на речном транспорте. Под руководством В. Д. Левого система непрерывного оперативного планирования работы флота была разработана и внедрена на морском транспорте [8]. Гораздо позже, для современных рыночных условий управления работой флота морской судоходной компании, принципы непрерывности и календарности были сформулированы в работе [9].

Реализация такой системы невозможна без применения современных информационных технологий, в том числе экономико-математических моделей, что, применительно к малому СП, является непростой проблемой из-за сложности и неэффективности универсальных алгоритмов моделирования [5, 6]. Главным критическим требованием к реализации является необходимость создания простой, дешёвой и эффективной системы, пригодной для принятия решений по управлению работой флота.

Все сказанное выше убедительно доказывает важность и актуальность реализации особого подхода при разработке системы оперативного планирования и оценки работы судов малых СП в условиях информатизации отрасли.

### **Обоснование структуры и функций системы**

При разработке такой системы в условиях информатизации необходимо учитывать не только сформулированные ранее требования, но и работы по рассматриваемой проблеме [6, 8, 10, 11]. Это дало возможность сформулировать следующую конфигурацию системы оперативного планирования и оценки работы флота.

Во-первых, система должна функционировать в диалоговом режиме на базе автоматизированного рабочего места (АРМ).

Во-вторых, система должна обеспечивать выполнение следующих групп функций: планирования, учета, контроля, анализа и оценки работы флота.

В-третьих, эти функции должны выполняться специалистом (оператором), знающим предметную область и потому способным эффективно эксплуатировать АРМ.

АРМ включает в себя следующие основные программные компоненты (модули):

- моделирование движения судов и составов по заданному оператором режиму на основе выбранных им экономико-математических моделей [6];
- вычисление продолжительности отдельных операций (грузовой обработки, шлюзования, прохождения каналов и др.) по методам, заданным оператором;
- обработка дислокации флота (или других данных, получаемых, в том числе, в режиме реального времени) для формирования истории рейсов судов и составов;
- обработка плановых и фактических данных и выдача показателей по перевозкам и работе флота;
- отображение данных плановых и фактических рейсов и их визуальное сравнение;
- организация диалога (интерфейса) с пользователем (специалистом).

Рассмотрим более подробно назначение, цели и способы реализации названных выше компонентов.

Целями моделирования движения судов и составов являются определение времени движения и оптимизация расхода топлива по той или иной модели [6]. При этом определение параметров осуществляется с учетом всех значимых характеристик судов и условий плавания по участкам водных путей. Применение той или иной модели производится специалистом, исходя из условий договора перевозки и опыта его работы, на основе анализа эксплуатационных ситуаций, свойств груза и других факторов.

Продолжительность отдельных операций рейса определяется разными методами, которые также выбирает специалист.

История рейсов судов и составов (последовательность операций груженых и порожних рейсов) формируется на основе различных входных данных диспетчерской информации, а также других данных, получаемых в режиме реального времени. При этом предусматривается автоматический режим поступления и обработки данных по дислокации флота.

Обработка и отображение необходимых плановых и фактических данных также производится в автоматическом режиме на основе единой методики. Визуальное отображение, а также сравнение плановых и фактических операций наиболее удобно отображать на основе различных диаграмм Ганта, которые показывают календарное положение фактов и ход событий в хронологическом порядке [7]. Один из возможных способов представления информации с помощью графика Ганта, который на протяжении многих лет применялся в эксплуатационной деятельности судоходной

компании «БашВолготанкер», приведен на рис. 1. Выдача показателей производится в форме, допускающей интерактивный доступ к этой информации.



Рис. 1. Фрагмент оборота для судна пр. 1577, представленного на графике Ганта

Диалоговый режим используется при подготовке и вводе исходной и нормативно-справочной информации, задании методов и параметров вычисления операций, периодов планирования, выдаче показателей и так далее.

Важными функциями диалогового режима являются назначение судов и составов, в том числе при вводе их в эксплуатацию, изменение даты вывода их из эксплуатации, выбор оптимальных режимов движения в зависимости от эксплуатационных ситуаций в канальных и шлюзованных системах.

### **Обсуждение необходимых разработок для реализации функций системы**

Для реализации изложенного подхода к планированию и оценке работы судов необходимы разработка ряда моделей, методик и организация входной и нормативно-справочной информации (НСИ). При этом необходимо максимально воспользоваться результатами аналогичных разработок для крупных СП [5, 6, 8, 10, 11].

Так, для определения времени движения и оптимизации расхода топлива вполне применимы модели [6] с некоторой корректировкой, исходя из состава судов малых СП. В этом случае нет необходимости существенно перерабатывать и НСИ.

Однако, с учетом специфики планирования и оценки малых СП, в том числе диалогового режима, необходима разработка методик, которые условно можно разделить на три группы: безвариантные (обязательные), альтернативные и связанные с уровнем автоматизации передачи, приёма и обработки информации о работе судов.

К обязательным, в первую очередь, относятся методики:

- ситуационного выбора специалистом вариантов определения продолжительности операций рейса: путём моделирования, алгоритмического вычисления или на основе нормативов;
- разработки соответствующих алгоритмов по вводу информации в зависимости от уровня информатизации отрасли;
- формирования истории рейсов на основе различных входных данных, их источников и вариантов ввода;
- обработки плановых и фактических данных на заданный период с учетом входящих затрат судов и грузов;
- выдачи плановых и фактических показателей по отправлению грузов и работе флота по запросу пользователей;

- отображения данных плановых и фактических рейсов: отдельно и в сравнении;
- расчета эксплуатационных расходов;
- организации структуры и состава входной и нормативно-справочной информации.

К альтернативным и связанным с уровнем автоматизации могут относиться следующие методики:

- определения продолжительности операций рейсов судов: прохождения каналов, шлюзования, погрузки, выгрузки на разных причалах, комплексного обслуживания и др., а также ожидания их выполнения в зависимости от общего потока входящих и проходящих судов;
- определения технологий и алгоритмов ввода входных данных из разных источников и в зависимости от уровня информатизации предприятия и отрасли, а также формирования рейсовой информации, необходимой для оперативного управления работой флота.

### **Заключение**

Менее конкурентные на рынке перевозок малые СП вынуждены выискивать любые, даже минимальные резервы для повышения эффективности работы флота. В этих условиях планирование использования флота необходимо производить с большой детализацией, с учетом большого числа факторов, включая отдельные элементы времени рейса, отдельные статьи расходов за время рейса, режимы движения судна на различных участках пути [6]. Одним из вариантов достижения этой цели и является изложенный в статье подход к планированию и оценке работы судов малых СП. Реализация его в рамках АРМ требует определённых затрат, а, следовательно, требует обоснования эффективности информатизации. В работе [6] дана оценка затрат на разработку и реализацию автоматизированной системы непрерывного планирования работы флота (АСНП) крупных СП. В ней показано, что такие АСНП возможно и экономически целесообразно использовать на регулярно работающих предприятиях, имеющих более 10 судов. Однако в нашем случае одной из целей является упрощение, а, следовательно, и удешевление создания АРМ. Для малых СП крайне необходимо и уточнение источников эффективности. Поэтому целесообразно, на наш взгляд, провести оценку эффективности на основе работ [12, 13], с уточнением источников по рекомендациям [14]. На этой базе возможен особый вариант оценки, но эта тема уже выходит за пределы данной статьи.

### **Список литературы**

1. Судходные компании. [Электронный ресурс] – Режим доступа: 21.01.2024 <https://www.korabel.ru/catalogue/catalog/0/140.html>
2. Тимошек Е.С. Методическое обеспечение управления флотом малой судходной компании: автореф. дис. кан. техн. наук. – Владивосток: 2022. – 23 с.
3. Вершинина Е.И. Совершенствование оперативного планирования работы судов малых судходных предприятий. Научные проблемы водного транспорта, № 77, 2023. – С. 223-228. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi77>
4. Тимошек Е. С., Маликова Т.Е. Аналитический обзор моделей и методов в управлении работой флота. Эксплуатация морского транспорта, №4, 2021. - С. 38-51. DOI: <https://doi.org/10.34046/aumsuomt101/>
5. Платов А.Ю., Платов Ю.И. О построении универсальной имитационной модели грузовых перевозок на речном транспорте. Экономика и управление на транспорте / Вестник ВГАВТ - Н. Новгород, 2004. - Вып. 11. – С. 91-93.
6. Платов А.Ю. Методология оперативного планирования работой речного грузового флота в современных условиях: диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. - Н.Новгород: ВГАВТ. - 2010. - 193 с.

7. Кларк У. Графики Ганта. Учёт и планирование работы. 5-е изд. - Москва: Техника управления, 1931. - 124 с.
8. Левый В.Д. Оперативное управление работой флота – М.: Транспорт, 1981. – 157 с.
9. Киринос Д.А. Основные принципы управления работой флота морской судоходной компании в современных рыночных условиях. Научное обозрение. Технические науки, №5, 2020. - с.58-64. DOI: <https://doi.org/10.17513/srts.1317>
10. Ключкин Н.Е., Малышкин А.Г., Платов Ю.И. Опыт создания системы непрерывного бизнес-планирования в судоходной компании. Наука и техника на речном транспорте. - ЦБНТИ, Минтранс РФ, г. Москва. - вып. №3, 2001 г. – С. 13-17.
11. Платов А.Ю., Платов Ю.И. Проблемы внедрения аналитических информационных технологий на речном транспорте. Наука и техника транспорта, №3, 2010. – С. 42-45.
12. Макконнелл С. Сколько стоит программный проект. -М.: «Русская редакция», СПб.: Питер. 2007. - 207 с.
13. Деверадж С., Кохли Р. Окупаемость ИТ: измерение отдачи от инвестиций в информационной технологии. - М.: Новый изд. дом, 2005. - 178 с.
14. Платов Ю.И., Никулина М.В. Оценка эффективности использования информационных технологий на речном транспорте. Вестник ВГАВТ. - Вып. 52. – Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2017.- С. 165-173.

#### References

1. Sudohodnye kompanii. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: 21.01.2024 <https://www.korabel.ru/catalogue/catalog/0/140.html>
2. Timoshek E.S. Metodicheskoe obespechenie upravleniya flotom maloj sudohodnoj kompanii: avtoref. dis. kan. tekhn. nauk. – Vladivostok: 2022. – 23 s.
3. Vershinina E.I. Sovershenstvovanie operativnogo planirovaniya raboty sudov malyh sudohodnyh predpriyatij. Nauchnye problemy vodnogo transporta, № 77, 2023. – S. 223-228. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi77>
4. Timoshek E. S., Malikova T.E. Analiticheskij obzor modelej i metodov v upravlenii rabotoj flota. Eksploatatsiya morskogo transporta, №4, 2021. - S. 38-51. DOI: <https://doi.org/10.34046/aumsuomt101/>
5. Platov A.YU., Platov YU.I. O postroenii universal'noj imitacionnoj modeli gruzo-vyih perevozok na rechnom transporte. Ekonomika i upravlenie na transporte / Vest-nik VGAVT - N. Novgorod, 2004. - Vyp. 11. – S. 91-93.
6. Platov A.YU. Metodologiya operativnogo planirovaniya rabotoj rechnogo gruzovogo flota v sovremennyh usloviyah: dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhn. nauk. - N.Novgorod: VGAVT. - 2010. - 193 s.
7. Klark U. Grafiki Ganta. Uchyot i planirovanie raboty. 5-e izd. - Moskva: Tekhnika upravleniya, 1931. - 124 s.
8. Levyy V.D. Operativnoe upravlenie rabotoj flota – М.: Transport, 1981. – 157 s.
9. Kirnosov D.A. Osnovnye principy upravleniya rabotoj flota morskoy sudohodnoj kompanii v sovremennyh rynochnykh usloviyah. Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki, №5, 2020. - s.58-64. DOI: <https://doi.org/10.17513/srts.1317>
10. Klyukin N.E., Malyshekin A.G., Platov YU.I. Opyt sozdaniya sistemy nepreryvnogo biznes-planirovaniya v sudohodnoj kompanii. Nauka i tekhnika na rechnom transporte. - CBNTI, Mintrans RF, g. Moskva. - vyp. №3, 2001 g. – S. 13-17.
11. Platov A.YU., Platov YU.I. Problemy vnedreniya analiticheskikh informacionnyh tekhnologij na rechnom transporte. Nauka i tekhnika transporta, №3, 2010. – S. 42-45.
12. Makkonnell S. Skol'ko stoit programmnyj proekt. -М.: «Russkaya redakciya», SPb.: Piter. 2007. - 207 s.
13. Deveradzh S., Kohli R. Okupaemost' IT: izmerenie otdachi ot investicij v informacionnoj tekhnologii. - М.: Novyy izd. dom, 2005. - 178 s.
14. Platov YU.I., Nikulina M.V. Ocenka effektivnosti ispol'zovaniya informacionnyh tekhnologij na rechnom transporte. Vestnik VGAVT. - Vyp. 52. – N.Novgorod: izd. FGBOU VO «VGUVT», 2017.- S. 165-173.

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

**Вершинина Елена Ивановна**, аспирант кафедры Управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: elena.vershinina.98@yandex.ru

**Elena I. Vershinina**, postgraduate of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: elena.vershinina.98@yandex.ru

**Никулина Марина Владимировна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: marina\_platnik@rambler.ru

**Marina V. Nikulina**, 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, 603950, e-mail: marina\_platnik@rambler.ru

**Платов Юрий Иванович**, д.т.н., профессор, профессор кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: platov\_ji@mail.ru

**Juri I. Platov**, Dr. Sci. (Eng), professor of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: platov\_ji@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.01.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 24.01.2024; published online 20.06.2024.

УДК 656.6

DOI: 10.37890/jwt.v79.495

## **Обзор и анализ способов оценки влияния условий эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов на безопасность судоходства**

**С.С. Герасимов<sup>1</sup>**

**А.Н. Ситнов<sup>1</sup>**

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

**Аннотация:** в настоящее время на территории Российской Федерации существует и функционирует единая глубоководная система (ЕГС), имеющая общую протяженность водных путей 6500 км. Такие размеры создают условия её работы в контакте с работой другой важнейшей области хозяйственной деятельности – энергетики, в частности, с нефтегазовой отраслью. Магистральные трубопроводы, по которым осуществляется транспортировка нефти и нефтепродуктов, часто пересекают водные объекты, в том числе и судоходные реки. Нарушение условий безопасной эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов (ППМТ) может привести к серьезным авариям и, в некоторых случаях, к разливу нефтесодержащих продуктов в акваторию водных объектов, что нанесет серьезный экономический, экологический и социальный ущерб, в том числе для безопасности судоходства. Отсюда тема исследования, связанная с оценкой влияния условий эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов в разных аспектах хозяйственной деятельности, включая безопасность судоходства, является актуальной. В статье приведены сведения о проводившихся ранее исследованиях в данной области, изложена их ключевая проблематика, дана информация о методах и способах решения задач, а также обозначен вектор дальнейшего исследования.

**Ключевые слова:** безопасность судоходства, внутренние водные пути, единая глубоководная система, экология, магистральные трубопроводы, математическое моделирование

## **Review and analysis of methods for assessing the impact of operating conditions of underwater crossings of main pipelines on the safety of navigation**

**Sergey S. Gerasimov<sup>1</sup>**

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

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

**Abstract:** currently, a unified deep-water system (USS) exists and operates on the territory of the Russian Federation, with a total length of waterways of 6,500 km. Such dimensions create conditions for its work in contact with the work of another important area of economic activity - energy, in particular, with the oil and gas industry. Trunk pipelines through which oil and petroleum products are transported often cross water bodies, including navigable rivers. Violation of the conditions for the safe operation of underwater crossings of main pipelines (UPC) can lead to serious accidents and, in some cases, to the spill of oil-containing products into water bodies, which will cause serious economic, environmental and social damage, including the safety of navigation. Hence, the research topic related to assessing the influence of operating conditions of underwater crossings of main pipelines in various aspects of economic activity, including navigation safety, is relevant. The article provides information about previously conducted research in this area, outlines their key issues,

provides information on methods and methods for solving problems, and also outlines the vector for further research.

**Keywords:** shipping safety, inland waterways, unified deep-water system, ecology, main pipelines, mathematical modeling

### **Введение**

В связи с необходимостью интенсивного развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации, обусловленной его сравнительной дешевизной и экологичностью, вопрос безопасности судоходства, связанный со скоростным движением судов в местах пересечения судового хода и подводных переходов, был и остается злободневным. Понимая под безопасностью судоходства состояние судоходной системы на внутренних водных путях, при котором риск причинения вреда жизни, здоровью и нанесения ущерба законным интересам людей, окружающей среде, имуществу снижен до приемлемого уровня, его поддержание на этом (либо более низком уровне) возможно посредством непрерывного процесса выявления источников опасности и контроля факторов риска. Основными факторами риска являются размыв дна в месте прокладки трубопровода, связанный со скоростями течения реки и движением судна, а также просадка корпуса судна на мелководье, зависящая во многом так же от его скорости. В сущности, эксплуатация подводных переходов магистральных трубопроводов имеет прямое отношение к безопасности судоходства, так как выход трубопровода из строя может, а вероятно и будет, сопровождаться его всплытием или разгерметизацией вследствие механических повреждений, вызванных, в том числе, и столкновением с корпусом судна или другими его частями. Это приведет к ограничению или полной остановке судоходства на участке аварии (происшествия) [1][2].

Наличие в практике аварий на магистральных трубопроводах, вызванных влиянием судоходства, внушительные объемы потенциально возможного ущерба, в том числе и экологического, а также отсутствие в настоящее время в Российской Федерации правового механизма регулирования скоростного движения судов и составов на участках, где проложены магистральные трубопроводы, делают задачу о взаимном влиянии характера движения судов и состояния трубопроводов по-настоящему важной и требующей своего исследования и практического разрешения[3][4].

### **Проблематика исследования и постановка задачи**

Прежде чем перейти к постановке задачи, несколько слов о видах взаимодействия судна и трубопровода. По большому счету, количество сценариев взаимодействия магистрального трубопровода (МТ) и судна не так уж и велико. Среди них можно выделить прямое и посредственное.

*Прямое взаимодействие* заключается в механическом контакте судна и трубопровода, когда судно задевает корпусом или другим своим элементом (например, движительно-рулевым комплексом, якорем) сам трубопровод, подвергая тем самым его серьезной опасности. Для возникновения такой ситуации необходимо либо чтобы трубопровод, «всплыл» к поверхности водного объекта, либо судно коснулось оголенной части трубопровода. Такое возможно лишь в случае, когда в пределах подводного перехода магистрального трубопровода возник его провис или оголение значительной протяженности и трубопровод впоследствии всплыл вверх. Говоря о провисах, оголениях и прочих отклонениях планово-высотного положения трубопровода, важно заметить, что переформирование рельефа дна водного объекта, которое и может потенциально привести к «всплытию» трубопровода, происходит под влиянием не только естественного водного потока, но и в результате движения судов при вращении гребного винта и возникающих волновых процессах. Таким

образом, судоходство также оказывает влияние на условия эксплуатации магистральных трубопроводов, и рассматриваемая задача имеет двойственный характер: безопасность судоходства зависит от условий эксплуатации МТ и наоборот [5].

К *посредственному взаимодействию* можно отнести аварию на магистральном трубопроводе, вызванную не судоходством, а другими обстоятельствами. Но и в этом случае последствия аварии будут оказывать на судоходство прямое негативное влияние. Утечка нефти, например, непременно вызовет ограничение судоходства на конкретном участке.

Таким образом, проблема взаимосвязи судоходства и эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов сводится к сложному комплексному исследованию волновых процессов, создаваемых движущимся судном, влияющих на переформирование рельефа дна. В общем виде задача взаимодействия струи от гребного винта с грунтом была исследована ранее и на определенном уровне в части размыва и т.д. уже решена [6]. Однако вопрос динамики и интенсивности русловых переформирований в местах расположения трубопроводов, находящихся в ненормативном состоянии (в условиях оголения или провиса (рис.1)) не исследован, несмотря на его высокую значимость для безопасной эксплуатации системы «судно-трубопровод». Она определяется наличием многочисленных фактов ненормативного состояния трубопроводов, подтвержденных практикой.

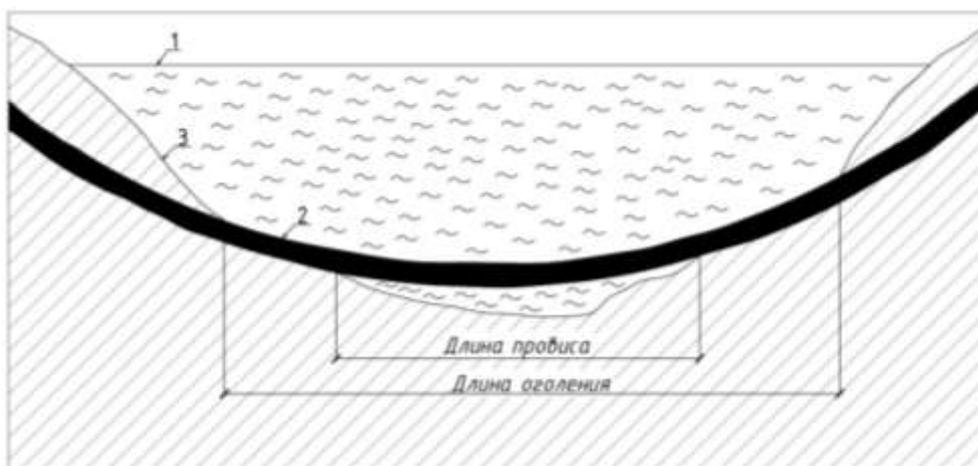


Рис. 1. Магистральный трубопровод в условиях оголения и провиса

Условные обозначения: 1 – уровень воды, 2 – магистральный трубопровод, 3 – русло реки

В сущности, наша задача является логическим продолжением результатов исследований, представленных в работе [6], и сводится к качественному и количественному анализу волновых процессов, возникающих при движении судна с целью определения интенсивности и характера донных переформирований. Для его выполнения разработаны схемы, поясняющие характер взаимодействия элементов системы «судно-трубопровод» (рис. 2-3).

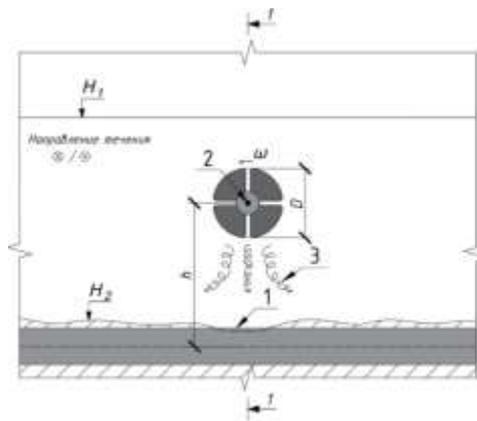


Рис. 2. Общая расчетная схема

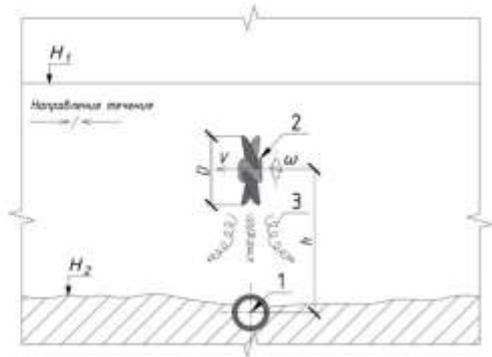


Рис. 3. Сечение 1-1

Условные обозначения: 1 – магистральный трубопровод, 2 – гребной винт, 3 – волновые вихри.

К основным параметрам, имеющим разную величину при такой постановке задачи, относятся: диаметр гребного винта  $D$  [мм], расстояние между осью вращения гребного винта и осью расположенного на дне реки трубопровода  $h$  [мм], скорость вращения гребного винта  $\omega$  [рад/с], линейная скорость судна  $V$  [м/с], отметка уровня воды  $H_1$  [м], отметка дна реки  $H_2$  [м]. Учет влияния большого числа факторов, изменяющихся по величине, на русловой процесс, требует своего методического обоснования.

#### Методические подходы к решению поставленной задачи

В сущности, количественное и качественное исследование волновых процессов, возникающих при вращении гребного винта, происходит за счет оперирования такими физическими величинами, как скорость движения жидкости  $v$  (в скалярном и векторном виде), турбулентная кинетическая энергия  $Tke$ , позволяющая на определенном уровне оценить завихрения в турбулентном потоке, сдвиговое напряжение стенки  $\tau$  и некоторыми другими [7][8].

Независимо от используемого метода, исследование предполагается проводить в два основных этапа.

На первом этапе, где производится количественное обоснование параметров системы «судно-трубопровод», происходит процесс фиксации интересующих нас волновых процессов в заданной области с помощью установленных заранее индикаторов. Рассмотрим алгоритм данного этапа на примере математического моделирования, включающего создание математической модели с заданными граничными условиями. С помощью специализированного программного комплекса имитируется вращение гребного винта для последующего количественного определения изменения скорости и направления течения воды в области, расположенной под винтом. Для этого в математической модели создаются несколько горизонтальных сечений  $\Gamma_i$ , расположенных под винтом и несколько произвольных объемов  $V_j$  у дна вблизи оголенного и(или) провисшего трубопровода (рис. 4), представляющие собой своеобразные индикаторы. С помощью последних отслеживается изменение скорости на разной глубине под винтом, что в дальнейшем, после обработки результатов моделирования, позволяет получить кривые изменения максимальной скорости вихревых потоков по глубине. Под скоростью вихря понимается скорость движения воды, вызванная вращением гребного винта.

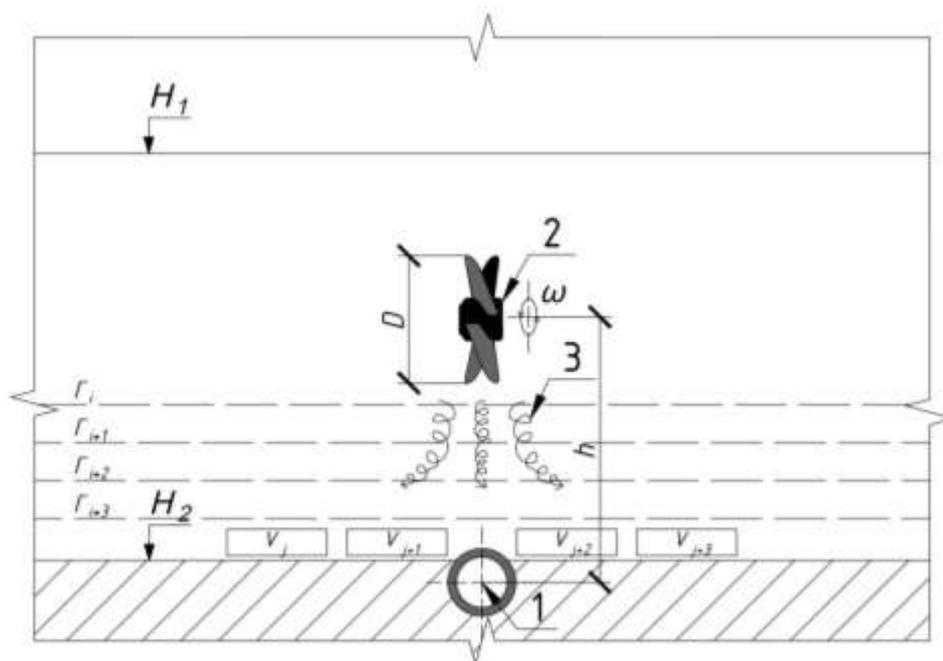


Рис. 4. Схема размещения контрольных индикаторов

В процессе расчета модели осуществляется мониторинг изменения максимальной скорости течения жидкости в пределах каждого индикатора при разной скорости вращения гребного винта. Программа позволяет самостоятельно настроить соответствующий график – график изменения во времени максимальной скорости в заданной области (индикаторе).

Получив представительный массив данных о максимальных скоростях вихря на разных глубинах под винтом (рис.5), появляется возможность построения графика изменения максимальной скорости по глубине при конкретной скорости вращения гребного винта (рис.6). На рисунке 7 представлен график изменения максимальной скорости вихря в пределах контрольных объемов V1 и V2.

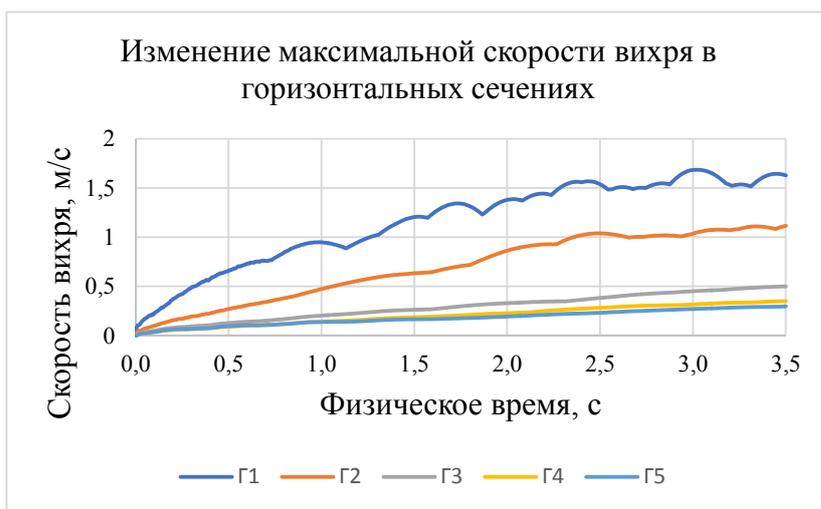


Рис. 5. Изменение максимальной скорости вихря в каждом сечении  $\Gamma_i$

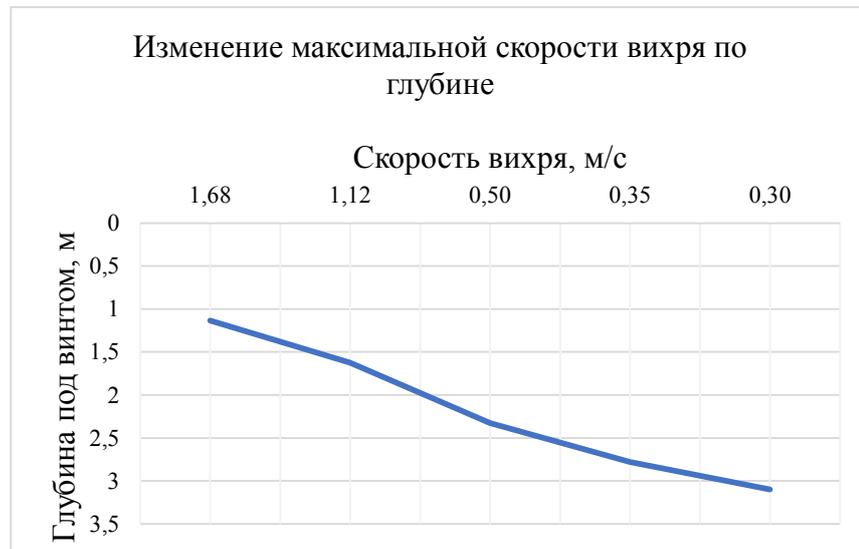


Рис.6. Изменение максимальной скорости вихря по глубине под винтом

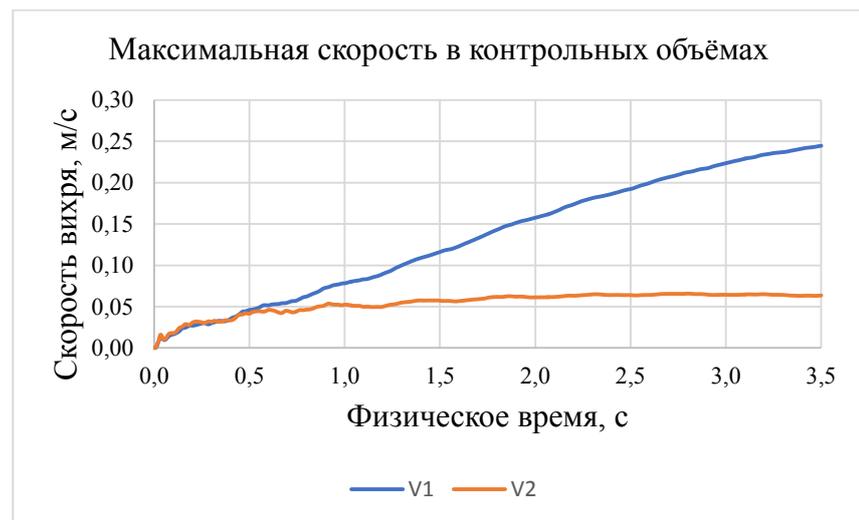


Рис. 7. Изменение максимальной скорости вихря в пределах контрольных объёмов

Все эти графики, представленные в данной статье, получены при расчете модели, в которой была реализована имитация вращения гребного винта, наружный диаметр которого составляет 1,8 м, со скоростью вращения 20 рад/с, не имеющего при этом линейного перемещения и при отсутствии дополнительных источников движения воды в расчетной области. Моделирование движения жидкости осуществлялось через решение системы гидродинамических уравнений Навье-Стокса, для учета и описания турбулентности использовалась модель  $k - \epsilon$ . Для фиксации волновых вихрей было установлено пять горизонтальных сечений  $\Gamma_{1-5}$  и два контрольных объёма  $V_{1-2}$ . Разработанная модель состоит из области Континуума и Вращающейся области. Континуум представляет собой трёхмерную расчетную область установленных размеров со спокойной водой, Вращающаяся область включает в себе гребной винт и некоторое пространство вблизи него.

В таблице 1 представлены сведения о расположении горизонтальных сечений  $\Gamma_i$  и зафиксированных в их пределах максимальных скоростях вихря. За условный «0» глубины принят горизонт, проходящий через самую низкую точку поверхности гребного винта, и имеющий координату по оси  $y$ : 1,131949 м.

Таблица 1

**Расположение горизонтальных сечений и максимальные скорости вихря**

№ горизонта	Координата $y$ , м	Глубина от условного «0», м	Максимальная скорость вихря, м/с
$\Gamma_1$	-0,001	1,13	1,68
$\Gamma_2$	-0,493	1,62	1,12
$\Gamma_3$	-1,195	2,33	0,50
$\Gamma_4$	-1,648	2,78	0,35
$\Gamma_5$	-1,969	3,10	0,30

В векторном виде волновые процессы, возникающие при вращении винта, представлены на рисунке 8.

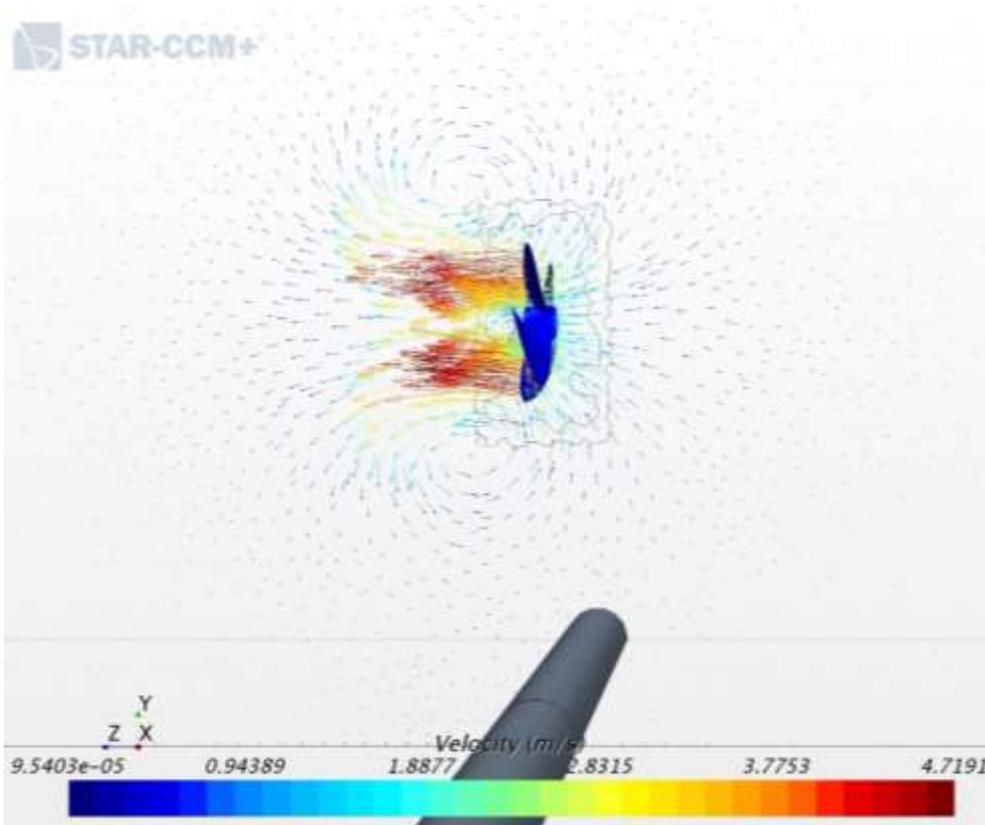


Рис. 8. Векторное представление волновых процессов от вращения винта

После установления характера изменения максимальной скорости в заданном направлении для каждого индикатора при заданной скорости вращения винта, строится график изменения глубины  $h$ , на которую распространяется максимальная скорость вихревого потока при рассматриваемой скорости вращения винта (связь

между вращением винта и скоростью судна будет устанавливаться нами впоследствии).

В результате получается множество кривых  $h = f(\omega)$ , каждая из которых отражает тенденцию распространения определенной скорости вихря, численно равной размывающей скорости для конкретного типа грунта.

Важно заметить, что полученные в процессе моделирования графики представляются набором дискретных значений и подлежат качественной обработке, которая выполняется с помощью анализа Фурье [9].

В результате исследования получается совокупность кривых, анализируя которые делаются выводы о размерах области распространения волновых процессов при вращении гребного винта. Кривые показывают величину вихревой области  $h$ , представляющую собой глубину распространения опасной с точки зрения эрозии скорости вихревого потока.

Оценка адекватности математической модели и достоверности полученных результатов может быть произведена с помощью одного из критериев, используемых для оценки устойчивости численного решения, такого как критерий Куранта-Фридриха-Леви [10][11][12]. На рисунках 9 и 10 представлены графики изменения числа Куранта в области Континуума и во Вращающейся области в процессе расчета модели, о которой было сказано выше.

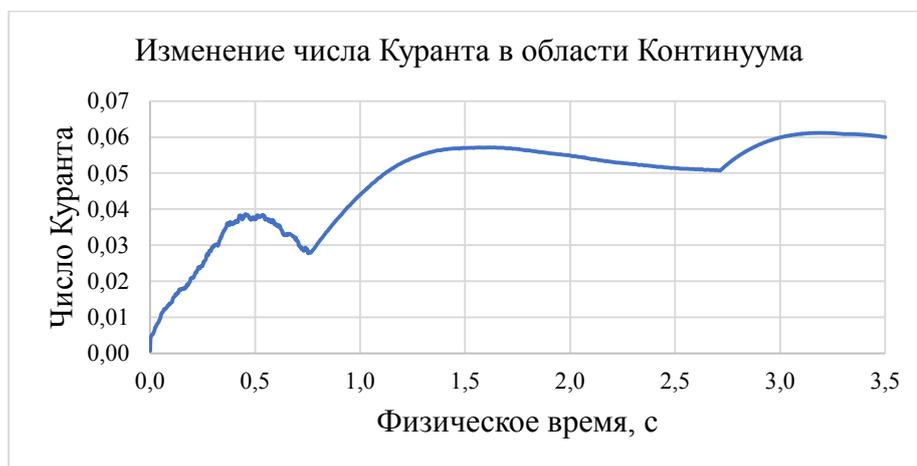


Рис. 9. Изменение числа Куранта в области Континуума



Рис. 10. Изменение числа Куранта во Вращающейся области

Как видно из рисунка, значение числа Куранта имеет максимальное значение 0,061 для области Континуума и 0,76 для Вращающейся области. Это свидетельствует о хорошей устойчивости численного решения. В общем случае, согласно опыту исследователей, занимающихся численным моделированием, значение Куранта должно быть не выше единицы, в противном же случае необходимо пересмотреть модель, как правило, в части задания граничных условий. Серьезные проблемы для сходимости решения представляет некорректное описание физики моделируемых процессов.

После получения кривых распространения в пространстве (по глубине) скоростей вихря, равных размываемым скоростям для разных видов грунтов, производится качественный анализ результатов, сущность которых, применительно к решаемой задаче, будет рассмотрена впоследствии.

### **Заключение**

Выбранная научная проблема, в основе которой лежит исследование взаимного влияния судоходства и эксплуатации магистральных трубопроводов с позиции безопасности обоих, является значимой, сложной и интересной с точки зрения подходов к решению, методов и способов реализации результатов.

Подходы к исследованию характера и интенсивности русловой эрозии на участке оголенного или провисшего трубопровода – одна из основных задач исследования. Рассматриваемая в работе задача решается в упрощенном виде взаимодействия элементов системы «судно-трубопровод», в частности – в условиях стоячей воды. Вектор дальнейшего исследования направлен на учет влияния на рассматриваемую систему таких факторов как скорость и направление естественного течения водного объекта, тип грунта, слагающего русло, скорость движения судна и других. Анализ волновых процессов, возникающих при вращении гребного винта, предполагается проводить с применением современных инструментов численного и лабораторного моделирования, в результате чего рассмотренные в статье методические подходы к решению задачи получат свою апробацию.

### **Список литературы**

1. Гришанин К. В. Водные пути / К. В. Гришанин, В. В. Дегтярев, В. М. Селезнев. — М.: Транспорт, 1986. — 400 с.
2. Орлович К. С. Внутренние водные пути и судоходная обстановка / К. С. Орлович, И. Е. Шмерлинг. — М.: Транспорт, 1977. — 216 с.
3. Орлович К. С. Внутренние водные пути и судоходная обстановка / К. С. Орлович, И. Е. Шмерлинг. — М.: Транспорт, 1977. — 216 с.
4. Положение о расследовании аварий или инцидентов на море: приказ Минтранса России от 8.10.2013 №308.- М.: МОРКНИГА, 2018.
5. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. учебник для вузов: Ч. 2. Специальные вопросы / Н. М. Константинов; под общ. ред. Н. М. Константинова. — М.: Высш. шк., 1987. — 431 с.
6. М.П. Лобачев, А.В. Пустошный, К.Е. Сазонов, И.А. Чичерин. Численное моделирование взаимодействия струи от винта с грунтом. Сборник научных трудов «Фундаментальная и прикладная гидрофизика». УДК 551.46 (075.8).
7. Katritsis, Demosthenes (2007). "Wall Shear Stress: Theoretical Considerations and Methods of Measurement". *Progress in Cardiovascular Diseases*. 49 (5): 307–329.
8. Hibbeler, R.C. (2004). *Mechanics of Materials*. New Jersey USA: Pearson Education. p. 32. ISBN 0-13-191345-X
9. Howell, Kenneth B. *Principles of Fourier Analysis*. — CRC Press, 2001. — ISBN 978-0-8493-8275-8.
10. R. Courant, K. Friedrichs, H. Lewy. Über die partiellen Differenzgleichungen der mathematischen Physik // *Mathematische Annalen*. — 1928. — Т. 100, № 1. — С. 32—74.
11. Patankar S. *Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics / Per. from English*. — М.: Energoatomizdat, 1984. — 152 p.

12. Андреев В.А., Пустошный А.В. Расчетное исследование потока при натекании на гребной винт тянущей винто-рулевой колонки. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; 1(383): 73–80.

#### References

1. Grishanin, K.V. Waterways / K.V. Grishanin, V.V. Degtyarev, V.M. Seleznev. - M.: Transport, 1986. - 400 p.
2. Orlovich K. S. Inland waterways and the shipping situation / K. S. Orlovich, I. E. Shmerling. - M.: Transport, 1977. - 216 p.
3. Gutsulyak, V.N. Rules for navigation on inland waterways of the Russian Federation with comments. - M.: Center for Maritime Law, 2015.
4. Regulations on the investigation of accidents or incidents at sea: order of the Ministry of Transport of Russia dated October 8, 2013 No. 308. - M.: MORKNIGA, 2018.
5. Hydraulics, hydrology, hydrometry. textbook for universities: Part 2. Special issues / N. M. Konstantinov; under general ed. N. M. Konstantinova. - M.: Higher. school, 1987. - 431 p.
6. M.P. Lobachev, A.V. Pustoshny, K.E. Sazonov, I.A. Chicherin. Numerical modeling of the interaction of the propeller jet with the ground. Collection of scientific works "Fundamental and applied hydrophysics". UDC 551.46 (075.8).
7. Katritsis, Demosthenes (2007). "Wall Shear Stress: Theoretical Considerations and Methods of Measurement". Progress in Cardiovascular Diseases. 49 (5): 307–329.
8. Hibbeler, R.C. (2004). Mechanics of Materials. New Jersey USA: Pearson Education. p. 32. ISBN 0-13-191345-X.
9. Howell, Kenneth B. Principles of Fourier Analysis. — CRC Press, 2001. — ISBN 978-0-8493-8275-8.
10. R. Courant, K. Friedrichs, H. Lewy. Über die partiellen Differenzgleichungen der mathematischen Physik // Mathematische Annalen. — 1928. — T. 100, № 1. — С. 32—74.
11. Patankar S. Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics / Per. from English. – M.: Energoatomizdat, 1984. – 152 p.
12. Andreev V.A., Pustoshny A.V. Calculation study of the flow when a pulling rudder column flows onto the propeller. Proceedings of the Krylov State Scientific Center. 2018; 1(383): 73–80.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Герасимов Сергей Сергеевич**, аспирант кафедры водных путей и гидротехнических сооружений, «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: Gerasimov.s.sergeevich@mail.ru

**Sergey S. Gerasimov**, postgraduate student of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

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

**Aleksandr N. Sitnov**, professor, doctor of technical sciences, head of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 12.04.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 12.04.2024; published online 20.06.2024.

УДК 629.5.051

DOI: 10.37890/jwt.v79.483

## **Оценка возможного влияния на безопасность гражданского судоходства существующих концепций «навигационного давления»**

**Н.О. Кириллов**

*Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Г. Калининград, Россия*

**Аннотация.** Рассмотрены особенности спутниковой навигационной системы GPS, как системы первоначально военного назначения. Обобщен опыт ее боевого применения в последних военных конфликтах, в том числе при проведении специальной военной операции. Выявлены многочисленные сбои приема сигналов GPS гражданскими пользователями, в том числе авиаперевозчиками и судоводителями при работе GPS в военной обстановке. Рассмотрены основные положения принятой в США концепции навигационной войны, одним из элементов которой является GPS и основные цели, которые она преследует. Произведена оценка возможного влияния положений навигационной войны на безопасность гражданского судоходства и обозначены основные направления работы по минимизации этого влияния. Обозначено повышение роли и места мореходной астрономии, как абсолютно автономного средства навигации, пригодного для применения в любом районе Мирового океана.

**Ключевые слова:** Глобальная навигационная спутниковая система, навигационная война, навигационная безопасность гражданского судоходства, средства и методы обеспечения безопасности, мореходная астрономия.

## **Assessment of the possible impact on the safety of civil navigation of existing concepts of «navigation pressure»**

**Nikolai .O. Kirillov**

*Baltic State Academy of Fishing Fleet KSTU, Kaliningrad, Russia.*

**Abstract.** The features of the global satellite GNSS GPS, as originally a system for military purposes, are considered. The experience of its combat use in recent military conflicts, including during a special military operation, is summarized. Numerous failures in the reception of GPS signals by civilian users, including air carriers and navigators, have been identified when operating GPS in a military environment. The main provisions of the concept of navigation warfare adopted in the United States, one of the elements of which is GNSS GPS and the main goals that it pursues, are considered. An assessment was made of the possible impact of the provisions of the navigational war on the safety of civil navigation and the main directions of work to minimize this impact were outlined. The increasing role and place of nautical astronomy is indicated, as a completely autonomous means of navigation, suitable for use in any area of the World Ocean.

**Keywords:** Global navigation satellite system, navigation warfare, navigational safety of civil shipping, means and methods of ensuring safety, nautical astronomy.

### **Введение**

Появление систем спутниковой навигации привело к поистине революционным изменениям в практике судовождения. Сегодня трудно себе представить деятельность судоводителя без применения систем спутниковой навигации.

Однако при этом следует помнить, что практически все системы спутниковой навигации, как низкоорбитные системы первого поколения американская «Транзит» и отечественная «Парус», так и среднеорбитные системы второго поколения американская GPS и отечественная ГЛОНАСС, изначально создавались как системы военного назначения.

При этом для гражданских пользователей, в том числе и для гражданского судоходства, предоставлялись и предоставляются только достаточно ограниченные из всех существующих функциональные возможности таких систем.

Вместе с тем внедрение в практику судоходства возможностей ГНСС привели к выводу из эксплуатации или консервации наземных радиотехнических средств, таких как радионавигационные системы Лоран-С, Декка, Омега, РСДН-3, РСДН-20, РСВТ-1, Марс-75 и др., большинства круговых и секторных радиомаяков. На судах флота практически исчезли радиопеленгаторы и приемная аппаратура наземных радионавигационных систем.

Это привело к тому, что фактически ГНСС стали практически безальтернативными средствами обеспечения судоходства, при этом абсолютно доминирующую позицию в этом занимает американская ГНСС GPS.

Вместе с тем, опыт использования GPS, особенно за последнее время, которое характеризуется резким возрастанием напряженности военно-политической обстановки в мире, показал резкое возрастание вероятности ее отключения как над определенной территорией, так и выхода ее из строя в целом, особенно в предвоенный или военный период.

Такой выход из строя или даже временное отключение системы спутниковой навигации резко повышает вероятность навигационных происшествий, что негативно отражается на безопасности судоходства, особенно гражданского. Это связано с тем что судовая приемная аппаратура гражданских судов не имеет возможности работать в условиях боевого применения систем спутниковой навигации.

Выработка и реализация мероприятий, позволяющих учесть такую вероятность, является крайне актуальной научно-технической задачей.

#### **Анализ особенностей ГНСС GPS, как системы военного назначения и опыта ее применения в военных конфликтах**

ГНСС GPS разработана по заказу Министерства Обороны и находится под управлением Военно-воздушных сил США.

Основными разработчиками и создателями системы являются американские компании Rockwell International Spase Sistem Division, Martin Marietta Astro Spase Division, IBM, Federal System Company и др.

Навигационные спутники GPS передают радиосигналы на двух частотах: L1 (575,42 МГц) и L2 (1227,60 МГц). На частоте L1 эти сигналы кодируются C/A-кодом (кодом свободного доступа) и P-кодом (Protected – кодом санкционированного доступа), а на частоте L2 только P-кодом.

Для гражданских пользователей, в том числе и для гражданских судов, доступен сигнал только на частоте L1.

Помимо этого при создании GPS на частоте L1 была заложена возможность включения селективного доступа (Selective Availability – S/A), то возможность внесения в сигнал дополнительных погрешностей системного времени и орбит навигационных спутников, заметно снижающей точность определения координат пользователя.

В мае 2000 года руководством США было объявлено об официальном отключении этого режима. Однако техническая возможность его включения осталась, и нет никакой гарантии того, что при военной или политической необходимости он может быть задействован.

Использовать сигнал, кодированный Р-кодом могут выполнять только пользователи, получившие соответствующее разрешение Министерства обороны США, в первую очередь потребители Вооруженных сил США и их союзников.

Помимо этого в целях дополнительной защиты в рамках Р-кода режим AS (Anti Spoofing). При его включении осуществляется дополнительное кодирование Р-кода с целью его модификации в Y-код. Декодирование Y-кода можно выполнить только с применением специального криптографического кода, установленного в аппаратуре потребителя.

Подобная структура навигационных сигналов обусловлена требованиями Министерства Обороны США, как основного заказчика системы, который иногда называют принципом «трех Р» [1]:

- Preservation – ответственность за уверенный прием навигационного сигнала гражданским пользователям только за пределами зоны боевых военных действий, установленной Министерства обороны США;
- Protection – возможность противостоять действиям вероятного противника по блокировке навигационных сигналов GPS для применения в военных целях;
- Prevention – блокировка использования навигационных сигналов GPS вероятным военным противником.

«Preservation» предполагает, что применение гражданскими пользователями GPS может быть ограничено в пределах зоны военных действий, либо в пределах территории, которую руководство США посчитают такой зоной. Причем подобное ограничение может быть введено не только по военным, но и по политическим или экономическим причинам.

Принцип «Protection» предполагает, что сигнал GPS должен быть доступен для военного применения в любых условиях, в том числе при использовании противником сил и средств радиоэлектронной борьбы.

Принцип «Prevention» предполагает отключение или искажение навигационных сигналов GPS на определенных территориях по выбору руководства США.

Эти принципы были реализованы во всех известных военных конфликтах последних лет с участием вооруженных сил США, или в конфликтах, где США имели свои военные, экономические или политические интересы, не участвуя в боевых действиях напрямую.

Опыт показывает, что зонах этих конфликтов гражданские пользователи GPS получали либо заведомо искаженные сигналы, либо не получали их вовсе [2].

Впервые военное применение GPS в режиме закрытого доступа было выполнено в ходе операции «Лис пустыни» в Ираке в 1998 году.

Затем то же самое было продемонстрировано в ходе операций в Югославии в 1999 году, в Афганистане в 2001–2002 годах, в Ираке в 2003 году.

Так если в операции «Буря в пустыне» в 1991 в Персидском заливе против Ирака с использованием низкоорбитальной спутниковой системы первого поколения «Гранзит» применялись 10 % высокоточных боеприпасов, то уже в в ходе операций «Лис пустыни» в Ираке в 1998 году и «Решительная сила» в Югославии в 1999 году с использованием спутниковой системы GPS – 95 % [3].

В период первой и второй войны на Северном Кавказе на территории Чеченской Республики, и в период грузино-осетинской войны силовыми структурами РФ было отмечено, что приемная аппаратура GPS либо переставала принимать навигационные сигналы и выключались, либо существенно возрастали погрешности определения координат до 800 метров и более.

К настоящему времени навигационные сигналы GPS используются США и их союзниками не только в целях собственно военной навигации, но и для применения абсолютного большинства высокоточных боеприпасов и беспилотных летательных и морских аппаратов.

Во всех рассмотренных военных конфликтах гражданские потребители в зоне боевых действий и в прилежащих зонах были либо вовсе лишены возможности принимать сигналы GPS, либо наблюдалось резкое снижение точности работы системы, что весьма негативно сказывалось как на полетах гражданской авиации так и на судовождении, не говоря уже об обычных пользователях бытовых навигаторов.

Однако наиболее ярко особенности применения GPS в военных целях были продемонстрированы и демонстрируются в настоящее время в ходе специальной военной операции на Украине.

По данным открытой печати [4,5] фиксируются многочисленные случаи сбоя работы GPS, причем как непосредственно в зоне боевого соприкосновения и в прилежащих районах, так и над другими территориями Российской Федерации (в Крыму, в Москве, в Санкт-Петербурге, в Новороссийске и др.), и даже над территориями приграничных государств. Так зафиксированы сбои работы GPS над приграничными районами Польши, Финляндии, Румынии и Болгарии.

Обусловлено это двумя основными факторами:

- реализацией руководством США принципов концепции так называемой навигационной войны (Navigation Warfare);
- противодействием со стороны Российской Федерации реализации этих принципов за счет активного применения средств радиоэлектронной борьбы и других методов вооруженной борьбы.

То же самое в той или иной мере наблюдается и в зонах других вооруженных конфликтов.

Так по данным печати [6] прием гражданского сигнала GPS крайне затруднен над территорией Сирии и в южной части Персидского залива. В ходе вооруженного конфликта между Израилем и группировкой «Хезболла» прием сигналов GPS для гражданских пользователей стал невозможен, а сама армия обороны Израиля использует технологии подавления сигналов GPS, чтобы обезопасить свои территории возможных ракетных ударов со стороны противника.

Таким образом, уже сейчас гражданские судоводители могут испытывать значительные затруднения в использовании GPS при плавании в северной части Черного, в восточной части Балтийского и в южной части Средиземного моря. Зафиксированы многочисленные фактические жалобы судоводителей по использованию GPS при подходе к Балтийским и Черноморским портам.

Совершенно очевидно, что такое может произойти в любом районе Мирового океана в случае эскалации военно политической обстановки.

#### **Основные положения американской концепции навигационной войны (Navigation Warfare) и методы ее реализации.**

Под термином навигационная война в настоящее время понимаются действия, направленные на уменьшение или лишение противника способности отслеживать географическое местоположение объектов [7].

Под мероприятиями навигационной войны понимаются спланированные оборонительные и наступательные действия по обеспечению надежной навигационно-пространственной и временной информацией своих войск (сил) при одновременном блокировании доступа противника к аналогичным возможностям [8].

Ведение навигационной войны может выполняться с применением различных методов, к которым можно отнести:

- воздействие на орбитальную группировку навигационных спутников;
- воздействие на навигационные сигналы, передаваемые навигационными спутниками;
- воздействие на наземную или бортовую приемную аппаратуру и связанные с ней навигационные системы;

- применение элементов информационной войны, а также систем и средств радиоэлектронной и электромагнитной войны.

Такие воздействия могут применяться как в отношении своих технических средств навигации, в данном случае GPS, так и в отношении технических средств навигации вероятного противника.

Работа над программой Navigation Warfare была начата в 1996 году. Первоначально целью такой работы было обозначено лишение вероятного противника возможности использовать GPS в зоне военных действий и при этом избежать снижения точности работы GPS за пределами этой зоны [9].

В 2004 г. Президентом США в целях дальнейшего развития Navigation Warfare была подписана новая версия директивы «Определение местоположения, навигации и синхронизации с использованием космических систем».

В рамках реализации этой директивы в США был создан так называемый центр навигационной войны, основными направлениями деятельности которого в общем плане обозначены:

- сбор и анализ всей информации о возможностях навигационного обеспечения как своих средств навигации, так и средств навигации вероятного противника;
- выработка рекомендаций по боевому применению GPS;
- выработка рекомендаций по противодействию боевого применения GPS средствами радиоэлектронной борьбы вероятного противника;
- выработка рекомендаций по подавлению средств навигации вероятного противника;
- выработка рекомендаций по ограничению возможностей использования GPS вероятным противником или любым потенциально нежелательным пользователем;
- обоснование системных требований к аппаратуре GPS для реализации выработанных рекомендаций.

К основным целям Navigation Warfare можно отнести:

- достижение возможности гарантированного приема навигационного сигнала GPS санкционированными пользователями в любой обстановке, в том числе при использовании противником средств радиоэлектронной борьбы;
- достижение возможности контролируемого управления точностью приема потребителем навигационного сигнала GPS;
- достижение возможности полной блокировки приема потребителем навигационного сигнала GPS;
- достижение возможности дистанционного вывода из строя приемной аппаратуры потребителя, который пытается использовать GPS без разрешения Министерства Обороны США;
- достижение возможности влияния на работу систем спутниковой навигации вероятного противника, прежде всего ГЛОНАСС.

В ходе Navigation Warfare уже применяются и планируются к применению ряд технических новшеств, значительно затрудняющих, или делающих невозможным использование сигнала GPS без санкции США.

Первые такие технические возможности были применены в навигационных спутниках GPS модификаций Блок-IRM и Блок-IF, на которых впервые появился новый так называемый М-код (Military Code - навигационный сигнал для военных целей).

В общем плане М-код после полной активации должен обеспечивать более мощные и закодированные навигационные сигналы, недоступные для несанкционированного потребителя и защищенные от возможных помех и спуфинга.

Для его эффективного применения выполняются следующие мероприятия:

- модернизация передающей аппаратуры навигационных спутников;

- капитальный ремонт и модернизация наземного комплекса управления и соответствующего программного обеспечения;
- модернизация приемной аппаратуры потребителей по возможности использования навигационного сигнала с М-кодом.

Навигационные сигналы с М-кодом передаются на L1 и L2. В отличие от сигналов с Р-кодом его достаточно для определения точных координат потребителя, поскольку в данном случае нет необходимости получения C/A- кода.

Навигационные сигналы с М-кодом обладают повышенной помехоустойчивостью, и могут быть использованы только санкционированными (военными) потребителями.

Прием навигационных сигналов с М-кодом становится невозможен гражданскими потребителями.

Помимо внедрения М-кодирования, начиная со спутника Блок-ИФ на всех последующих модификациях вводится новая частота L5 (1176,45 МГц) – *safety of life* (охрана жизни человека).

Особенность навигационных сигналов на частоте L5 заключается в том, что они мощнее гражданского сигнала на частоте L1 на 3 децибела, и имеют в 10 раз шире полосу пропускания. Из-за повышенной мощности и более широкой полосы пропускания он затрудняет его полное подавление системами радиоэлектронной борьбы.

Узконаправленная передача навигационных сигналов с М-кодом стала возможно со спутников модификации GPS III. Под узконаправленной передачей понимается передача сигналов в конкретной области диаметром в несколько сотен километров.

Мощность таких сигналов выше на 20 децибел, чем у сигналов без М-кода что уже значительно затрудняет его полное подавление системами радиоэлектронной борьбы.

В настоящее время в состав орбитальной группировки GPS входят навигационные спутники нескольких поколений, основными из которых являются Блок-ИIRM (с 2005 года), Блок-ИIF (с 20010 года) и GPS III (с 2018года).

Технологию М-кодирования в настоящее время обеспечивают 31 навигационный спутник орбитальной группировки GPS. На спутниках Блок-ИIRM и Блок-ИIF не предусмотрена функция отключения регионов по координатам, а вот в спутниках GPS III она, вероятно, уже имеется.

В полном объеме все планируемые технологии планируется внедрить на совершенно новых навигационных спутниках модификации GPS-III (Follow-on).

Разработка этих навигационных спутников по заказу Министерства обороны США выполняется компанией Lockheed Martin.

В этих спутниках будет внедрена технология Регионального потенциала военной защиты (Regional Military Protection–RMP) [10], которая предусматривает:

- усиление защиты от помех для санкционированных потребителей GPS;
- возможность отключения открытого сигнала GPS в любом регионе по координатам;
- возможность передачи спуфинга по координатам, причем как собственно для сигнала GPS, так и для сигналов других глобальных навигационных спутниковых систем;
- возможность передачи в составе навигационного сообщения вредоносных программ или вирусов для выведения из строя приемной аппаратуры несанкционированных потребителей GPS.

Практическая реализация рассмотренных элементов Navigation Warfare дадут США реальную возможность в военных, экономических или политических целях ограничивать доступ гражданских потребителей к сигналу GPS на любой территории земного шара.

Уже сейчас гражданские суда, как потребители гражданских навигационных сигналов GPS испытывают весьма серьезные проблемы, вплоть до критических, с приемом этих сигналов, находясь в районе применения средств Navigation Warfare [11]. Совершенно очевидно, что в будущем, с внедрением всех планируемых технологий Navigation Warfare вероятность возникновения таких проблем будет только возрастать, что может оказать весьма серьезное влияние на безопасность гражданского судоходства в целом.

В открытом море невозможность применения спутниковой навигации может быть в той или иной мере компенсирована применением альтернативных средств и методов, прежде всего мореходной астрономии.

При плавании в узкости, вблизи берега или в опасных в навигационном отношении районах это становится критически опасным, поскольку резко повышается вероятность навигационных происшествий.

### **Заключение**

С учетом уже внедренной в GPS технологии M-кодирования и планируемого ее дальнейшего совершенствования в рамках Navigation Warfare уже сейчас должны быть приняты определенные меры по минимизации ее влияния на безопасность гражданского судоходства. К ним можно отнести:

- по возможности восстановление или вывод из консервации круговых и секторных радиомаяков, восстановление, вывод из консервации существующих и развертывание новых наземных радионавигационных систем, особенно при подходах к портам;
- по возможности оснащение судов радиопеленгаторами и приемной аппаратурой как существующих, таких как Марс-75, БРАС, ГРАС, Крабик-Б, так и новых наземных радионавигационных систем, таких как Спут-Н1 и Крабик-БМ.
- по возможности установка на гражданские суда судовой аппаратуры спутниковых систем, альтернативных GPS, прежде всего аппаратурой ГЛОНАСС;
- использование опыта и имеющихся в ВМФ технологических наработок [12] для создания и внедрения в судовождение автоматизированных астронавигационных систем, которые позволят значительно повысить возможности применения мореходной астрономии;
- повышение эффективности применения существующих средств и методов мореходной астрономии как за счет повышения требований к судоводительскому составу, так и за счет совершенствования ее изучения в морских учебных заведениях.
- регулярная проверка умений и навыков судоводительского состава выполнять определения места судна вблизи берега классическими способами, не зависящими от GPS, такими как по горизонтальным углам, по измеренным пеленгам и расстояниям до ориентиров и др., при необходимости организация дополнительных занятий и тренировок
- по их эффективному применению в целях обеспечения безопасности судоходства;

В целях безусловного обеспечения безопасности судовождения у любого гражданского судоводителя должен иметься другой, альтернативный GPS, способ надежной навигации, который позволит избежать последствий применения Navigation Warfare.

### **Список литературы**

1. Песков Ю. А. Морская навигация с ГЛОНАСС/GPS – М.: МОРКНИГА, 2010 – 344 с.
2. Кириллов Н.О. Судовые системы спутниковой навигации. – Калининград: Издательство БГА РФ, 2014 – 401 с.

3. Тяпкин В. Н. Гарин Е.Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС, – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012– 259 с.
4. <https://lenta.ru/news/2024/02/08/vucic/>
5. <https://rg.ru/2023/06/10/poteriavshijsia-sputnik-pochemu-perestaet-rabotat-navigaciia-v-gorodah.html>
6. <https://www.securitylab.ru/news/543191.php>
7. Информационный менеджмент. Механизмы управления и борьбы в бизнесе и политике. Словарь-справочник. – М. Академический Проект, 2020 – 506 с.
8. Горбачев Ю.Е. Погодин С.Н. Взгляды командования вооруженных сил США на сущность и содержание электромагнитной войны. / Горбачев Ю.Е. Погодин С.Н.// Военная мысль – № 3. – 2021. – с. 129–140
9. Заколюдажный В.П., Алексеев С.П., Комарицын А.А. Спутниковая навигационная система: применение в вооруженных силах США. – СПб, ЦКП ВМФ, 2006– 207 с.
10. Гарин Е.Н, Копылов В.А., Ратушняк В.Н., Лютиков И.В. Современное развитие ГНСС ГЛОНАСС и GPS. / Гарин Е.Н, Копылов В.А., Ратушняк В.Н., Лютиков И.В.// – Красноярск: Журнал Сибирского федерального университета –11(3)–2018 –с. 313-317
11. <https://topwar.ru/236025-blagodarja-tehnologii-m-code-amerikanskije-istrebiteli-bolee-uverenno-chuvstvujut-sebja-na-pole-boja.html>
12. Костин В.Н. История развития отечественных морских астронавигационных систем /Костин В.Н. // Навигация и гидрография. – № 11. – 2000. – с. 133–137.

#### References

1. Peskov U.A. Morskaya navigaciya s GLONASS/GPS. M. MORKNIGA, 2010. 344 p.
2. Kirillov N.O. Sudovie sistemy sputnikovoy navigacii. Kaliningrad, Izdatelstvo Baltic State Academy of the Fishing Fleet, 2014. 401 p.
3. Тяпкин В.Н., Гарин Е.Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием радионавигационной системы ГЛОНАСС, Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2012, 259 p.
4. <https://lenta.ru/news/2024/02/08/vucic/>
5. <https://rg.ru/2023/06/10/poteriavshijsia-sputnik-pochemu-perestaet-rabotat-navigaciia-v-gorodah.html>
6. <https://www.securitylab.ru/news/543191.php>
7. Информационный менеджмент. Механизмы управления и борьбы в бизнесе и политике. Словарь-справочник. М. Академический Проект, 2020, 506 p.
8. Горбачев Ю.Е., Погодин С.Н. Взгляды командования вооруженных сил США на сущность и содержание электромагнитной войны, Военная мысль, № 3. (2021): 129–140.
9. Заколюдажный В.П., Алексеев С.П. Комарицын А.А. Спутниковая навигационная система: применение в вооруженных силах США, СПб, ЦКП ВМФ, 2006, 207 p.
10. Гарин Е.Н., Копылов В.А., Ратушняк В.Н., Лютиков И.В. Современное развитие ГНСС ГЛОНАСС и GPS. Красноярск, Журнал Сибирского федерального университета № 11(3) (2018): 313–317.
11. <https://topwar.ru/236025-blagodarja-tehnologii-m-code-amerikanskije-istrebiteli-bolee-uverenno-chuvstvujut-sebja-na-pole-boja.html>
12. Костин В.Н. «История развития отечественных морских астронавигационных систем» Навигация и гидрография № 11. (2000): 133–137.

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

**Кириллов Николай Олегович**, к.т.н., доцент, доцент кафедры судовождения и безопасности мореплавания, Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», 236029, Калининград, ул. Молодежная 6, e-mail: kaf\_sbm@bgarf.ru

**Nikolai O. Kirillov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Navigation and Navigation Safety Baltic State Academy of the Fishing Fleet FSBEI HE «KSTU», 6 Molodiyegnaya st, Kaliningrad, 236029, e-mail: kaf\_sbm@bgarf.ru

Статья поступила в редакцию 12.02.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.

Received 12.02.2024; published online 20.06.2024

УДК 627.132

DOI: 10.37890/jwt.v79.484

## **Исследование влияния направления водного потока и конфигураций опор моста на местный размыв дна реки**

**Е.М. Куприна**

ORCID: 0009-0004-1476-8886

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

**Аннотация.** Анализ влияния мостовых переходов базируется на расчетных исследованиях местного размыва на участке реки Белая в створе улицы Воровского город Уфа за 2021 год, где на данный момент планируется ввод в эксплуатацию новый мостовой переход. В виду сложности процесса взаимодействия турбулентного потока с геометрической конструкцией опор. За основной критерии анализа принимается форма и ширина мостовых опор, а также направление потока по отношению к опоре мостового перехода. Полученные результаты показали возможные изменения глубины местного размыва на подходах к мосту. С целью упрощения расчета и для поиска наибольших критерий, влияющих на результивный показатель местного размыв, в работе произведен факторный анализ полученных значений.

**Ключевые слова:** конфигураций опор, местный размыв, река Белая турбулентный поток, отрывные течения, коэффициент косины, факторный анализ, коэффициент корреляции.

## **Investigation of the influence of bridge support configurations on local bottom erosion when changing the flow direction on the approach to the bridge crossing structures**

**Ekaterina M. Kuprina**

ORCID: 0009-0004-1476-8886

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

**Abstract.** The analysis of the impact of bridge crossings is based on calculated studies of local erosion on the Belaya River section in the alignment of Vorovsky Street in Ufa in 2021, where a new bridge crossing is currently planned to be commissioned. Due to the complexity of the process of interaction of the turbulent flow with the geometric design of the supports. The main criteria of the analysis are the shape and width of the bridge supports, as well as the direction of flow relative to the bridge support. The results showed possible changes in the depth of local erosion at the approaches to the bridge. In order to simplify the calculation and to find the greatest criteria affecting the effective indicator of local erosion, a factor analysis of the obtained values was performed in the work.

**Keywords:** support configurations, local erosion, Belaya River turbulent flow, breakaway currents, cosine coefficient, factor analysis, correlation coefficient.

### **Введение**

Река Белая является составной частью водного пути Уфа-Москва, по которому производятся грузоперевозки и организуются туристические рейсы. Однако река по своим габаритам является не стабильной. О чем ранее упоминалась в публикациях [1,6].

Согласно данным, технических отчетов Бельского РВПиС, проектный уровень воды по г/п Уфа ежегодно понижается. До 2007 г. отметка проектного уровня

составляла (-70 см) над нулем графика, в период с 2008 г. по 2020 г. (-80 см) и с 2021 г. уже (-100 см).

Кроме того, происходит тенденция спада обеспеченности проектного уровня за физическую навигацию (Рис.1).



Рис.1. Динамика изменения обеспеченности ПУ за физическую навигацию в период с 2014 по 2022 гг. по гидропостам Охлебинино и Уфа

Основная причина таких изменений - посадка уровней воды в ходе инженерной деятельности, проводимой на водных объектах в прежние годы, (в первую очередь, массовой разработки карьеров НСМ), а также результатом утраты остаточного эффекта систематического дноуглубления

Таким образом, учитывая существующую негативную русловую тенденцию, возведении нового мостового перехода, в створе улицы Воровского в городе Уфа (Рис 2), может вызвать еще большую посадку уровня воды. Так как показывает практика, в следствии стеснения руслового потока, мостовыми опорами и подходами, вероятно возникновение общего размыва в пределах мостового перехода под мостом и на участке выше, и ниже по течению. [2,7,11,14].

В работе приводится исследование влияния конфигурации опор моста и направления водного потока на местный размыв дна на реке Белая.



Рис.2. План Бельского моста

В настоящей статье анализ влияния мостовых переходов базируется на расчетных исследованиях только местного размыва. Это продиктовано тем, что русло реки Белая преимущественно сложено из крупного гравия, который мало подвержен общему размыву. А за основной критерии анализа принимается геометрия мостовых опор (форма, ширина) и направление потока. Что также обуславливается сложностью процесса взаимодействия турбулентного потока с геометрической конструкцией опор.

Исследование влияния конфигураций опор моста на местный размыв дна при изменении ширины опоры и направления потока на подходе к сооружениям мостового перехода

Глубина местного размыва рассчитывается на основании промерных изысканий, с учетом типа поперечного сечения промежуточной опоры и скоростного режима русла [2, 8, 9,10,12,14].

Для мостовых опор с простой геометрической конфигурацией, расчет местного размыва вводится по формуле [7]:

$$t = 1,1T^{0,4}B^{0,6} \left(\frac{V}{V_B}\right)^n k_{\phi}^{оп} k_{\alpha} \quad (1)$$

где

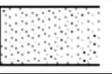
- T - глубина у опоры, м;
- B - ширина опоры, м;
- V - средняя скорость течения, м/с;
- $V_B$  - средняя взмучивающая скорость турбулентного потока перед опорой, м/с;
- $k_{\phi}^{оп}$  - коэффициент формы опоры;
- $k_{\alpha}$  - коэффициент косины потока по отношению к опоре моста.

На первом этапе анализ вводится для промежуточной опоры моста с постоянной шириной B=3 м и длиной L=12м. Геометрические конфигурации опоры различны.

Результаты исследования приведены в таблице 1 и на рис.3.

Таблица 1

**Анализ изменения глубины местного размыва при различных формах опор**

С полуциркулярными торцами (овальная)	Круглая	Прямоугольная	Квадратная	Заостренная при $\theta$ (угол заострения опоры):			
							
				$\theta = 120^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 30^\circ$
1,124	1,322	1,639	1,930	1,613	1,322	0,965	0,780

Результаты расчета промежуточных опор показали, что наибольшая глубина местного размыва t наблюдается у опор квадратной и прямоугольной формы. Этот факт объясняется тем, что данные опоры обладают наибольшей шириной препятствия потоку. Такие опоры являются плохообтекаемыми и обладают наибольшим турбулентным обменом, энергия которого, вследствие, будет затрачена на создание обильных отрывных течений и размыв дна. Для опор с хорошо обтекаемой формой (овальная, круглая, заостренная), максимальная глубина местного размыва меньше и возникает не на границе основания опоры, а n-ом расстоянии от нее, так как размывтый грунт оседает за опорой.

Независимо от формы опоры, общий механизм размыва всегда одинаковый и состоит из двух стадий [13]:

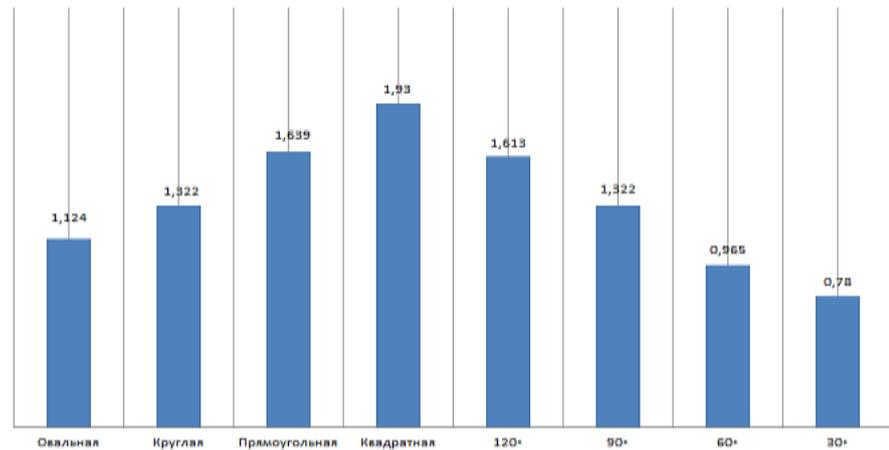


Рис.3. Диаграмма изменения местного размыва при различных формах опор

**Стадия 1.** Возникновение на боковых стенках двумерных отрывных течений.

Поток, обтекая препятствия и попадая в сжатую среду, начинает отрываться от своей поверхности и искажаться по областям (OX и OY), образуя криволинейные формы. Это объясняется тем, что кинетической энергии потока, не хватает энергии на преодолении зоны повышенного давления и поток начинает отрываться от своей траектории.

**Стадия 2.** Возникновение на лобовой части трехмерного отрывного потока.

По физическому смыслу, трехмерный о поток схож с двумерным, но он протекает в областях OX, OY и OZ (Рис 4). Течение в районе опоры имеют разнонаправленную пространственную структуру. Кроме того, в отличие от двумерных отрывных течений в турбулентный обмене задействует три водных слоя (O3T, O6T и O8T). Программный комплекс показал, что в результате отрывных течений происходит перекося водной поверхности. Водный поток, переходя в зону повышенного давления, начинает искажаться. Поднявшиеся отрывные течения, образовали выпор водной поверхности (начальный подпор), а ушедшие вниз поток образовал донный валец. По мере протекания турбулентного обмена, транзитный скорости понизят свои значения, а образовавшийся искаженный (спиралевидный) поток размывает дно. [11].

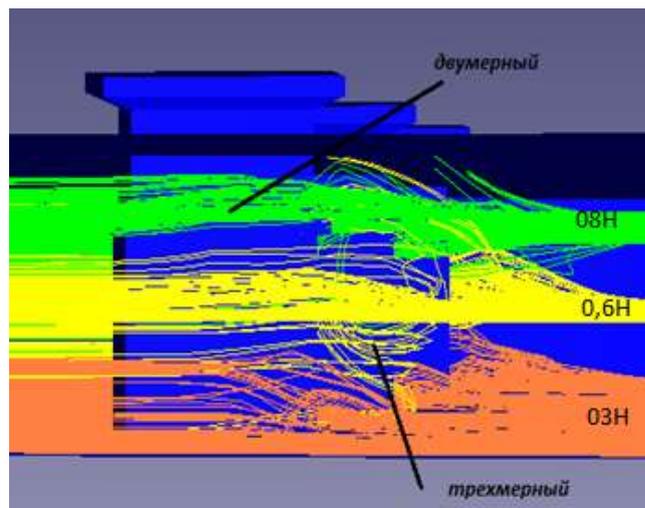


Рис. 4. Упрощенная модель поведения течений при взаимодействии с мостовыми опорами

На втором этапе была проведена серия расчетов с изменением ширины опоры мостового перехода (В), поскольку ширина опоры напрямую влияет на глубину и местного размыва.

По результатам расчетных данных (Таблица 2 и Рис.5) были выявлена закономерность местного размыва от ширины и формы опоры.

Таблица 2

**Анализ изменения глубины местного размыва при различной ширине опоры**

Форма опор мостового перехода	Глубина местного размыва t при ширине опоры:			
	Ширина мостовой опоры, В			
	3м	6м	9м	12м
С полуциркульными торцами (овальная)	1,124	1,703	2,172	2,581
Круглая	1,322	2,003	2,555	3,037
Прямоугольная	1,639	2,484	3,169	3,765
Квадратная	1,93	2,925	3,731	4,434
Заостренная при $\theta$ (угол заострения опоры):				
$\theta = 120^\circ$	1,613	2,444	3,117	3,705
$\theta = 90^\circ$	1,322	2,003	2,555	3,037
$\theta = 60^\circ$	0,965	1,463	1,865	2,217
$\theta = 30^\circ$	0,78	1,182	1,508	1,792

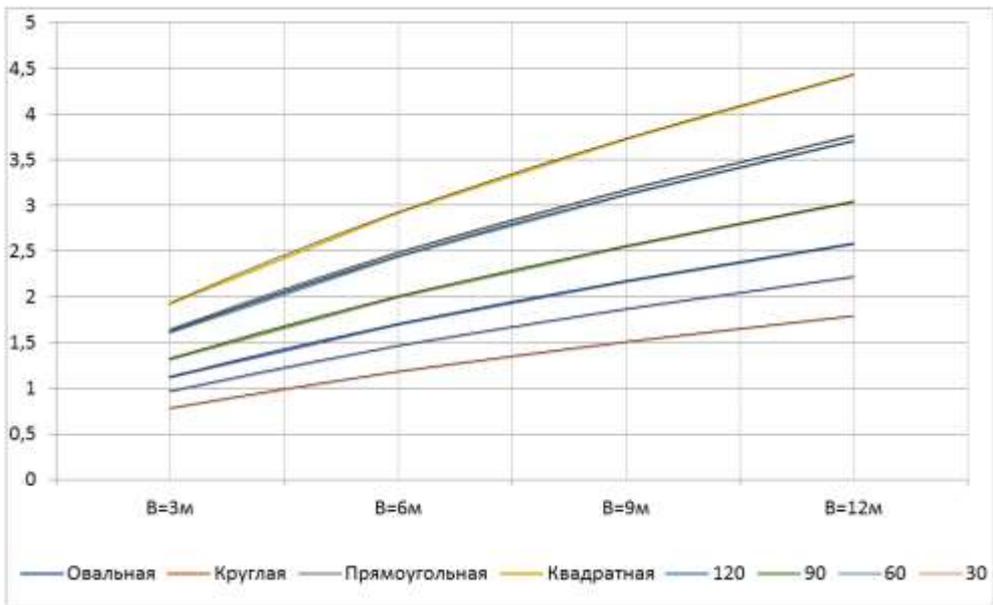


Рис.5. Кривые изменяя местного размыва при различной ширине опор

Результаты расчета показали, что с увеличением параметра «В», происходит увеличение местного размыва в 1,2-1,5 раза. Это факт объясним тем, что с ростом «В», происходит уменьшению площади свободной части русла ( $\omega_{св}$ ) и увеличение коэффициента сжатия  $\beta$ , что прямо пропорционален давлению жидкости в жатом участке (формула 2).

$$P = \rho g \beta H_0 \tag{2}$$

где

- $\rho$  - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>
- $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;
- $H_0$  - напор на сооружения, м;
- $H_0$  - площадь поперечного сечения русла в створе мостового перехода, м/с;
- $\beta = \frac{\omega}{\omega_{св}}$  - коэффициент сжатия русла опорами моста.

Для понимания физического смысла, влияние давление жидкости на скоростную размывающую способность русла, берется уравнение Бернулли в двух сечениях[3]:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{aV_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{aV_2^2}{2g} + h_w \quad (3)$$

где

- $z$  - геометрический напор, м;
- $\frac{P}{\gamma}$  - пьезометрический напор, м;
- $\frac{aV_1^2}{2g}$  - динамический (статический напор), м;
- $h_w$  - потери напора, м;

Согласно уравнению 3, скорость потока прямо пропорциональна полному напору на сооружение.

Таким образом, при увеличении ширины опоры  $B$ , напор и давление на сооружение начинает возрастать. По мере роста давления  $P$ , полученные значения достигают критического значения  $P_k$ , после которого поток не сможет преодолеть зону повышенного давления и начинает отрываться от своей траектории. При дальнейшем росте давления ( $P \geq P_k$ ) искаженный отрывом поток размывает дно, вызывая местные деформации у опор моста. И чем выше будет давление, тем глубже будет местный размыв.

Третьим рассматриваемым критерием является коэффициент косины потока ( $k_\alpha$ ), так он влияет на величину местного размыва, в соответствии с формулой 1.

Под коэффициентом косины понимается угол между осью набегания потока воды (вектором скорости  $\vec{V}$ ) и осью опоры, определяемый по выражению (4).

$$k_\alpha = 1 + \left| 1.22 - \frac{1.12}{\sqrt{\left(\frac{T}{B} + 0.75\right)^3}} \right| \cdot f \quad (4)$$

где

- $T$  - глубина у опоры, м;
- $B$  - ширина опоры, м;
- $F$  - безразмерный коэффициент, зависящий от значений  $L, B$  и  $\alpha$ .

Коэффициент косины зависит от направления потока, соотношения длины и ширины ( $L/B$ ) опоры мостового сооружения. Но не зависит от сложности конфигураций мостовых опор (количества элементов опоры моста, наличия гасительных элементов и т.д).

Действием косина потока можно пренебречь лишь в том случае, когда угол набегания потока, по отношению к опоре, будет равен или меньше  $10^\circ$  ( $\alpha \leq 10^\circ$ ). В таком случае  $k_\alpha$  принимают за 1.

Схема набегания потока на опору моста представлена на рис.6

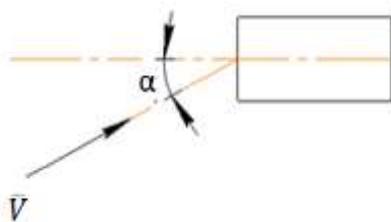


Рис. 6. Схема набегания потока на опору моста

Для анализа влияния коэффициента косины на местный размыв в створе мостового перехода, была проведена серия расчетов с изменением угла набегания  $\alpha$  с шагом в  $20^\circ$ , по результатам которых динамика развития метного размыва (Таблица 3 и Рис.7).

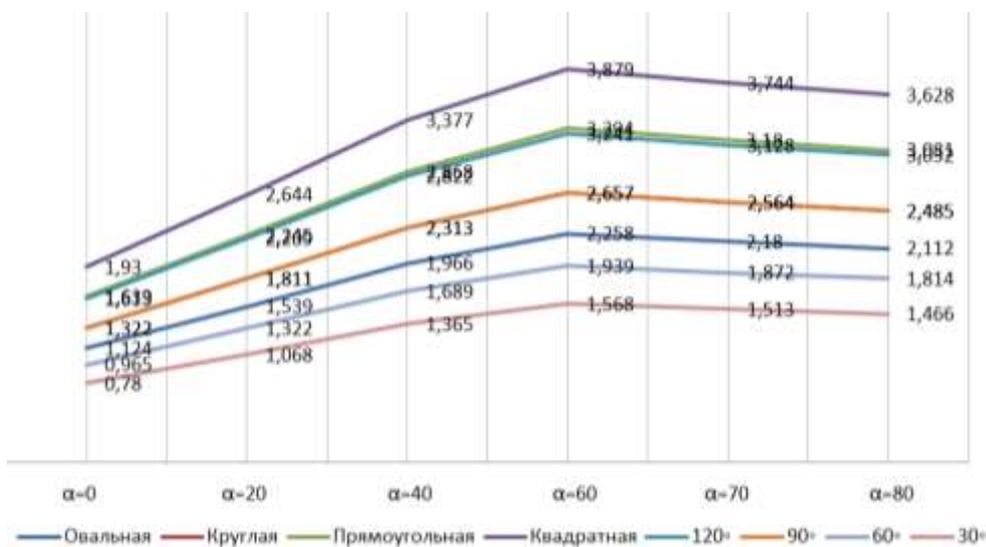


Рис.7. Кривые изменяя местного размыва при изменении коэффициента косины

Таблица 3

**Анализ изменения глубины размыва у опор моста при изменении направления потока на подходе к сооружениям мостового перехода**

Форма опор мостового перехода	Глубина местного размыва $t$ при направлении потока $\alpha^\circ$					
	При $\alpha = 0$	При $\alpha = 20$	При $\alpha = 40$	При $\alpha = 60$	При $\alpha = 70$	При $\alpha = 80$
	$k_\alpha = 1$	$k_\alpha = 1,37$	$k_\alpha = 1,75$	$k_\alpha = 2,01$	$k_\alpha = 1,94$	$k_\alpha = 1,88$
С полуциркульными торцами (овальная)	1,124	1,539	1,966	2,258	2,180	2,112
Круглая	1,322	1,811	2,313	2,657	2,564	2,485
Прямоугольная	1,639	2,245	2,868	3,294	3,180	3,081
Квадратная	1,930	2,644	3,377	3,879	3,744	3,628
Заостренная при $\theta$ (угол заострения опоры):	1,613	2,209	2,822	3,241	3,128	3,032

Форма опор мостового перехода	Глубина местного размыва $t$ при направлении потока $\alpha^\circ$					
	При $\alpha = 0$	При $\alpha = 20$	При $\alpha = 40$	При $\alpha = 60$	При $\alpha = 70$	При $\alpha = 80$
	$k_\alpha=1$	$k_\alpha = 1,37$	$k_\alpha = 1,75$	$k_\alpha = 2,01$	$k_\alpha = 1,94$	$k_\alpha = 1,88$
$\theta = 120^\circ$						
$\theta = 90^\circ$	1,322	1,811	2,313	2,657	2,564	2,485
$\theta = 60^\circ$	0,965	1,322	1,689	1,939	1,872	1,814
$\theta = 30^\circ$	0,780	1,068	1,365	1,568	1,513	1,466

Исходя из полученных результатов расчета, можно сделать следующий вывод. Начиная от направления потока при  $\alpha=0^\circ$  и заканчивая до  $\alpha=60^\circ$ , происходит геометрическая прогрессия кривой местного размыва, с небольшим изломом при  $40^\circ$ . При достижении  $60^\circ$  начинается постепенный спад. Этот эффект объясним тем, что с увеличением угла набега (при  $\alpha > 60^\circ$ ) площадь взаимодействия сжатого потока с опорой уменьшается, что в дальнейшем приводит к падению отрывных скоростей и турбулентности.

Однако, при достижении  $\alpha \geq 90^\circ$ , утверждение о регрессии с ростом угла  $\alpha$  может быть опровергнуто, поскольку в таком варианте расстановки, опору моста нужно считать перевернутой (В/Л). Следовательно, для дальнейшего анализа, возникает необходимость в уточнении коэффициентов  $k_\alpha$  и  $f$ .

#### Факторный анализ полученных значений местного размыва

для упрощения расчета и для поиска наибольших критериев, влияющих на результативный показатель местного размыва у опор моста  $t$ , произведён факторный анализ полученных значений [5].

Факторный анализ – это многомерный метод, который позволяет проследить взаимосвязь между переменными факторами В,  $k_\alpha$  и Ф (Ф-форма опоры) и свести к меньшему количеству переменных влияющих на результирующий показатель местного размыва  $t$ .

Идея анализа предполагает, что с уменьшением количества известных переменных, уменьшается вероятность влияния на результат случайных ошибок и неизвестных переменных.

В данной статье под случайными ошибками понимается человеческий фактор (ошибки, возникшие в ходе проведения промерных работ и расчета), а под неизвестными элементами – изменяющиеся со временем вторичные факторы (конфигурация русла, изменение уровня воды за сутки и т.д.).

В анализе главными факторами является: ширина опоры В, косина потока  $k_\alpha$  и форма опоры Ф. В качестве результирующего показателя принят местный размыв  $t$ .

Конечное уравнение будет иметь вид:

$$\begin{pmatrix} \Phi_{11} & B_{11} & k_{a11} \\ \Phi_{21} & B_{21} & k_{a21} \\ \dots & \dots & \dots \\ \Phi_{i,j} & B_{i,j} & k_{ai,j} \end{pmatrix} \begin{matrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_i \end{matrix} \quad (5)$$

г Ф-форма опоры (овальная, круглая прямоугольная, квадратная, де заостренная);

В – ширина опоры моста, В=(3, 6,9,12)м;

$k_\alpha$ -коэффициент косины потока по отношению к опоре моста,  $k_\alpha = (1; 1.37; 1.75; 2,01; 1,94; 1.88)$ ;

$t$  – местный размыв у опоры моста, м.

Трудоемкостью решения уравнения 5 заключается в множественном расчете изменяющихся факторов. Для данного анализа было выполнено 192 расчета, по результату которых, были найдены коэффициенты корреляции  $r$  (таблица 4).

Таблица 4

**Результаты корреляции**

	Коэффициент корреляции $r$			
	$t$	$\Phi$	$B$	$k\alpha$
$t$	-	0,632	0,675	0,493
$\Phi$	-	-	0,008	0,032
$B$	-	-	-	-0,168
$k$	-	-	-	-

По результатам линейной корреляционной зависимости получен, что наибольшим фактором влияющим на результирующий показатель  $t$ , является ширина и форма мостовой опоры.

Для оценки тесноты связи, полученных корреляционных значений, используется шкала тесноты Чаддока (таблица 5) [4].

Таблица 5

**Шкала тесноты связи по шкале Чаддока**

Диапазон значений $r$	Линейная корреляционная зависимость
0-01	Практически отсутствует
0,1-0,3	Слабая
0,3-0,5	Умеренная
0,5-0,7	Заметная
0,7-0,9	Сильная
0,9-0,99	Очень сильная
0,99-1	Практически функциональная

Полученные значения коэффициентов  $\Phi$ ,  $B$  и  $k\alpha$  находятся в прямой связи с результирующей  $t$  и могут оказывать «заметное» и «умеренное» влияние на результаты расчета.

При анализе взаимодействия факторов друг на друга, результаты корреляции лежит в диапазоне от 0 до 0,1, что говорит об отсутствии связи между факторами. Следовательно, данными связями можно пренебречь.

**Заключение**

Выполненный анализ расчетов показал, что глубина местного размыва  $t$  на прямую зависит от конфигураций опоры, её ширины и угла наката воды на опору моста. Однако исходя из результатов факторно –корреляционного анализа было выявлено, что наибольшую роль на итоговый результат местного размыва влияет ширина опоры.

Согласно аналитическому расчету, наибольшим деформациям подвергнется русло, с мостовыми опорами квадратной формы, с максимальной шириной погружной части 12м и более. При этом поток по отношению к опоре должен быть направлен под углом 60°.

Наименьшим деформациям будет подвержено русло с мостовыми опорами заостренными под углом 30°. Ширина погружной части, при этом, должна быть равна или находится в ближайшем диапазоне к 3м. Угол набегания потока отсутствует.

**Список литературы**

1. Агеева В.В., Люкина Е.А., Матюгин М.А. Оценка воздействия разработки карьера на гидрологию участка реки и условия судоходства. //Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – URL: [http://вф-река-море.рф/2022/6\\_1.pdf](http://вф-река-море.рф/2022/6_1.pdf) (дата обращения 16.06.2023)
2. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов - до в. М. : Транспорт, 1980.
3. Качанов, И.В. Механика жидкости и газа: курс лекций: в 4 ч. / И.В. Качанов, В.В. Кулебякин, В.К. Недбалский. – Минск: БНТУ, 2012. – Ч. 3. – 56 с.
4. Кибякова С.И., Тищенко В.П., Исаев С.П., Белозеров И. Л. Основы научных исследований. Применение методов корреляционного анализа при обработке результатов эксперимента. Статистические исследования зависимостей: методические указания по выполнению лабораторных работ № 1-2 для студентов специальности 250303.65 «Технология деревообработки» всех форм обучения / сост. С. И. Кибякова, В. П. Тищенко, С. П. Исаев, И. Л. Белозеров. - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. - 47 с.
5. Макаров, Р. И. Методы анализа данных : учеб. пособие /Р. И. Макаров, Е. Р. Хорошева ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2021 – 216 с. ISBN 978-5-9984-1399-5
6. Матюгин М.А., Решетников М.А. Определение положения кривой свободной поверхности на казанцевском перекатном участке реки белой. //Транспорт. Горизонты развития. 2023: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2023. – URL: [http://вф-река-море.рф/2023/5\\_7.pdf](http://вф-река-море.рф/2023/5_7.pdf)
7. Михалев М.А., Алибеков А.К.-Выбор оптимального типа опоры и оценка величины местного размыва//Природ обустройство -2011 -1997-6011
8. Журавлев М.М. Местный размыв у опор мостов. М. : Транспорт, 1984.
9. Журавлев М.М. Расчет местного размыва у опор сложной формы. - Автомобильные дороги, 1985, № 4.
10. Кнороз В.С. Неразмывающие (предельные) ско - рости разнoзернистых по крупности материалов. - Изв.ВПИИГ, т.71, 1962.
11. Куприна Е.М., Воронина Ю.Е. - Влияние конфигураций опор на возникновение неправильных течений Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022.
12. Пичугов Г.С. Влияние формы фундамента мосто - вых опор на местный размыв. - Труды Гипродорнии, вып.31 .М.,1980.
13. Вальгер С.А., Федорова Н.Н., Федоров. А.В. Структура турбулентного отрывного течения в окрестности установленной на пластине призмы с квадратным сечением.// Теплофизика и аэромеханика, 2015, том 22, № 1
14. Ярославцев И.А. Расчет местного размыва у мостовых опор. ЦПИИС. Сообщение № 80. М., 1956.

**References**

1. Ageeva V.V., Liukina E.A., Matyugin M.A. Assessment of the impact of quarry development on the hydrology of the river section and navigation conditions. //Transport. Horizons of development. 2022: Proceedings of the International Scientific and Practical Forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022. – URL: [http://вф-река-море .RF/2022/6\\_1.pdf](http://вф-река-море .RF/2022/6_1.pdf) (accessed 06/16/2023)
2. Andreev O.V. Design of bridge crossings - before V. M.: Transport, 1980.
3. Kachanov, I.V. Mechanics of liquid and gas: a course of lectures: at 4 o'clock / I.V. Kachanov, V.V. Kulebyakin, V.K. Nedbalsky. – Minsk: BNTU, 2012. – Part 3. – 56 p.
4. Kibyakova S.I., Tishchenko V.P., Isaev S.P., Belozеров I. L. Fundamentals of scientific research. The use of correlation analysis methods in the processing of experimental results. Statistical studies of addictions: methodological guidelines for laboratory work No. 1-2 for students of specialty 250303.65 "Woodworking technology" of all forms of education / comp. S. I. Kibyakova, V. P. Tishchenko, S. P. Isaev, I. L. Belozеров. Khabarovsk : Publishing House of the Pacific State University, 2008. - 47 p.

5. Makarov, R. I. Methods of data analysis : textbook. manual /R. I. Makarov, E. R. Khorosheva ; Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov. – Vladimir : Publishing House of the All-Russian State University, 2021–216 p. ISBN 978-5-9984-1399-5
6. Matyugin M.A., Reshetnikov M.A. Determination of the position of the free surface curve on the Kazantsev rolling section of the Belaya river.//Transport. Horizons of development. 2023: Proceedings of the International Scientific and Practical Forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2023. – URL: [http://вф-река-море .RF/2023/5\\_7.pdf](http://вф-река-море .RF/2023/5_7.pdf)
7. Mikhalev M.A., Alibekov A.K.-Choosing the optimal type of support and estimating the magnitude of local erosion//Nature improvement -2011 -1997-6011
8. Zhuravlev M.M. Local erosion at the bridge supports. M. : Transport, 1984.
9. Zhuravlev M.M. . Calculation of local erosion at supports of complex shape. - Highways, 1985, No. 4.
10. Knorosis In .C . Non-eroding (marginal) the growth of materials of different grain sizes. - Izv.VPIG, vol. 71, 1962.
11. Kuprina E.M., Voronina Y.E. - The influence of support configurations on the occurrence of irregular currents Materials of the international scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022.
12. Pichugov G.S. The influence of the shape of the foundation of bridge supports on local erosion. - Proceedings of the Giprodornia, issue 31.M., 1980.
13. Valger S.A., Fedorova N.N., Fedorov A.V. The structure of a turbulent separation flow in the vicinity of a square-section prism mounted on a plate.// Thermophysics and Aeromechanics, 2015, volume 22, No. 1
14. Yaroslavtsev I.,A. Calculation of local erosion at bridge supports. CPIIS. Message No. 80. M., 1956.

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

**Куприна Екатерина Максимовна**, аспирант кафедры «Водных путей и гидротехнических сооружений», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [k\\_kuprina98@mail.ru](mailto:k_kuprina98@mail.ru)

**Ekaterina M. Kuprina**, Postgraduate student of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport (VSUVT), 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: [k\\_kuprina98@mail.ru](mailto:k_kuprina98@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 11.03.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 11.03.2024; published online 20.06.2024.

УДК 656.073.28:004  
DOI: 10.37890/jwt.vi79.491

## **Социально-сетевой анализ зарубежных исследований в области автоматизации грузовых контейнерных перевозок**

**Е.Е. Петрова**<sup>1</sup>  
*ORCID: 0000-0003-4219-8177*

**В. В. Ганнесен**<sup>1</sup>  
**Т.Е. Маликова**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
г. Владивосток, Россия*

<sup>2</sup>*Морской государственный университет им. адмирала Г. И. Невельского,  
г. Владивосток, Россия*

**Аннотация.** Актуальность темы обусловлена следующим. Повышение уровня автоматизации и цифровизации технологических процессов перевалочных комплексов - одна из приоритетных задач развития морского и речного транспорта Российской Федерации на ближайшие годы. Значимость научных исследований направленных на поиск решений этой задачи, несомненно, увеличивает объем уже накопленных знаний и скорость появления новых в данной предметной области. Как следствие появляется потребность в обновлении и систематизации вновь полученных теоретических и практических разработок в обзорных исследованиях, которые бесспорно являются фундаментом всей академической исследовательской деятельности, так как направлены на выявление актуальных проблем и связей будущих научных разработок с уже существующими. В работе выполнен анализ научного поля исследований в области автоматизации технологических процессов контейнерных терминалов на предмет доминирующих тематических направлений зарубежных научных школ за последние десятилетие. Источником информационного потока для анализа послужили вторичные открытые научные данные, размещенные в системе Google Scholar. Задачи исследования включали поиск публикаций, соответствующих заявленной тематике, кластеризацию авторов этих статей по принципу соавторства, выявление ученых, максимально способствовавших развитию новых научных разработок, определение научных интересов исследователей по анализу текстов их научных работ. Для решения задач применялись метод рёберной кластеризации, а также структурный и позиционный анализы. В результате был сгенерированы сетевой граф по авторской принадлежности научных работ, граф перекрестного цитирования научных публикаций, а также граф сопоставления результатов исследований ученых с одним из тематических направлений предметной области исследований. Построение и анализ графов были выполнены с использованием программного обеспечения Gephi.

**Ключевые слова:** контейнерный терминал, технологический процесс, цифровизация, автоматизация, подъемно-транспортные машины, библиометрический сетевой анализ.

## **Social network analysis of foreign research in the field of automation of cargo container transportation**

**Ekaterina E. Petrova**<sup>1</sup>  
*ORCID: 0000-0003-4219-8177*

**Vitalii V. Gannesen**<sup>1</sup>  
**Tatiana E. Malikova**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia.*

<sup>2</sup>*Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoi, Vladivostok, Russia*

**Abstract.** The relevance of the topic is caused by the following. Improving automation and digitalization of technological processes of transshipment complexes is one of the priorities for development of maritime and river transport in the Russian Federation in the coming years. The importance of scientific research aimed at finding solutions to this problem, undoubtedly, increases already accumulated knowledge and the rate of emergence of new ones in this area. As a result, there is a need to update and systematize newly obtained theoretical and practical developments in review studies, which undoubtedly form the foundation of all academic research activities, as they are aimed at identifying current problems and links of future scientific developments with existing ones. The work analyzes the scientific area research in the field of automation of technological processes of container terminals regarding the dominant thematic areas of foreign scientific schools over the past ten years. The source of information flow for the analysis was secondary open scientific data posted in the GoogleScholar system. The objectives of the study included searching for publications corresponding to the stated topic, clustering the authors of these articles based on the principle of co-authorship, identifying scientists who contributed most to the new scientific developments, determining the scientific interests of researchers by analyzing the texts of their scientific works. The method of edge clustering, as well as structural and positional analyses were used to solve the tasks. As a result, a network graph was generated for the authorship of scientific works, a cross-citation graph of scientific publications, as well as a graph for comparing the research results of scientists with one of the thematic directions of the subject area of research. Graph construction and analysis were performed using Gephi software.

**Keywords:** container terminal, technological process, digitalization, lifting-and-shifting machines, bibliometric network analysis

### **Введение**

Повышение уровня автоматизации и цифровизации технологических процессов перевалочных комплексов, в целях снижения издержек, повышения надежной и безопасной эксплуатации перегрузочного оборудования и транспортных средств одна из приоритетных задач развития морского и речного транспорта Российской Федерации на ближайшие годы<sup>35</sup>. Актуальность, теоретическая и практическая значимость научных исследований направленных на поиск решений этой задачи увеличивает объем уже накопленных знаний и скорость появления новых знаний в данной области. Связь будущих научных разработок с уже существующими является фундаментом всей академической исследовательской деятельности, поэтому научный обзор работ, ведущих ученых остается актуальным во все времена [1,2]. Без этого сложно идти в ногу с новейшими исследованиями, а также адекватно оценивать новизну и степень проработанности тематики собственного научного исследования [3–5].

Целью работы является исследование поля научных работ в области автоматизации технологических процессов контейнерных терминалов на предмет доминирующих тематических направлений в деятельности зарубежных научных школ за последние десятилетие. Задачи исследования включают поиск наиболее релевантных зарубежных публикаций, относящихся к данной области научных знаний, кластеризацию авторов этих статей по принципу соавторства с выявлением числа ученых, максимально способствовавших развитию новых научных разработок, а также определение научных интересов исследователей по анализу текстовых научных работ.

---

<sup>35</sup> Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.

## **Методы и материалы**

Источником информационного потока для научного исследования послужили вторичные открытые научные данные, размещенные в системе Google Scholar. Выборка публикаций формировалась в следующей последовательности. В первой итерации из базы данных Google Scholar были выгружены статьи, опубликованные за последние десять лет, с ключевыми словосочетаниями «reachstacker automation», «automation of container crane», «automation of container terminals», «automation of loading operations at the terminal», «automation of loading and unloading devices», «gantry crane automation». Затем из этого списка были отобраны релевантные по отношению к области автоматизации технологических процессов контейнерных терминалов научные публикации. Во второй итерации из базы данных Google Scholar были выгружены статьи, на которые были ссылки в уже отобранных при первой итерации статьях. В результате был сформирован фрагмент сети научных публикаций, для каждой из которых известны ключевые словосочетания, список соавторов, список цитируемой литературы, страна происхождения публикации.

Для решения основных задач (выявления научных школ, ключевых ученых и актуальной научной тематики) исследования применялся метод рёберной кластеризации. Данный метод позволяет находить пересекающиеся сообщества, т. е. соотносить одну вершину с более чем одним сообществом [6]. В результате был сгенерирован сетевой граф авторов, принадлежащих разным научным школам, но имеющих общие научные работы, а дальнейший анализ публикаций этих авторов дал возможность сформировать представление о предметной области их исследований. Построение и анализ сетевого графа были выполнены с помощью программного обеспечения Gephi.

Ограничения на достоверность результатов, представленных в данной работе. Во-первых, подборка научных работ по объективным причинам (закрытие баз Scopus и Web of Science для российских пользователей) включает только те, которые проиндексированы в Google Scholar. Во-вторых, так как выборка публикаций формировалась вручную, было принято решение ограничиться числом статей, найденных через поисковый запрос по ключевым словосочетаниям, а также числом статей из списков цитирований в этих статьях, и не искать в базе данных статьи по последующим звеньям цепочек цитирований. Принятое решение ограничивает глубину проводимого исследования одним шагом и как следствие накладывает определенные ограничения на достоверность полученных результатов и выводов.

## **Результаты**

Фрагмент сетевого графа соавторства представлен на рис. 1. Авторы статей, попавших в случайную выборку, показаны на нем узлами (кружками). Величина диаметра каждого из узлов соотносится с количеством статей данного автора в случайной выборке. Наличие у авторов совместных статей показано с помощью ребер, соединяющих узлы. Толщина каждого ребра соотносится с количеством общих статей у авторов. Количество статей, соответствующих ребру называется степенью ребра.

Рассмотрим, как граф организован. Он состоит из одиннадцати кластеров или научных сообществ (показано на рис. 1 цветом), тридцати пяти узлов, и сорока ребер. Для ребер графа средняя степень равна 1, причем ребра со степенями 1 и 2 встречаются наиболее часто.

Это говорит о том, что, хотя большинство авторов не склонны работать в одиночку, при этом частота взаимодействия в авторских коллективах невелика (одна/две совместные работы). Сеть очень разреженная, размер самого большого связного кластера составляет шесть узлов, т. е. 1/6 от всей совокупности узлов. Наиболее часто встречаются научные сообщества с размерностью два/три узла, т. е.

два три соавтора в коллективе. Исходя из результатов сетевого анализа статей из данной случайной выборки сделан вывод: тип взаимодействия научных сообществ между собой в последние десять лет определяется как «ассортативная структура», она же «разделенная структура» (assortative structure/edges within groups). Такая структура предполагает наличие в сети нескольких локальных кластеров (маленьких сообществ), которые между собой практически не взаимодействуют, либо взаимодействуют посредством мостов.



Рис. 1. Кластеризация научных публикаций по принципу соавторства

Сетевой граф соавторства был использован не только для выявления групп авторов, работающих совместно, но и для поиска ученых, максимально способствовавших развитию новых научных разработок в рассматриваемый временной период, т. е. ключевых авторов. Способствовать развитию научных знаний авторы могут в разных смыслах. Первый вариант – лидер, т. е. ученый непосредственно занимающийся разработкой новых научных результатов.

Наибольшее количество опубликованных значимых для развития науки статей у автора позволяет говорить о его лидерстве как ученого. Второй вариант, ученый способствует распространению и развитию научных знаний через научное сотрудничество, в том числе и с иностранными учеными. Поиск всех ключевых авторов графа соавторства (рис. 1) выполнен средствами позиционного анализа с использованием метрик центральности, их числовые значения для каждого узла вычисляются в программе Gephi автоматически. Результаты анализа представлены на рис. 2.

Узлы, для которых метрика Degree Centrality приняла наибольшее значение были отнесены программой к центральным (показаны на рис. 2 голубым цветом). Центральными узлами в сетевом графике два – Mahdi Homayouni и Junliang He [8,9]. Это авторы, имеющие большее количество публикаций и объединяющие относительно большие группы соавторов. Они являются по своей сути лидерами в данной области научных знаний и генерируют основные научные результаты в своем кластере. Поэтому знакомство с их разработками позволяет сделать вывод о векторе развития исследовательского интереса научных школ (кластеров) в настоящее время. Так, непосредственно внутри этих кластеров активно развиваются два научных направления: разработка моделей и алгоритмов, направленных на оптимизацию погрузочно-разгрузочных и складских операций в контейнерном терминале (научный руководитель Mahdi Homayouni); решение задач оптимизации работы грузоподъемных машин, а также задач распределения складских помещений на контейнерной площадке с поиском оптимальной стратегии распределения контейнеров в автоматизированном контейнерном терминале (научный руководитель Junliang He).

Максимальное значение метрики Betweenness Centrality определяет узел сети как мост (показан на рис. 2 красным цветом). В научной литературе можно встретить другой термин «узел контроллер передачи информации» как синоним термину «мост». Мост в данной в сети один – Caimao Tan [10]. Если удалить ребро «Junliang He – Caimao Tan», то кластер, в котором данные узлы находятся, распадется на два дополнительных изолированных научных сообщества с лидерами Junliang He и CaimaoTan.

Метрика Eigenvector Centrality выявляет узлы коммуникаторы. Для данного сетевого графа эта метрика равна нулю, т. е. узлы, обеспечивающие более быструю связь (обмен информацией) между центральными узлами различных кластеров отсутствуют. Данный факт еще раз подтверждает вывод о том, что в рассматриваемой сети тип взаимодействия научных сообществ между собой является «ассортативной структурой».



Рис. 2. Характеристики узлов в зависимости от их меры центральности

Распределение в выборке публикаций по странам их происхождения также подтверждает наличие большого числа локальных кластеров в международной сети (рис. 3). При этом наибольшее количество научных публикаций по исследуемой тематике аффилированы в странах Западной Европы, Китае и Южной Кореи. Основная тематика научных исследований в странах Западной Европы – комплексная оптимизация управления погрузочно-разгрузочными работами на автоматизированных контейнерных терминалах [11]; в Китае – автоматизация как отдельных грузоподъемных машин, так и контейнерных терминалов в целом [12]; в Южной Кореи - моделирование процессов управления перегрузочными операциями [13].

Если обратить внимание на распределение научных публикаций по тематическим рубрикам (рис. 4), то наибольший интерес у иностранных ученых вызывают вопросы, связанные с моделированием процессов управления перегрузочными операциями и оптимизацией грузоподъемных машин. Этот вывод сделан как по количеству опубликованных на данную тему работ, так и по количеству вовлеченных в данную проблематику авторов. Кроме того, достаточно большое количество разработок посвящено различным аспектам оценки результатов внедрения автоматизации в технологические процессы терминальной обработки контейнеров. А вот об актуальности внедрения средств автоматизации на терминале в иностранных источниках практически уже не пишут. В выборку попали только три автора с публикациями на данную тему. В решении задач, связанных с моделированием процессов управления перегрузочными операциями, лидируют китайские ученые и ученые Западной Европы. Наибольшее количество работ, посвященных различным

аспектам оценки результатов внедрения автоматизации в технологические процессы терминальной обработки контейнеров у китайских и корейских ученых.

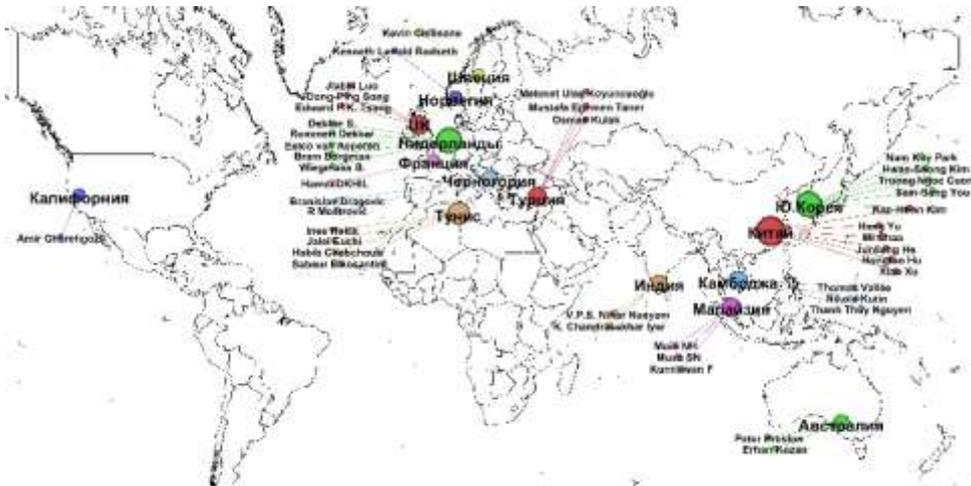


Рис. 3. География авторов, ведущих научные разработки в области автоматизации и цифровизации процессов терминальной обработки контейнеров



Рис. 4. Сеть результатов научной работы каждого автора по группам тематических направлений предметной области исследований

Такая иерархия распределения научных тематик – показатель того, что проблема автоматизации и цифровизации перегрузочных процессов находится на

заключительном этапе своего развития, а именно в цикле (эксплуатация, измерения, анализ, корректирующие действия) улучшения качества управления уже автоматизированными процессами (рис. 5). Для сравнения, аналогичный анализ работ российских ученых, выполненный авторами с использованием базы данных библиотеки eLIBRARY, показал, что жизненный цикл наших научных исследований находится в стадии внедрения новых технических разработок [13,14,15].

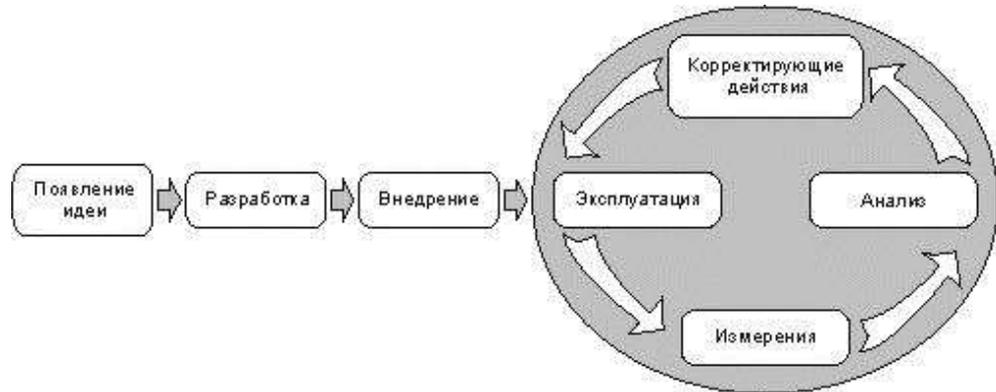


Рис. 5. Жизненный цикл научных разработок

На основе выполненного анализа сетевого графа соавторства (рис. 1) был сделан промежуточный вывод о том, что узлы, обеспечивающие более быструю связь (обмен информацией) между центральными узлами различных кластеров, отсутствуют из-за ассортативной структуры самой сети. Существует и другое (альтернативное) объяснение факту отсутствия узлов коммунитаторов и малому количеству мостов (один), а именно сеть обмена информации на основе соавторства построена в данном случае как международная и именно по этой причине ее структура ассортативная. И не смотря на такую структуру обмен новыми научными идеями и разработками между кластерами на самом деле интенсивен, просто организован другим способом (не через мосты и коммунитаторы).

Для уточнения этого момента дополнительно была построена сеть (ориентированный граф) перекрестного цитирования научных публикаций по данным выборки (рис. 6). Узлами этой сети являются по-прежнему авторы статей, попавших в случайную выборку, а ребра отражают наличие в статьях каждого из авторов ссылок на научные разработки остальных авторов. Толщина ребра, соединяющего два узла между собой, показывает степень «ссылаемости» на научные работы, а направление стрелок – кто кого цитирует.

Сетевой граф перекрестного цитирования помимо степени востребованности результатов исследования каждого автора дополнительно несет информацию о характере опосредованного взаимодействия научных сообществ. Поэтому он более информативен в плане объективно сформировавшихся способов обмена информацией между отдельными научными сообществами в международной научной сети.

Выводы на основе анализа ориентированного графа перекрестного цитирования (рис.6). Особенность формирования списка литературы в зарубежных публикациях – большое количество ссылок (тридцать и более) на работы ученых, не являющихся соавторами по отношению к автору статьи. При этом на собственные совместные работы авторского коллектива (составы авторских коллективов показаны на рис. 1), или работы одного из их членов ссылаться не принято. Работы для списка цитирования подбираются по следующим правилам: простое упоминание (ссылка на работу исследователя, ранее изучавшего данный вопрос); упоминание в развитии научного направления (автор цитирующей статьи развивает кем-то ранее

высказанные идеи). Характерно, что средняя степень «ссылаемости» на научные работы других авторов в статьях научных коллективов невелика (всего одно-два упоминания приходится на каждую статью в опубликованных ими списках литературы). Тем не менее, следует отметить, что у каждого авторского коллектива есть приоритетные авторы, на чьи работы они ссылаются многократно. В сетевом графе цитирований дополнительно удалось выявить группу узлов/авторов, на которые есть ссылки от авторов, представляющих разные научные кластеры. Иными словами, две-три научные школы независимо друг от друга цитируют работы ученых из этой группы. Следовательно, данную группу ученых следует в дальнейшем рассматривать как «авторитетную» на основании мнений авторов статей из совокупной выборки (показаны на рис. 6 красным цветом).

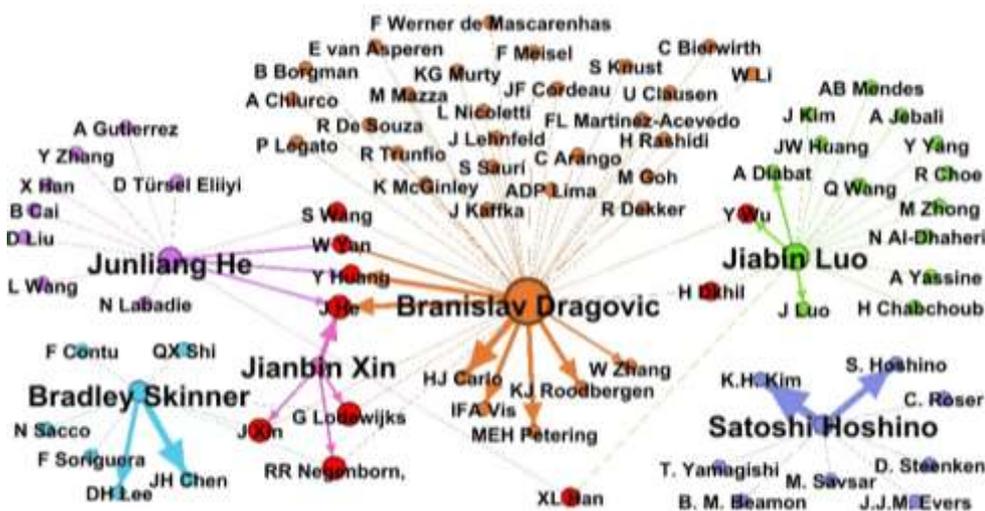


Рис. 6. Сеть цитирования научных публикаций

### Обсуждение

Бесспорно – любой человек занимающийся научными исследованиями хотя бы раз в жизни решал задачу поиска значимых работ из области своих научных интересов. Как правило, в результате поиска формировался большой список работ, из которых только часть публикаций в конечном итоге оказывалась релевантной. В эпоху больших данных затраты времени исследователя на решение этой задачи значительно увеличились.

Социально-сетевой анализ поля научных исследований в области своих научных интересов является удобным инструментом обработки полученной в результате поиска информации больших объемов. Во-первых, позволяет в наглядной форме отобразить взаимодействие ученых по принципу соавторства (рис. 1). Другими словами, представить базу данных по авторам в графическом виде. Кроме того, сервисы программного обеспечения Gephi позволяют легко добавлять к в уже включенным в сеть авторам исследователей с новыми научно значимыми разработками (сервис пополнения базы данных в режиме реального времени опубликования новых работ). Во-вторых, выделение в сети (рис. 2) ключевых авторов (лидер, мост, коммуникатор) ускоряет дальнейший поиск новых научных идей в области своих научных интересов чрез ознакомление в первую очередь с работами данных ученых. В-третьих, знания о степени развития научного направления в целом и о наиболее значимых на сегодняшний день исследовательских темах (рис. 4) позволяет находиться научному коллективу в тренде современной академической

исследовательской деятельности. В-четвертых, следует отметить, что результаты этого исследования имеют несколько академических и отраслевых последствий.

Для ученых, занимающихся проблемой автоматизации технологических процессов контейнерных терминалов, опубликованные сетевые графики позволят быстро организовать свой собственный поиск новых актуальных научных разработок с опорой на ключевые узлы (центральные, мосты и коммутаторы). А также знания о способах распространения информации в конкретном поле научных исследований (рис. 6) помогают более эффективно распространять собственные научные разработки, как в академическом, так и в отраслевом сообществах.

В практическом плане статья является, своего рода, методическим пособием по сбору и обработке информации для написания первой главы диссертационного исследования. Соискатели и аспиранты могут использовать опубликованные результаты для обоснования актуальности и новизны своего исследования, правильно сформулировать постановку решаемой ими задачи, определиться с набором используемых в работе методов и инструментов и т. д.

Для отраслевого сообщества представляет интерес систематизация и концентрация в одном источнике информации о текущих разработках в области автоматизации и цифровизации контейнерных терминалов. Другими словами, они заинтересованы в появлении научных работ, которые с некоторой периодичностью будут держать их в курсе текущего развития базы данных, раскрывающей накопленный практический опыт и знания, а также возникающих тенденции в отношении конкретных тем из данной области исследований.

### **Заключение**

В результате выполненного анализа были выявлены следующие особенности локализации знаний и способов распространения научных идей в международном поле исследований автоматизации технологических процессов контейнерных терминалов:

1. Тип взаимодействия научных сообществ между собой в последние десять лет определяется как ассортативная / разделенная структура. Научные знания распространяются в сети через центральные узлы и мосты, узлы коммутаторы отсутствуют. Сеть очень разреженная, размер самого большого связанного кластера составляет шесть узлов, т. е. 1/6 от всей совокупности узлов. Наиболее часто встречаются научные сообщества с размерностью два - три соавтора в коллективе.
2. Обмен новыми научными идеями и разработками между кластерами происходит опосредованно через цитирование работ других ученых. Список цитируемой литературы формируется по следующим правилам: простое упоминание (ссылка на работу исследователя, ранее изучавшего данный вопрос); упоминание в развитии научного направления (автор цитирующей статьи развивает кем-то ранее высказанные идеи). В отличие от российской традиции в иностранных публикациях в списках цитирований преобладают чужие научные исследования, т. е. на свои работы или одного из членов своего авторского коллектива ссылаться не принято. Нет ограничений на год издания цитируемой статьи, т. е. в списках литературы из выборки встретилось много ссылок на статьи, опубликованные 20-30 лет назад. Работы, опубликованные за последнее десятилетие, цитируются иностранными источниками в меньшем количестве. Средняя степень «ссылаемости» на научные разработки других авторов в статьях научных коллективов невелика (всего одно-два упоминания каждой статьи приходится на всю совокупность литературных источников из опубликованных ими списков). Другими словами, авторы статей каждый раз ссылаются на новые источники информации.

3. Разработки иностранных ученых находятся в завершающей стадии жизненного цикла научной идеи, а именно переосмысление полученных результатов (этап улучшения качества управления уже автоматизированными технологическими процессами). Доминирующие тематические направления в деятельности зарубежных научных школ за последние десятилетие – моделированием процессов управления перегрузочными операциями и оценкарезультатов внедрения автоматизации в технологические процессы терминальной обработки контейнеров.

#### Список литературы

1. Dragović, B., Zrnić, N., Tzannatos E., Kosanić, N. and Dragović, A. (2023), "A bibliometric analysis and assessment of container terminal operations research", *Maritime Business Review*, Vol. 8 No. 3, pp. 269-293. <https://doi.org/10.1108/MABR-07-2022-0035>
2. Тимошек, Е. С. Аналитический обзор моделей и методов в управлении работой флота / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // *Эксплуатация морского транспорта*. – 2021. – № 4(101). – С. 38-51. – DOI 10.34046/aumsuomtl01/7. – EDNGJAWX1.
3. Соловьева, Е. Е. Исследование подходов в разработке алгоритмов управления автоматизированной системой организации поиска и выемки контейнеров / Е. Е. Соловьева // *Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Пятой международной научно-технической конференции, Петропавловск-Камчатский, 18–21 октября 2022 года*. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2022. – С. 70-74. – EDN TIXLVL.
4. Ганнесен, В. В. Обоснование схемы технологической операции расформирования контейнерного штабеля при автоматизации рабочего цикла автопогрузчика / В. В. Ганнесен, Т. Е. Маликова, Е. Е. Петрова // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 603-616. – DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-4-603-616. – EDNXGBVXM.
5. Тимошек, Е. С. Распределительная модель судов снабжения арктического региона на участке транспортной сети / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. – 2019. – № 60. – С. 213-222. – EDNKPHANZ.
6. A link clustering based overlapping community detection algorithm / Ch. Shi, Y. Cai, D. Fu, Y. Dong [et al.] // *Data & Knowledge Engineering*. 2013. Vol. 87. P. 394– 404. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2013.05.004> 21. Scopus – поиск документа // Scopus [Б. м.]. 2021. URL: <https://www.scopus.com/> (дата обращения: 10.11.2021).
7. Fontes, D.B.M.M., Homayouni, S.M. A bi-objective multi-population biased random key genetic algorithm for joint scheduling quay cranes and speed adjustable vehicles in container terminals. *FlexServManuf J* 35, 241–268 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10696-022-09467-6>.
8. Junliang He, ZhaoweiJin, Caimao Tan, Yu Wang, and Hang Yu *Asia-Pacific Journal of Operational Research* Vol. 38, No. 03, 2140005 (2021) *Yard Template Generation in a Container Terminal Considering Time Requirement of Vessel Operation* <https://doi.org/10.1142/S0217595921400054>.
9. Minghui Wei, Junliang He, Caimao Tan, Jiantao Yue, Hang Yu, *Quay crane scheduling with time windows constraints for automated container port*, *Ocean & Coastal Management*, Volume 231, 2023, 106401, ISSN 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106401>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569122003775>).
10. Seyed Mahdi Homayouni, Sai Hong Tang, Omid Motlagh, A genetic algorithm for optimization of integrated scheduling of cranes, vehicles, and storage platforms at automated container terminals, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 270, 2014, Pages 545-556, ISSN 0377-0427, <https://doi.org/10.1016/j.cam.2013.11.021>.
11. Jianbin Xin, Rudy R. Negenborn, Corman, Francesco, Optimal scheduling and routing of free-range AGVs at large scale automated container terminals/ *Journal / series Periodica Polytechnica Transportation Engineering* Volume 44(3) Pages / Article No. 145 – 154, 2016 <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000183049>

12. Ngoc CT, Xu X, Kim H-S, Nguyen DA, You S-S. Container port throughput analysis and active management using control theory. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment. 2022;236(1):185-195. doi:10.1177/14750902211020875
13. Петрова, Е.Е. Социально-сетевой анализ научного поля исследований в области автоматизации грузовых контейнерных перевозок / Е. Е. Петрова, Т. Е. Маликова // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: Пятая Международная научная конференция, Санкт-Петербург, 04–20 апреля 2024 года. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024. – С. 235-242.
14. Соловьева, Е. Е. Алгоритм управления действиями погрузчика при выборке контейнеров из операционного штабеля морского терминала / Е. Е. Соловьева, Т. Е. Маликова // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXVI Международная научная конференция. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 29 мая – 02 2023 года. Том Часть 3. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 127-132. – EDNHKRBVB.
15. Соловьева, Е. Е. Выбор оптимальной последовательности сигналов блока управления при обработке штабеля контейнеров на морском терминале / Е. Е. Соловьева, Т. Е. Маликова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 426-436. – DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-3-426-436. – EDNJTWBZS.

#### Reference

1. Dragović, B., Zrnić, N., Tzannatos, E., Kosanić, N. and Dragović, A. (2023), "A bibliometric analysis and assessment of container terminal operations research", *Maritime Business Review*, Vol. 8 No. 3, pp. 269-293. <https://doi.org/10.1108/MABR-07-2022-0035>
2. Timoshek, E. S., and Malikova, T. E. (2021) Analytical review of models and methods in fleet management. *Jekspluatacija morskogo transporta*. № 4(101), 38-51. – DOI 10.34046/aumsuomtl01/7.
3. Solov'eva, E. E. I research of approaches in the algorithms development for managing an automated system for organizing the search and seizure of containers (2022). *Tehnicheskaja jekspluatacija vodnogo transporta: problem iputirazvitija: Materialy Pjatoj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskij konferencii, Petropavlovsk-Kamchatskij: Kamchatskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet*, 70-74.
4. Gannesen, V. V., Malikova T. E., and Petrova E. E. (2023). Justification of the container stack unpacking technological operation scheme in the automation of the loader work cycle // *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. Admirala S.O. Makarova*. 15, № 4. 603-616. – DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-4-603-616.
5. Timoshek, E. S., and Malikova T. E. (2019). Routing model for supply ships operating in the arctic region transport network. *Vestnik Volzhskoj gosudarstvenno jakademii vodnogo transporta*. № 60, 213-222.
6. A link clustering based overlapping community detection algorithm / Ch. Shi, Y. Cai, D. Fu, Y. Dong [et al.] // *Data & Knowledge Engineering*. 2013. Vol. 87. P. 394– 404. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2013.05.004> 21. Scopus – поиск документа // Scopus [Б. м.]. 2021. URL: <https://www.scopus.com/> (дата обращения: 10.11.2021).
7. Fontes, D.B.M.M., Homayouni, S.M. A bi-objective multi-population biased random key genetic algorithm for joint scheduling quay cranes and speed adjustable vehicles in container terminals. *FlexServManuf J* 35, 241–268 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10696-022-09467-6>.
8. Junliang He, Zhaowei Jin, Caimao Tan, Yu Wang, and Hang Yu *Asia-Pacific Journal of Operational Research* Vol. 38, No. 03, 2140005 (2021) Yard Template Generation in a Container Terminal Considering Time Requirement of Vessel Operation <https://doi.org/10.1142/S0217595921400054>.
9. Minghui Wei, Junliang He, Caimao Tan, Jiantao Yue, Hang Yu, Quay crane scheduling with time windows constraints for automated container port, *Ocean & Coastal Management*, Volume 231, 2023, 106401, ISSN 0964-5691,

- <https://doi.org/10.1016/j.ocescoaman.2022.106401>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569122003775>).
10. Seyed Mahdi Homayouni, Sai Hong Tang, Omid Motlagh, A genetic algorithm for optimization of integrated scheduling of cranes, vehicles, and storage platforms at automated container terminals, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 270, 2014, Pages 545-556, ISSN 0377-0427, <https://doi.org/10.1016/j.cam.2013.11.021>.
  11. Jianbin Xin, Rudy R. Negenborn, Corman, Francesco, Optimal scheduling and routing of free-range AGVs at large scale automated container terminals/ *Journal / series PeriodicaPolytechnica Transportation Engineering* Volume44(3)Pages / Article No.145 – 154, 2016 <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000183049>
  12. Ngoc CT, Xu X, Kim H-S, Nguyen DA, You S-S. Container port throughput analysis and active management using control theory. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. 2022; 236(1):185-195. doi:10.1177/14750902211020875
  13. F. Corman et al., "Optimizing hybrid operations at large-scale automated container terminals," 2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), Budapest, Hungary, 2015, pp. 514-521, doi: 10.1109/MTITS.2015.7223302.
  14. Solov'eva, E. E., and Malikova, T. E. (2023). The algorithm for controlling the loader operations when selecting containers from the marine terminal operational stack *Volnovajaj elektronika i infokomunikacionnye sistemy: Sbornik statej XXVI Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija*. 3. – Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet ajerokosmicheskogo priborostroenija, № 3, 127-132.
  15. Solov'eva, E. E., and Malikova, T. E. (2023). The selection of the control unit optimal signalling sequence in container stack handling at sea port terminal. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. 15 (3), 426-436.

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

**Петрова Екатерина Евгеньевна**, старший преподаватель, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, д.52-Б, e-mail: pillers@mail.ru

**Ekaterina E. Petrova**, Senior Lecturer, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52-B Lugovaya Str., Vladivostok, 690087, e-mail: pillers@mail.ru

**Ганнесен Виталий Витальевич**, доцент, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, д.52-Б, e-mail: v\_gannesen@mail.ru

**Vitalii V. Gannesen**, Associate Professor, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52-B Lugovaya Str., Vladivostok, 690087, e-mail: v\_gannesen@mail.ru

**Маликова Татьяна Егоровна**, доктор технических наук, доцент, Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, 690059, г. Владивосток, Верхнепортовая, д.50-А, e-mail: Malikova@msun.ru

**Tatiana E. Malikova**, Dr. of Technical Sciences, associate professor, Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoi, 50-A Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690059, e-mail: Malikova@msun.ru

Статья поступила в редакцию 03.04.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 03.04.2024; published online 20.06.2024.

УДК 656.61

DOI: 10.37890/jwt.vi79.485

## **Анализ аварийности на морском транспорте с использованием метода байесовских сетей доверия**

**А.Н. Попов**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0002-8630-3111

**Г.А. Зеленков**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0001-7912-9285

**В.С. Плужник**<sup>1</sup>

ORCID: 0009-0002-7435-8446

**О.Е. Бородин**<sup>1</sup>

ORCID: 0009-0004-9387-5021

<sup>1</sup>*Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия*

**Аннотация.** Морские происшествия хоть и являются редким событием, но имеют огромное влияние как на мировую экономику, так и на окружающую среду. Улучшение практики морского судоходства всегда требует новых способов повышения безопасности, что неизменно предполагает извлечение уроков из прошлого опыта и ошибок. В этом контексте вероятностный анализ происшествий и связанных с ними последствий может сыграть очень важную роль в создании более безопасной и эффективной морской транспортной системы. Байесовские сети представляют собой класс вероятностных моделей, основанных на статистике, теории принятия решений и теории графов.

В представленной статье описан анализ статистики морских происшествий путём отбора влияющих на риск их возникновения вероятностных параметров. Важные параметры из этой базы данных группируются, и строится байесовская сеть, которая показывает взаимосвязь между ними, что, в свою очередь, даёт представление о зависимостях, существующих между параметрами в базе данных, и непосредственно основных причинах этих аварий. Данные для данного исследования основаны на базе данных происшествий Lloyds Register и ИМО с 1990 по 2022 год. Важные факторы из этой базы данных объединены, и построена байесовская сеть, отображающая взаимосвязь между соответствующими переменными, что в свою очередь даёт представление о вероятностных зависимостях между переменными в базе данных и основных причинах этих происшествий.

**Ключевые слова** Байесовская сеть доверия, анализ рисков, информационная байесовская модель, ациклические графы, база данных повреждений, предварительные знания, сетевой анализ, вероятностная сеть.

## **Analysis of accidents in maritime transport using the method of Bayesian trust networks**

**Anatoly N. Popov**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0002-8630-3111

**Gennadiy A. Zelenkov**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0001-7912-9285

**Valeriy S. Pluzhnik**<sup>1</sup>

ORCID: 0009-0002-7435-8446

**Oleg E. Borodin**<sup>1</sup>

ORCID: 0009-0004-9387-5021

<sup>1</sup>*Admiral Ushakov Maritime State University, Russia, Novorossiysk*

**Abstract.** Maritime incidents, though rare, have a significant impact on both the global economy and the environment. Improving maritime navigation practices always requires new ways to enhance safety, inevitably involving learning from past experiences and mistakes. In this context, probabilistic analysis of incidents and their associated consequences can play a crucial role in creating a safer and more efficient maritime transportation system. Bayesian networks constitute a class of probabilistic models based on statistics, decision theory, and graph theory.

This paper describes the analysis of maritime incident statistics by selecting probabilistic parameters influencing the risk of their occurrence. Important parameters from this database are grouped, and a Bayesian network is constructed to illustrate the relationships between them. This, in turn, provides insight into the dependencies existing among the variables in the database and the fundamental reasons for these accidents. The data for this study are based on the Lloyds Register and IMO incident databases from 1990 to 2022. Key factors from this database are grouped, and a Bayesian network is built to show the relationships between the corresponding variables, providing an understanding of the probabilistic dependencies among the variables in the database and the primary causes of these incidents.

**Keywords:** Bayesian trust network, risk analysis, information Bayesian model, acyclic graphs, damage database, prior knowledge, network analysis, probabilistic network.

### **Введение**

Морское судоходство или коммерческий морской транспорт всегда были основой мировой торговли на протяжении веков. Более 90% мировой торговли осуществляется морем, и за последние несколько десятилетий объем торговли динамично возрос из-за индустриализации и либерализации национальных экономик, что привело к свободной торговле и растущему спросу на потребительские товары.

Различного рода происшествия на море, могут оказывать огромное воздействие как на экономику, так и на окружающую среду. В постоянной практике судоходства всегда требуются новые способы улучшения безопасности морского судоходства с целью минимизации гибели людей, потерь транспортных компаний и вреда окружающей среде. Для этого необходимо извлекать уроки из прошлого опыта и анализировать ошибки. В этом отношении вероятностный анализ происшествий и связанных с ними последствий может сыграть важную роль в создании более надежной системы безопасности на морском транспорте.

**Целью исследования является** анализ морских происшествий с целью улучшения безопасности морского судоходства и минимизации вреда для окружающей среды.

**Объект исследования:** морские происшествия.

**Предмет исследования:** факторы, влияющие на возникновение и последствия морских происшествий, а также разработка методов и моделей для их анализа и прогнозирования.

**Методы исследования:** для достижения цели использовались методы вероятностного анализа, анализа данных, моделирования, статистического анализа, исследования зависимостей и анализа тенденций.

### **Методы вероятностного анализа статистики морских происшествий**

Байесовские сети, относящиеся к семейству вероятностных графических моделей, могут помочь в анализе морских происшествий [1,2]. Эти сети соответствуют структуре графических моделей, известной как направленный ациклический граф (DAG), который определяется множеством узлов (вероятностных параметров) и множеством направленных ребер (зависимостей) [3].

Основная формула, используемая в в байесовских сетях, вытекает из определения условной вероятности:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

где:

$P(A)$  – априорная вероятность гипотезы  $A$

$P(A|B)$  – вероятность гипотезы  $A$  при наступлении события  $B$  (апостериорная вероятность)

$P(B|A)$  – вероятность наступления события  $B$  при истинности гипотезы  $A$

$P(B)$  – полная вероятность наступления события  $B$

Для дальнейших расчётов в качестве исходных данных используется анализ информации о прошлых инцидентах связанных с морскими судами [4,5,6].

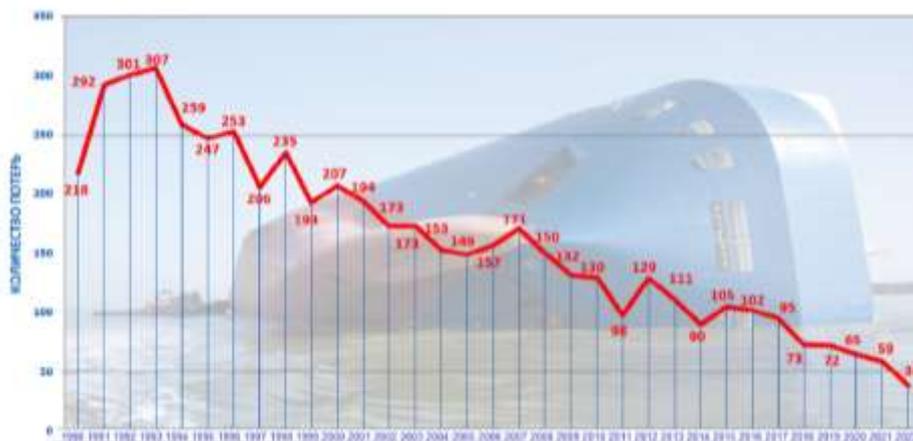


Рис. 1. Количество потерь в мировом флоте с 1990 по 2022 год

Существует различное программное обеспечение для проведения сетевого анализа, такое как Hugin, Graphical Network Interface (GeNIe) и другие. В данной работе сетевой анализ был проведен с использованием GeNIe, а также используется информационное моделирование, то есть выявление структуры байесовской сети из источника данных [3].

В подходе на основе ограничений направленный ациклический граф рассматривается как кодировка отношений зависимости и максимального числа независимостей в сети, которые можно вывести без применения числовых вычислений. Схожие по характеру данные были сгруппированы вместе, как показано в Таблице 2.



Рис. 2. Схема информационного моделирования

Анализ этих данных проводится с использованием информационного метода в программе GeNIe [3,7]. В ней доступны четыре метода обучения на основе данных:

Алгоритм PC представляет собой алгоритм на основе ограничений для изучения структуры байесовской сети.

Greedy thick thinning основано на алгоритме поиска и оценки.

Essential graph search начинается с графа, полученного путем применения алгоритма PC, и затем продолжается с поиска GTT.

Naive classifier - это простой вероятностный классификатор, основанный на применении теоремы Байеса с сильными предположениями о независимости

Все методы, кроме NAIVE, позволяют вводить предварительные знания, когда у пользователя есть предварительные знания о связях и направлении стрелок перед анализом и есть некоторый контроль над конечным графом. На рисунке 3 показаны графики, полученные с использованием этих методов [7,8].

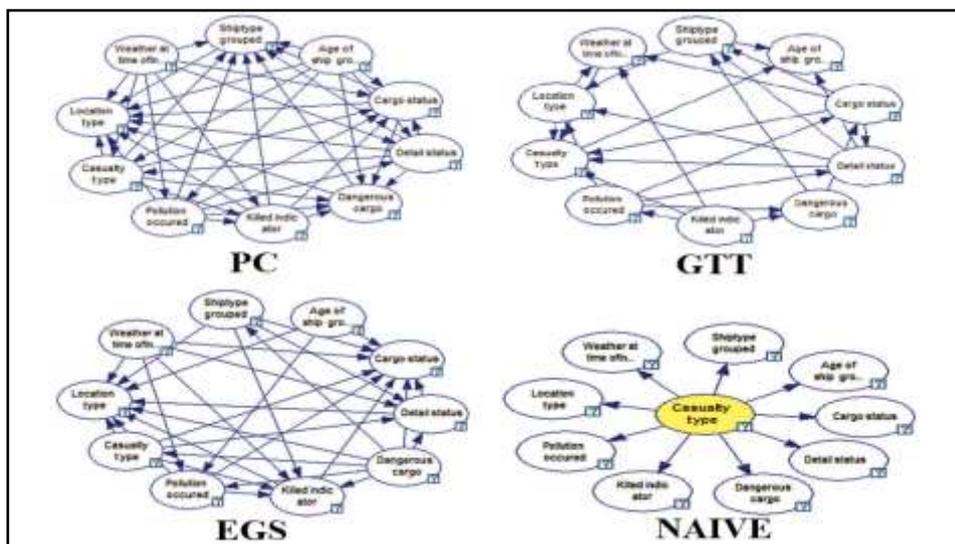


Рис. 3. Структура моделей вероятностной сети

**Результаты исследования**

Таблица 2

**Предварительная обработка данных**

Категория	Кол-во
Тип судна	
Сухогрузы	2153
Навалочные суда	1320
Химовозы/Продуктовозы	872
Другие	3143
Локация	
Море	3393
Порт, гавань или док	2037
Устье реки, река, стеснённые воды	1632
Другое	426
Опасный груз	
Нет	3546

Категория	Кол-во
Да	563
Неизвестно	3379
Тип происшествия	
Столкновение	3796
Кораблекрушение, посадка на мель	3692
Статус судна	
В рейсе	5264
Другое	2224
Есть ли убитые	
Да	122
Нет	7165
Неизвестно	201
Загрязнение морской среды	
Да	423
Нет	6064
Неизвестно	1004
Возраст судна	
Менее 10 лет	2006
10-20 лет	2148
20-30 лет	2141
30 и более лет	1193
Статус груза	
В грузу	3114
Другое	992
Неизвестно	3382
Состояние погоды	
Тяжёлые погодные условия	747
Другое	1279
Неизвестно	5462

В зависимости от предварительных данных мы получаем различные результаты. Для иллюстрации этого приведено следующее исследование на основе метода РС.

Целью проводимых расчётов является определение типа инцидента, индикатора загрязнения, числа пострадавших людей, местоположения и погодных условий при заданных данных о типе судна (грузовое судно), возрасте судна, статусе груза, детальном состоянии судна и наличии опасного груза.

Для судна с учетом пяти переменных существует 72 различных сценария, что означает, что для четырех типов судов, рассматриваемых в этой базе данных, возможно 288 сценариев. В качестве примера, в Таблице 3 приведены исследования по навалочным судам возрастом менее 10 лет.

Таблица 3

Результаты расчётов по методу РС для навалочных судов возрастом менее 10 лет

Дано	Груз	В грузу					
	Статус	В рейсе			Другое		
	Опасный груз	Нет	Неизв.	Да	Нет	Неизв.	Да
Погода	Сложные погодные условия	7%	6%	20%	13%	24%	70%
	Другое	7%	9%	27%	14%	6%	1%
	Неизвестно	86%	86%	53%	72%	70%	29%
Локация	Море	49%	38%	44%	13%	1%	16%
	Устье реки	37%	21%	40%	54%	6%	65%
	Порт/Гавань	11%	20%	8%	32%	92%	17%
	Другое	3%	21%	8%	1%	1%	2%
Происшествие	Столкновение	27%	23%	57%	46%	87%	83%
	Кораблекрушение/ Посадка на мель	73%	77%	43%	54%	13%	17%
Столкновение	Нет	87%	97%	43%	79%	65%	91%
	Неизвестно	9%	1%	28%	17%	5%	3%
	Да	4%	2%	28%	3%	30%	6%
Потери среди людей	Нет	98%	97%	91%	96%	98%	98%
	Неизвестно	0%	1%	6%	3%	1%	1%
	Да	2%	2%	3%	1%	1%	1%

Продолжение таблицы 3

Дано	Груз	Другое					
	Статус	В рейсе			Другое		
	Опасный груз	Нет	Неизв.	Да	Нет	Неизв.	Да
Погода	Сложные погодные условия	13%	7%	55%	39%	57%	34%
	Другое	11%	4%	28%	9%	2%	10%
	Неизвестно	77%	89%	18%	51%	42%	56%
Локация	Море	43%	37%	25%	9%	1%	25%
	Устье реки	47%	20%	25%	12%	24%	25%
	Порт/Гавань	10%	40%	25%	77%	46%	25%
	Другое	1%	3%	25%	2%	29%	25%
Происшествие	Столкновение	36%	78%	25%	74%	80%	82%
	Кораблекрушение/ Посадка на мель	64%	22%	75%	26%	20%	18%
Столкновение	Нет	95%	77%	64%	85%	95%	68%
	Неизвестно	0%	18%	4%	1%	2%	23%
	Да	5%	5%	32%	14%	3%	9%
Потери среди людей	Нет	99%	96%	72%	95%	96%	65%
	Неизвестно	1%	2%	14%	3%	2%	21%
	Да	0%	2%	14%	2%	2%	11%

Окончание Таблицы 3

Дано	Груз	Неизвестно					
	Статус	В рейсе			Другое		
	Опасный груз	Нет	Неизв.	Да	Нет	Неизв.	Да
Погода	Сложные погодные условия	18%	11%	36%	72%	1%	34%
	Другое	2%	4%	40%	17%	9%	40%
	Неизвестно	80%	84%	24%	11%	90%	27%
Локация	Море	50%	56%	25%	9%	2%	25%
	Устье реки	22%	21%	25%	9%	24%	25%
	Порт/Гавань	16%	12%	25%	72%	71%	25%
	Другое	12%	11%	25%	9%	3%	25%
Происшествие	Столкновение	52%	74%	33%	83%	80%	65%
	Кораблекрушение/ Посадка на мель	48%	26%	67%	17%	20%	35%
Столкновение	Нет	99%	89%	62%	78%	88%	52%
	Неизвестно	0%	9%	5%	4%	11%	23%
	Да	1%	2%	33%	28%	1%	25%
Потери среди людей	Нет	100%	99%	62%	96%	98%	34%
	Неизвестно	0%	1%	20%	1%	1%	12%
	Да	0%	0%	19%	3%	1%	55%

### Заключение

На базе данных было проведено исследование случая и показаны ориентированные ациклические графы, а также приведена таблица с результатами полученными по одному из представленных методов. Эти результаты показывают тенденции, скрытые в базе данных происшествий с судами.

Область применения данного анализа может быть дополнительно расширена путем включения экспертных оценок для количественной оценки неизвестных сведений в базе данных и включения структурных деталей судов, участвующих в происшествиях.

### Список литературы

1. Попов А.Н. Теоретико-методологические основы интеграции и отображения информации в морской эргатической системе : Дис. ... докт. физ. мат. наук: 05.22.19 / А.Н. Попов – Новороссийск, 2021 – 340 с
2. Probabilistic method of predicting ship collision damage// Brown AJ, Chen D.// Ocean Eng Int J. – 2002- 6(1)-P.54–65.
3. A tutorial on learning with Bayesian networks. // Heckerman D.// In: Jordan M. editor, Learning in graphical models. - Cambridge (MA): MIT Press - 1998 - P. 301–354.
4. International Maritime Organization (IMO): Maritime Facts and Figures
5. <https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/Pages/MaritimeFactsFigures-Default.aspx>
6. [Дата обращения 18.10.2023]
7. Реконструкция различных навигационных сценариев судна «Ever Given», включая посадку на мель в Суэцком канале с использованием симулятора моста с современными электронными навигационными картами // Попов А.Н., Зеленков Г.А., Папулов Д.С. // Journal of Physics: Conference Series -2021 - 2061(1)

8. Lloyds Register: Maritime Casualty Incidents
9. <https://www.lloydslistintelligence.com/knowledge-hub/data-storytelling/maritime-casualty-incidents>
10. [Дата обращения 20.10.2023]
11. Effect of ship structure and size on grounding and collision damage distribution// Pedersen PT, Zhang S. // Ocean Eng. – 2000 – 27 – P. 1161–1179.
12. Causation, prediction, and search, adaptive computation and machine learning.// Spirtes P, Glymour C, Scheines R. // Cambridge (MA): MIT Press. 2nd ed.– 2000

#### References

1. Popov A.N. Theoretical and methodological foundations of the integration and display of information in the marine ergatic system : PhD thesis : 05.22.19 / Popov A.N. – Novorossiysk, 2021 – 340 p.
2. Probabilistic method of predicting ship collision damage// Brown AJ, Chen D.// Ocean Eng Int J. – 2002- 6(1)-P.54–65.
3. A tutorial on learning with Bayesian networks. // Heckerman D.// In: Jordan M. editor, Learning in graphical models. - Cambridge (MA): MIT Press - 1998 - P. 301–354.
4. International Maritime Organization (IMO): Maritime Facts and Figures
5. <https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/Pages/MaritimeFactsFigures-Default.aspx>
6. [Date of reference 18.10.2023]
7. Reconstruction of various navigational scenarios of the «Ever Given» ship, including grounding in the Suez Canal using the bridge simulator with up-to-date electronic navigation charts // Popov, A.N., Zelenkov, G.A., Papulov, D.S. // Journal of Physics: Conference Series - 2021 - 2061(1)
8. Lloyds Register: Maritime Casualty Incidents
9. <https://www.lloydslistintelligence.com/knowledge-hub/data-storytelling/maritime-casualty-incidents>
10. [Date of reference 20.10.2023]
11. Effect of ship structure and size on grounding and collision damage distribution// Pedersen PT, Zhang S. // Ocean Eng. – 2000 – 27 – P. 1161–1179.
12. Causation, prediction, and search, adaptive computation and machine learning.// Spirtes P, Glymour C, Scheines R. // Cambridge (MA): MIT Press. 2nd ed.– 2000
- 13.

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

**Попов Анатолий Николаевич** д.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация водного транспорта, судовождение», Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, e-mail: an.popov.mga@gmail.com

**Зеленков Геннадий Анатольевич** д.ф.-м.н., доцент кафедры «Системный анализ и управление процессами на водном транспорте», Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, e-mail: mathshell@mail.ru

**Плужник Валерий Сергеевич** Аспирант специальности «Эксплуатация водного транспорта, водные пути сообщения и гидрография», Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, e-mail: pluzhnik2001@mail.ru

**Popov A.N.** PhD (technical science), Senior lecturer of the Department of «Operation of water transport, navigation» Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, e-mail: an.popov.mga@gmail.com

**Zelenkov G.A.** PhD ( physico-mathematical science), Senior lecturer of the Department of «System analysis and process management in water transport» Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, e-mail: mathshell@mail.ru

**Pluzhnik V.S.** Postgraduate student of «Operation of water transport, waterways and hydrography» Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, e-mail: pluzhnik2001@mail.ru

**Бородин Олег Евгеньевич** Аспирант специальности «Эксплуатация водного транспорта, водные пути сообщения и гидрография» ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», г. Новороссийск, e-mail: [elb999@mail.ru](mailto:elb999@mail.ru)

**Borodin O.E.** Postgraduate student of «Operation of water transport, waterways and hydrography» Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, e-mail: [elb999@mail.ru](mailto:elb999@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 30.12.2023; опубликована онлайн 20.06.2024.  
Received 30.12.2023; published online 20.06.2024.

**Научные проблемы  
водного транспорта**

**Russian Journal of Water  
Transport**

**№79(2), 2024**

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 17,81. Уч.-изд. л. 24,93.  
Заказ 072. Тираж 500.

Федеральное агентство морского и речного транспорта.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса ФГБОУ ВО «ВГУВТ». Адрес 603951, Российская Федерация, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.