



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

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

## Научные проблемы водного транспорта

№78 (1) 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;

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 №78 (1) 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 university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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





## **Конструкторское бюро ВГУВТ**

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

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

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



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



# СОДЕРЖАНИЕ

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

**С.Н. Гирип**

Модульная конструкция баржи-площадки..... 15

**Е. В. Зарецкая**

История советской инновации по приобретению иностранного тоннажа и перспектива использования бербоут-чартера как инструмента пополнения флота в современных условиях..... 29

**А.Н. Ковалев, Ф.Н. Ковалев**

Остойчивость и углы крена корабля при его малых конечных наклонениях из разных исходных положений ..... 46

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

Разработка математической модели и алгоритма определения последовательности дефектации корпуса судна ..... 66

**М.С. Манакова, С.В. Васькин**

Влияние скорости судна-сборщика на эффективность работы системы сбора судовых отходов ..... 76

**Е.Ю. Чебан, А.И. Кожевников**

Исследование волнообразования поплавок для использования в качестве бульбов большегрузных катамаранов ..... 84

## **Судовое энергетическое оборудование**

**В.Л. Конюков**

Проектная оценка диапазона допустимых режимов эксплуатации судового двухтактного дизеля ..... 97

**Ю.С. Малышев, О.А. Бурмакин, С.В. Попов**

Система двойного рода тока с обратимым валогенератором в составе судовой энергетической установки ..... 107

**В.Р. Саитгареев**

Анализ эксплуатации и отказов энергетической установки на скоростных судах с полупогружными винтами ..... 116

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

**А.И. Гаврилов, У Сянъюй, Чжан Чжэнь**

Новый мировой порядок в безопасности транспортных перевозок грузов..... 127

**Р.И. Каравашкина, Ю.Р. Гуро-Фролова, Е.М. Федотова**

Факторы повышения эффективности использования рабочего времени работников умственного труда на водном транспорте ..... 141

**М.С. Колосова, Д.Ю. Фраймович**

Анализ тенденций функционирования водного и воздушного транспорта в регионах РФ на фоне возникающих кризисов..... 148

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

***И.В. Липатов***

Особенности создания математической модели и ее реализации для моделирования гидродинамики речного потока в нижнем течении р. Оки..... 156

***В.А. Лобанов***

Ледовый паспорт речного ледокола: маневренность ..... 169

***Е.Е. Петрова, В.В. Ганнесен***

Анализ опыта автоматизации и роботизации операционных процессов контейнерного терминала ..... 178

***В.И. Минеев, Д.А. Почакаев***

Анализ организации экспортных перевозок серы в смешанном река-море сообщении ..... 191

***А.Г. Назаров***

Особенности применения требований Международной конвенции безопасности высокоскоростных судов к судам малых размеров ..... 201

***А.Ю. Платов, Ю.И. Платов***

Исследование взаимосвязей между техническими и экономическими характеристиками речных грузовых судов при эксплуатационно-экономическом обосновании ..... 212

***В.И. Решняк, О.Л. Домнина, Н.Б. Сатина***

Элементы технологии переработки и утилизации пищевых отходов при эксплуатации судов..... 225

***П.Н. Токарев***

Стоянка судна на якоре в стесненных путевых условиях ..... 234

***А.А. Чалкина, А.В. Лобанов***

Развитие мировых технологий в области опорных конструкций плавучих ветряных электростанций ..... 245

***В.Н. Яковлев***

Влияния течения на курс и скорость парусного судна..... 258

# CONTENTS

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

***Stanislav N. Girin***

Modular design of the barge platform ..... 15

***Ekaterina V. Zaretskaya***

The history of the soviet innovation of purchase foreign vessels and the prospect of using bareboat charter as way for replenishing the fleet in current circumstances ..... 29

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

Stability and roll angles of the ship at its small finite tilts from different starting positions..... 46

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

Development of a mathematical model and algorithm for the sequence of fault detection of the ship's hull ..... 66

***Margarita S. Manakova, Sergey V. Vas'kin***

Influence of the collecting vessel speed on the efficiency of the ship waste collection system ..... 76

***Egor Yu. Cheban, Artur I. Kozhevnikov***

The study of float wave formation for the usage as heavy-duty catamaran bulbs ..... 84

## ***Ship power equipment***

***Viacheslav L. Konyukov***

Design assessment of the range of permissible operation modes of a marine two-stroke diesel engine ..... 97

***Yuriy S. Malyshev, Oleg A. Burmakin, Sergey V. Popov***

Dual current system with a reversible shaft generator as part of a ship's power plant..... 107

***Vadim R. Saitgareev***

The analysis of operation and failures of a power plant on high-speed vessels with semi-submersible propellers ..... 116

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

***Alexander I. Gavrilov, Wu Xiangyu, Zhang Zhen***

The new world order in the safety of cargo transportation ..... 127

***Renata I. Karavashkina, Yulya R. Guro-Frolova, E.M. Fedotova***

Factors for increasing the efficiency of using working time for knowledge workers in water transport ..... 141

***Maria S. Kolosova, Denis Yu. Fraimovich***

Analysis of trends in the functioning of water and air transport in the regions of the Russian Federation against the backdrop of emerging crises ..... 148

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

***Igor V. Lipatov***

Features of creating a mathematical model and its implementation for modeling the hydrodynamics of a river flow in the lower district of the Oka r. .... 156

***Vasily A. Lobanov***

Ice passport of a river icebreaker: maneuvering ability ..... 169

***Ekaterina E. Petrova, Vitaliy V. Gannesen***

Experience analysis of automation and robotization of the container terminal operation .. 178

***Valery I. Mineev, Dmitry A. Pochekaev***

Analysis of the organization of sulfur export transportation in mixed river-sea traffic ..... 191

***Albert G. Nazarov***

Specifics of application of requirements of International code on safety of high-speed craft to small craft ..... 201

***Alexander J. Platov, Juri I. Platov***

Study of the relationships between the technical and economic characteristics of river cargo ships during operational and economic feasibility studies ..... 212

***Valery I. Reshnyak, Olga L. Domnina, Natalia B. Satina***

Elements of technology for processing and disposal of food waste during the operation of ships ..... 225

***Pavel N. Tokarev***

The anchorage in cramped travel conditions ..... 234

***Anastasia A. Chalkina, Aleksey V. Lobanov***

The development of global technologies in the field of support structures for floating wind power plants ..... 245

***Vladimir N. Yakovlev***

The effect of current on the course and speed of a sailing ship ..... 258

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

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

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi78.407

#### **Модульная конструкция баржи-площадки**

**С.Н. Гирин**

*ORCID: 0009-0001-3741-8502*

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

**Аннотация.** В работе излагается решение задачи создания конструкции баржи-площадки класса «М-СП 3,5» Российского Классификационного Общества (РКО), предназначенной для изготовления вне судостроительно-судоремонтного предприятия на подготовленной площадке вблизи водоема. Сборка корпуса должна осуществляться из отдельных частей (модулей), которые изготавливаются в условиях судостроительного производства и доставляются к месту сборки автомобильным или железнодорожным транспортом. В процессе сборки не должна использоваться сварка. Предложено собирать корпус баржи из плоских секций размером 12,00×2,40 м и дробных размеров; при сборке использовать болтовые соединения. Рассмотрен пример конструкции баржи определенных размеров. Расчет общей прочности корпуса, собранного из отдельных секций с помощью болтовых соединений, выполнен с использованием программного комплекса «ANSYS». Показано, что прочность корпуса и болтов обеспечена на нагрузку, регламентируемую Правилами РКО. Использование болтовых соединений при формировании корпуса затрудняет обеспечение его непроницаемости, в связи с этим плавучесть и непотопляемость баржи предлагается обеспечивать с помощью вкладных гибких емкостей, накаченных воздухом. Проектирование и производство таких емкостей в настоящее время осуществляется рядом фирм в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** Баржа-площадка, секционная сборка, болтовые соединения, прочность, гибкие воздушные емкости, непотопляемость.

#### **Modular design of the barge platform**

**Stanislav N. Girin**

*ORCID: 0009-0001-3741-8502*

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

**Abstract.** The paper presents the solution of the problem of creating the barge-platform design of the "M-SP 3.5" class of the Russian Classification Society (RCS), intended for manufacturing outside the shipbuilding and ship-repair enterprise on the prepared site near the water body. Hull assembly should be made of separate parts (modules), which are manufactured in the conditions of shipbuilding production and delivered to the place of assembly by automobile or railway transport. Welding should not be used in the assembly process. It is suggested to assemble the barge hull from flat sections of 12,00×2,40 m and fractional sizes; bolted joints should be used during assembly. An example of barge construction of specific dimensions is considered. Calculation of the overall strength of the

hull assembled from individual sections by means of bolted joints is performed using the ANSYS program complex. It is shown that the strength of the hull and bolts is ensured for the load regulated by the Rules of RCS. The use of bolted joints in forming the hull makes it difficult to ensure its impermeability, in this connection the buoyancy and unsinkability of the barge is proposed to be ensured by means of flexible tanks filled with air. Design and production of such tanks is currently carried out by a number of companies in the Russian Federation.

**Keywords:** barge-platform, sectional assembly, bolted connections, strength, flexible air tanks, unsinkability.

### **Введение**

Разработка конструкции баржи была выполнена в Волжском Государственном университете водного транспорта по заказу ООО «НПФ «Политехника». В соответствии с техническим заданием баржа должна иметь грузоподъемность порядка 1000 т и эксплуатироваться на устьевых участках сибирских магистральных рек. Очевидно, что такому требованию отвечает класс «М-СП 3,5» Российского Классификационного Общества (РКО) с ледовым усилением [1].

Основная особенность технического задания состояла в том, что конструкция баржи должна позволять ее сборку на воде или на подготовленном участке берега водоема, т.е. вне судостроительно-судоремонтного завода. Сборка должна осуществляться из отдельных модулей без использования сварки (или при минимальном ее использовании). Изготовление модулей может выполняться в условиях судостроительного производства, а их доставка к месту сборки должна осуществляться с возможностью применения автомобильного (рис.1) или железнодорожного транспорта, т.е. габариты модулей не должны превышать габариты 40 футовых контейнеров.

При разработке технического задания Заказчик ориентировался на имеющуюся в открытом доступе информацию ряда зарубежных фирм по созданию аналогичной, как ему казалось, продукции. Так на рис.2 показаны примеры реализации различных плавучих сооружений из отдельных модулей, а на рис.3 показаны характеристики размерного ряда модулей, выпускаемых фирмой «Innofloat». Как видно из этих рисунков, модули представляют собой прямоугольные или со «срезанной» оконечностью понтоны, обладающие плавучестью, т.е. каждый модуль герметичен.

Формирование конструкции из отдельных понтонов осуществляется на воде с использованием различного рода замковых соединений. На рис.3 схематично показана конструкция такого соединения. Для увеличения общей прочности конструкции модули в ней могут размещаться особым образом, как это показано на рис. 4.

Следует отметить, что подобного рода конструкции применяются и в отечественной практике. Так на рис.5 показан общий вид платформы, предназначенной для разведочного бурения на мелководных морских участках, спроектированной в ЦПКБ «Стапель» почти 15 лет тому назад. Корпус платформы собран из отдельных модулей, схема сборки показана на рис.6. В настоящее время проектированием и постройкой плавучих сооружений модульного типа в нашей стране занимается целый ряд фирм.

Одной из основных проблем при создании плавучих сооружений, состоящих из отдельных частей (модулей), является проблема обеспечения прочности соединений этих частей. Технологии «жесткого» соединения на плаву отдельных частей корпуса впервые достаточно подробно рассмотрены в монографии [2]. Очевидно, что такое соединение не применимо в условиях рассматриваемой нами задачи.

Соединение отдельных модулей платформы ЦПКБ «Стапель» осуществлялось с помощью замков типа «ласточкин хвост». Исследования [3], [4], выполненные с



участием автора, показали, что предложенные первоначально разработчиками размеры замковых соединений не обеспечивали требуемой прочности, кроме того, такой тип замковых соединений достаточно трудоемок при сборке. Интересные предложения по созданию модульных плавучих сооружений содержатся в патентах [5], [6].

В настоящей работе рассматривается предложенная автором конструкция баржи, собираемая из отдельных плоскостных секций с помощью болтовых соединений. Размеры секций позволяют транспортировать их любым видом транспорта к месту сборки. Непотопляемость корпуса при этом обеспечивается гибкими вкладными емкостями, наполненными воздухом. Основное внимание уделяется вопросам прочности болтовых соединений. Автору не известны работы, в которых рассматривались аналогичные конструкции.



Рис. 1. Погрузка модуля на автомобильный транспорт

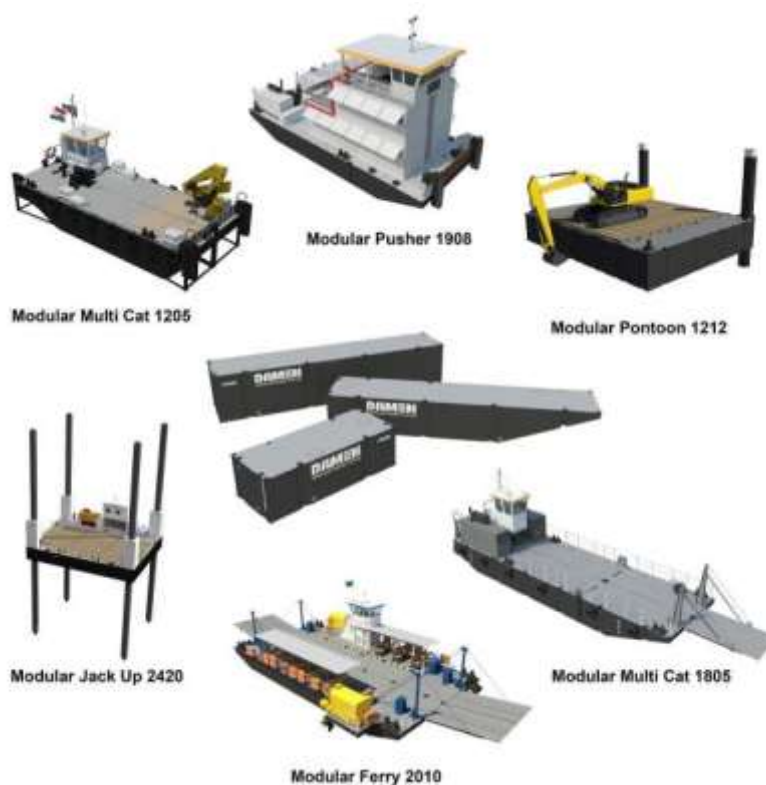


Рис. 2. Примеры реализации модульных конструкций плавучих объектов

		L (m)	B (m)	H (m)	W (m <sup>2</sup> )	Deck capacity (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
	LD 20 HC	6.06	2.44	2.80	8.00	10
	LD 40 WC	12.19	2.44	2.80	14.40	10
	LD 20 ST	6.06	2.44	2.59	6.00	10
	LD 40 ST	12.19	2.44	2.59	11.40	10
	LD 20 HA	6.06	2.44	1.43	5.30	10
	LD 40 HA	12.19	2.44	1.43	9.70	10
	HD 20 HC	6.06	2.44	2.80	10.30	10
	HD 40 HC	12.19	2.44	2.80	17.00	10
	HD 20 ST	6.06	2.44	2.59	9.60	10
	HD 40 ST	12.19	2.44	2.59	16.80	10

Deck size and deck capacity are typical.

Interface between pontoon and truck axle transportation



Modular pontoon connection system

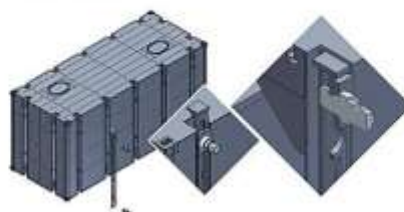


Рис. 3. Размерный ряд модулей фирмы Innofloat

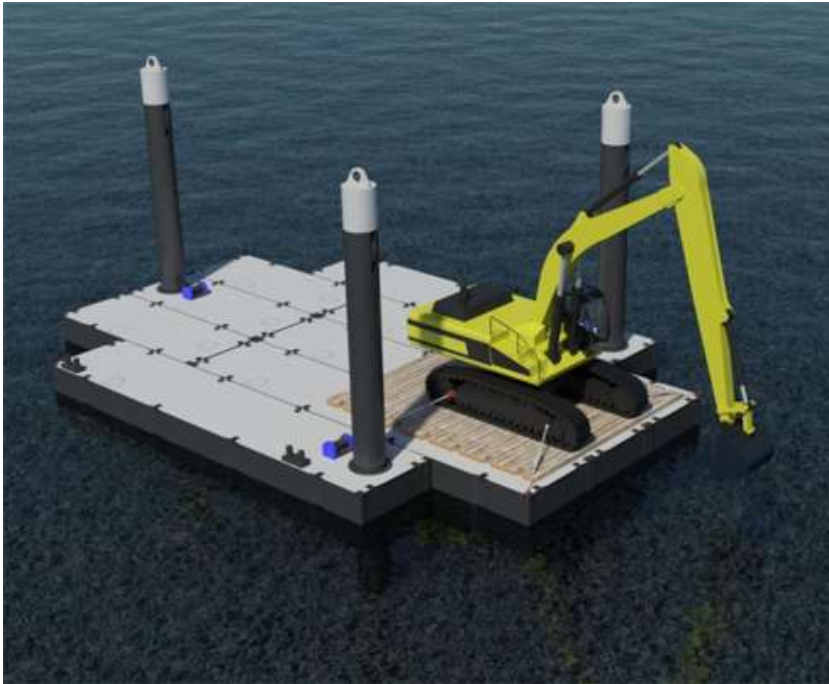


Рис. 4. Компоновка из отдельных модулей платформы для добычи гравия



Рис. 5. Общий вид платформы для разведочного бурения фирмы «Стапель»

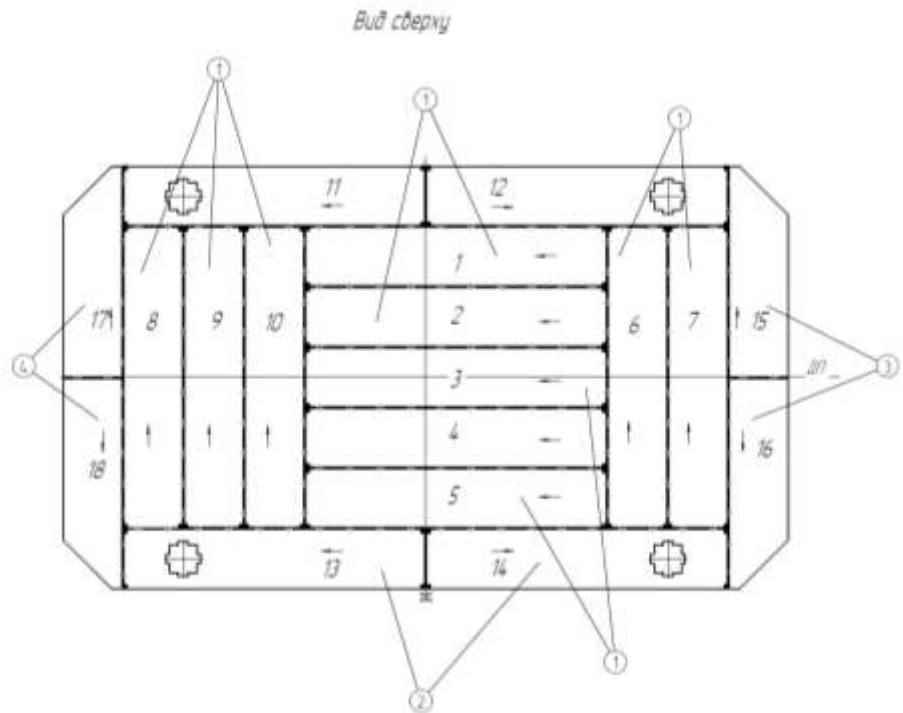


Рис. 6. Схема расположения модулей платформы фирмы «Стапель»

### 1. Решение задачи

С учетом поставленной задачи было принято решение осуществлять сборку баржи из отдельных плоскостных секций и четырех объемных блоков. Базовым размером плоскостных секций является 12,00×2,40 м. Используются также секции с дробными размерами. Из таких секций можно собирать, в принципе, баржи с разными размерениями. Ниже показан пример баржи, имеющей следующие размерения:

- длина габаритная – 56,80 м;
- длина расчетная – 55,00 м;
- ширина габаритная – 15,14 м;
- ширина расчетная – 15,10 м;
- высота борта – 3,60 м.

Схема общего расположения баржи показана на рис.7.

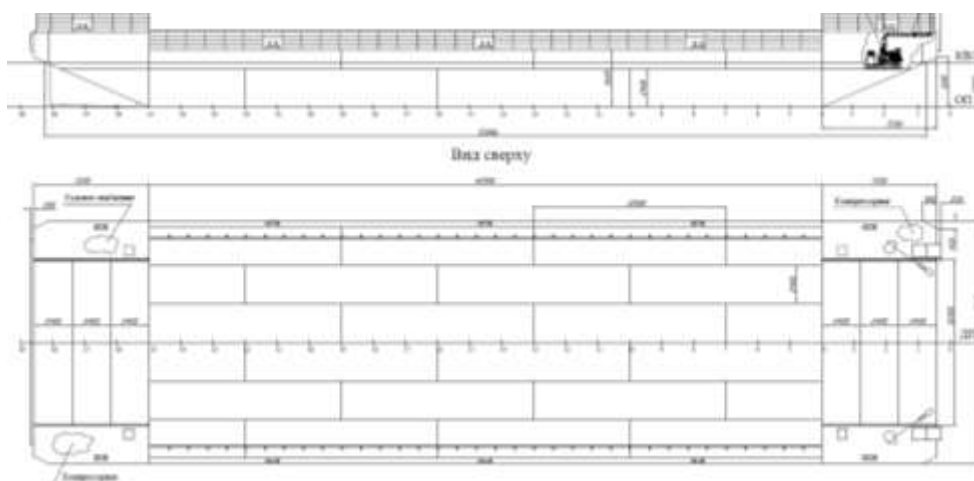


Рис.7. Схема общего расположения баржи

Поскольку в техническом задании была исключена сварка на месте формирования конструкции баржи из отдельных модулей, было принято решение использовать болтовые соединения. Такой вид соединений тонкостенных конструкций широко применяется в строительстве и мостостроении, способы их расчета достаточно подробно описаны в справочнике [7]. Задача обеспечения прочности корпуса судна с использованием болтовых соединений является нетривиальной и ее решение возможно только с использованием программных комплексов, реализующих метод конечных элементов. В настоящей работе использован программный комплекс «ANSYS», в котором имеется возможность расчета болтовых соединений с предварительным натяжением. В этом комплексе применяются также соединения элементов с помощью, так называемых, фиксирующих контактов. Эти контакты могут быть жесткими или подвижными. В данном случае использованы жесткие контакты по заданной площади поверхности конструкции. В результате расчета по каждому контакту выдается информация по 6 векторам сил и моментов, которые возникают в них в результате взаимодействия элементов конструкции; в данном случае – в результате совместной деформации секций в составе конструкции. Располагая этой информацией, можно на следующем этапе расчета определить необходимое количество болтов и их прочностные характеристики, а также отработать конструкцию болтовых соединений.

На рис.8 показана конструктивная схема плоскостной секции основных размеров. Прямоугольниками на равном наборе по границам секции показаны прямоугольные площадки, по которым при сборке секций устанавливаются фиксирующие контакты, имитирующие болтовые соединения.

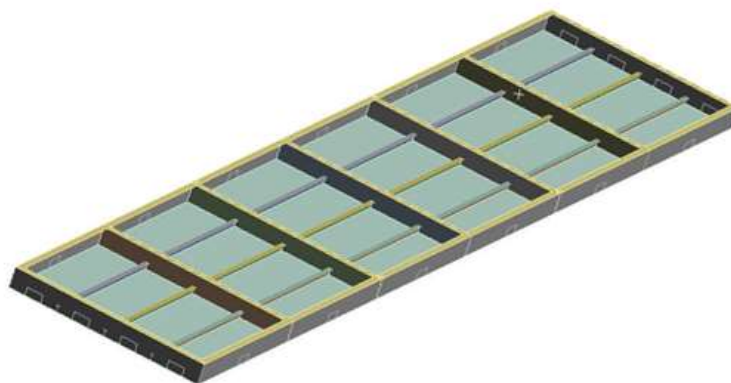


Рис. 8. Конструктивная схема плоскостной секции днища

Для расчета общей прочности корпуса баржи в «ANSYS» рассматривается цилиндрическая часть корпуса длиной 42,00 м. На рис. 9 Показана схема сборки секций палубы и днища, на которой точками условно показаны болтовые соединения.

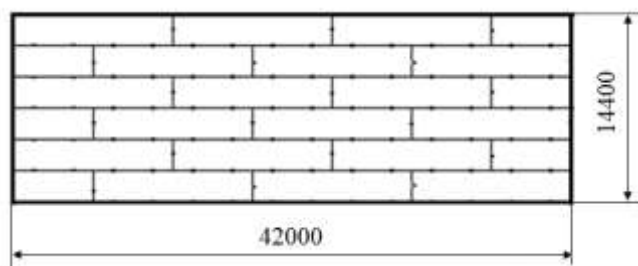


Рис. 9. Схема соединения секций палубы и днища в средней части корпуса

На рис.10 показана схема расположения продольных и поперечных ферм в цилиндрической части корпуса.

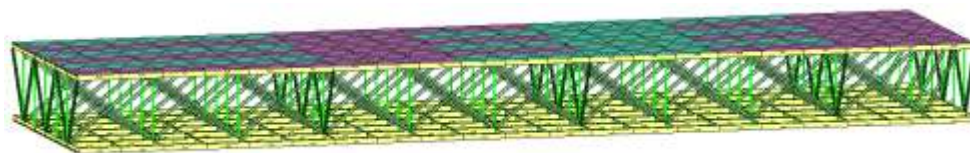


Рис. 10. Схема расположения ферм в цилиндрической части корпуса

При построении конечно-элементной схемы конструкции использовались элементы оболочечного типа при описании секций и элементы стержня при описании ферменных конструкций. Нагружение конструкции поперечной нагрузкой осуществлялось таким образом, чтобы в средней части возник расчетный изгибающий момент, величина которого регламентируется Правилами РКО.

На рис.11 показана деформация модели, а на рис.12 – поля нормальных напряжений в палубе. Как следует из этих рисунков, напряжения не превышают величины 141 МПа, регламентируемой Правилами РКО. Это свидетельствует о достаточной общей прочности корпуса.

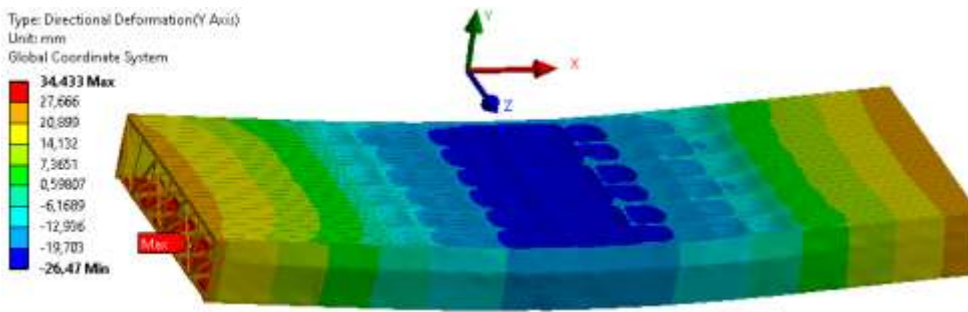


Рис. 11. Общая деформация модели корпуса судна

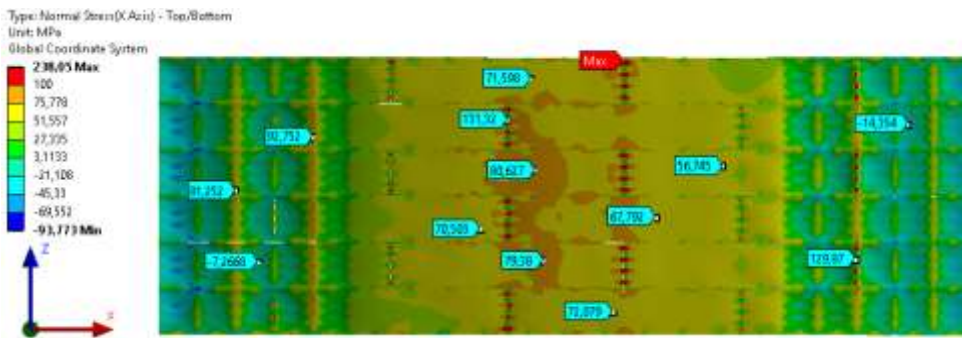


Рис. 12. Поля нормальных напряжений в палубе

Болтовые соединения осуществляются с использованием высокопрочных болтов с предварительным натяжением. На рис.13 показана схема болтового соединения поперечных кромок на участке между продольными ребрами, а на рис.14 – схема соединения продольных кромок секций. Выше было указано, что на первом этапе расчета конструкции вычисляются усилия в контактах, а затем на эти усилия рассчитываются болтовые соединения. На рис.15 показаны напряжения в элементах конструкции корпуса, а на рис.16 – напряжения в болтах при нагружении корпуса.

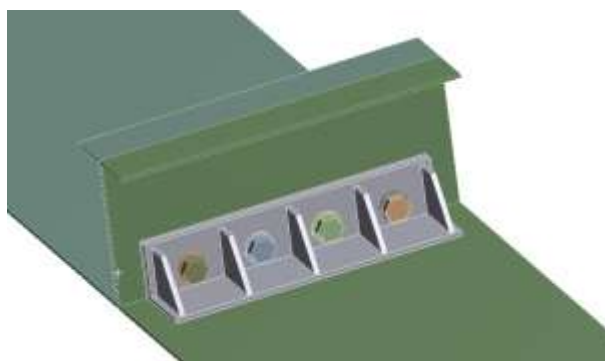


Рис. 13. Болтовое соединение поперечных кромок секций

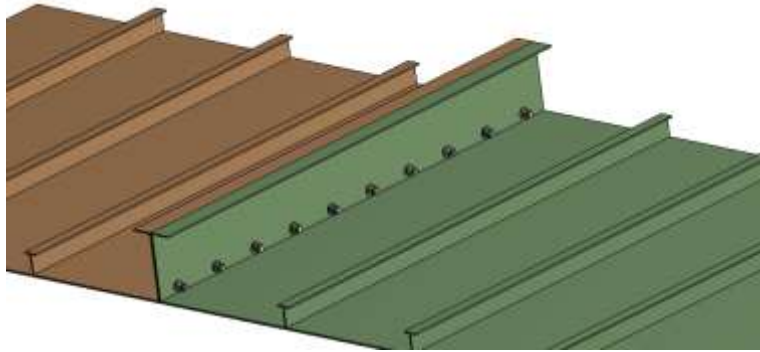


Рис. 14. Схема болтового соединения продольных кромок секций днища (палубы)

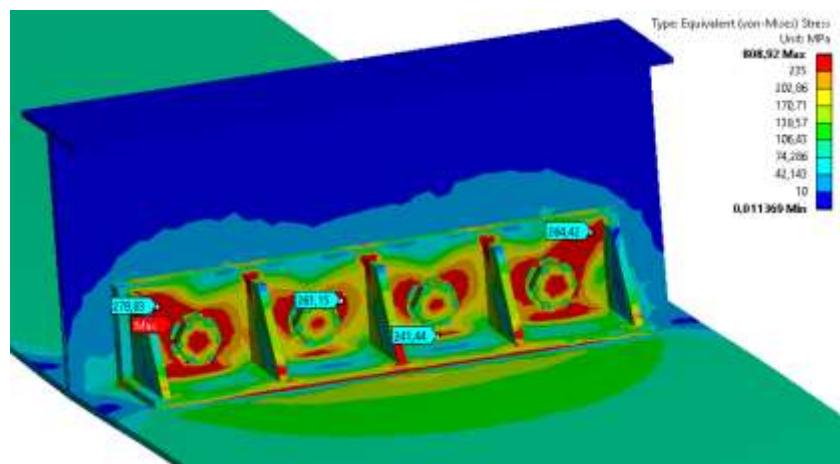


Рис. 15. Поля напряжений в узле соединения от усилий в контакте при деформации корпуса судна, МПа

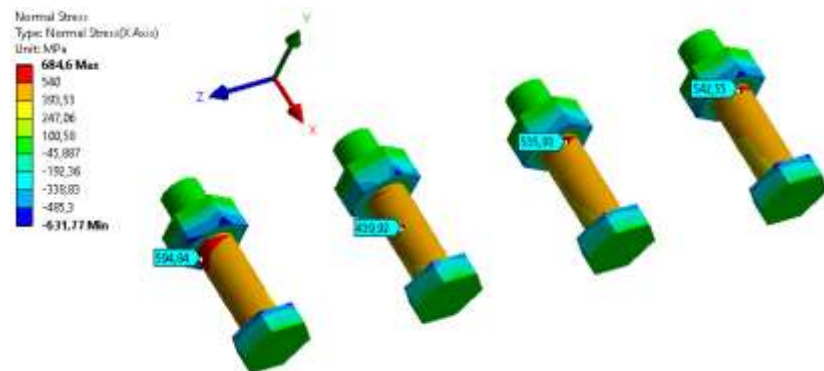


Рис. 16. Поля напряжений  $\sigma_x$  в болтах от усилий в контакте при деформации корпуса судна, МПа



Таким образом, в результате выполненных расчетов показано, что с использованием болтовых соединений можно обеспечить общую прочность корпуса баржи, однако очевидно, что в этом случае весьма проблематично обеспечить водонепроницаемость корпуса и, следовательно, его плавучесть. Эту проблему предлагается решать с использованием вкладных гибких емкостей, которые накачиваются воздухом. Схема размещения емкостей показана на рис.17.

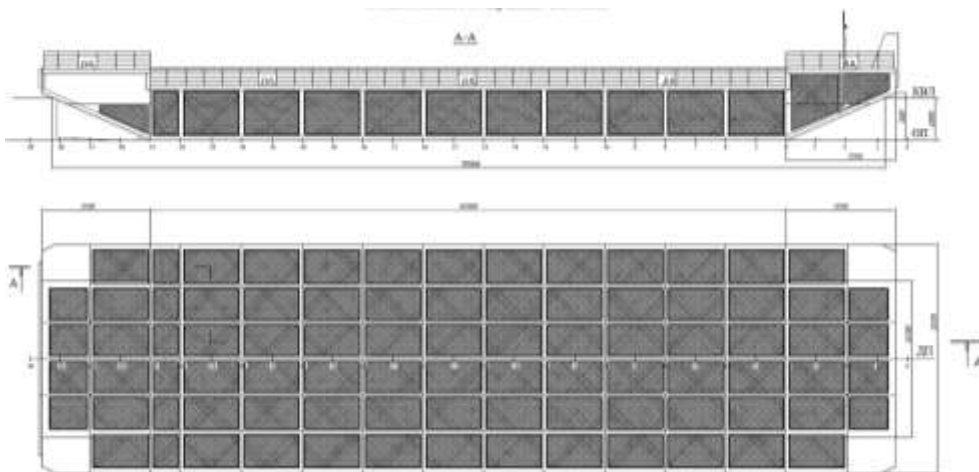


Рис. 17. Схема размещения воздушных емкостей в корпусе судна

В нашей стране имеется ряд фирм, которые изготавливают гибкие емкости, предназначенные для транспортировки и хранения различных жидкостей. Большой опыт в изготовлении и эксплуатации таких емкостей имеет фирма ООО «НПФ «Политехника», которая, как указано выше, является заказчиком рассматриваемого проекта. Изделия фирмы защищены рядом патентов [8]. Имеется положительный более 20 лет опыт эксплуатации продукции фирмы, используемой в качестве хранилищ топлива в условиях Крайнего Севера [9], [10]. На рис. 23 показан производственный участок фирмы, на котором осуществляется контроль непроницаемости емкостей. Фирма способна проектировать и изготавливать емкости произвольной формы и размеров под заданные цели.



Рис.18. Участок контроля непроницаемости емкостей

### **Заключение**

В данной статье приводится решение задачи разработки конструкции сухогрузной баржи – площадки, предназначенной для эксплуатации на реках Сибири, включая устьевые участки, а также прибрежные морские участки, изготовление которой основано на модульном принципе. Предполагается, что элементы корпусной конструкции (модули) могут изготавливаться на судостроительных заводах, после чего транспортироваться железнодорожным и автомобильным транспортом к месту сборки вне судостроительных предприятий. Это позволит в достаточно короткие сроки изготавливать необходимое число барж. По информации Заказчика и соисполнителя настоящего проекта – ООО «НПФ «Политехника» имеется необходимость строительства нескольких десятков таких барж.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом имеется опыт строительства судов, основанных на модульном принципе, однако, по имеющимся у нас сведениям, все они предназначены для эксплуатации в условиях отсутствия волновых нагрузок. Волновые нагрузки могут быть достаточно велики, и замковые соединения отдельных модулей не способны обеспечить общую прочность конструкции судна.

В настоящем проекте отдельные секции (модули), из которых формируется корпус, собираются с использованием высокопрочных болтов, которые широко применяются в строительстве и мостостроении. Однако методика расчета прочности таких соединений в судостроении отсутствует, кроме того, такие соединения не обеспечивают водонепроницаемость конструкции. Решению этих двух проблем уделено особое внимание в настоящем проекте.

Задача обеспечения общей прочности корпуса судна решается методом конечных элементов с использованием программного комплекса «ANSYS». В этой задаче определяется необходимое число болтов в поперечных и продольных сочленениях плоскостных секций, а также их диаметры и усилия предварительной затяжки. Показано, что с использованием болтового соединения можно обеспечить общую прочность корпуса судна.

Задача обеспечения непотопляемости решается установкой внутри корпуса гибких емкостей, наполненных воздухом под необходимым давлением. ООО «НПФ «Политехника» имеет большой опыт изготовления гибких емкостей для перевозки и хранения различных жидких грузов, включая нефтесодержащие грузы. Десятилетия использования таких емкостей для хранения топлива в условиях Крайнего Севера подтверждают надежность конструкций емкостей и материалов для их изготовления. Фирма располагает собственным производством для изготовления таких емкостей и имеет возможность их изготовления для нужд настоящего проекта.

Задача организации технологического процесса сборки корпуса судна из отдельных модулей и его спуска при отсутствии стапеля или дока, в принципе, не является новой. В настоящее время имеется много примеров организации такого производства в нашей стране и за рубежом [11], [12].

По мнению автора, предложенная конструкция обладает не только новизной, но и практической значимостью, поскольку позволяет организовать судостроительное производство на площадках, технически не подготовленных к постройке судов традиционной конструкции.

### **Благодарности**

Автор выражает признательность сотрудникам ФГБОУ ВО «ВГУВТ», принимавшим активное участие в разработке проекта: Бурмистрову Е.Г., Булычевой Г.С., Гордлееву С.Д., Фальмонову Е.В., Шабале А.Г., а также сотруднику ООО НПФ «Политехника» Барышеву И.Г.

**Список литературы**

1. Российское Классификационное Общество. Правила классификации и постройки судов. Москва 2019.
2. Дурмашкин С.Ш. и др. Постройка судов из частей, раздельно спущенных на воду. Л.: Судостроение, 1974. – 320 с.
3. Гирин С.Н. и др. Модельные испытания морской малогабаритной самоподъемной платформы. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2010. – Вып. 28. – с.146–159.
4. Гирин С.Н., Пряничников К.Н. Проблемы прочности модульной самоподъемной платформы для разведочного бурения.// Труды 14-го международного научно-промышленного форума «Великие реки» Материалы научно-методической конференции проф.-препод. состава, асп., специалистов и студ. «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек» Том 1. – Н. Новгород: изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012. – с.253–256.
5. Абрамов Д.М., Барышев И.Г., Бушмелев В.В., Катаки Р.Д. Гибридное модульное плавсредство на базе сборно-разборных блок-модулей. Патент на изобретение RU 2746626 С1, 19.04.2021. Заявка №2021101643 от 26.01.2021.
6. Барышев И.Г. и др. Модульное плавсредство на базе блок-модулей плавучести с демпферным механизмом сопряжения отдельных блоков. Патент на изобретение RU 2776803 С1, 26.07.2022. Заявка №2021138548 от 23.12.2021.
7. Металлические конструкции. В 3 т. Т.1. Общая часть. (Справочник проектировщика). / Под общ. ред. В.В. Кузнецова – М.: изд-во АСВ, 1998. –576 с.
8. Рыбаков Д.Н. и др. Мобильный эластичный резервуар для нефтепродуктов. Патент на изобретение RU 2304553 С1, 20.08.2007. Заявка №2006111348/11 от 07.04.2006.
9. Барышев И.Г. Мобильные полевые склады горючего – эластичные резервуары. Высокоэффективные технологии ТЭК. Бурение и нефть 2013 №9 с. 58-60.
10. Барышев И.Г. Арктические парки нефти и горючего на базе эластичных резервуаров ПЭР-Н. Эластичные резервуары – удивительные возможности объемного хранения. Бурение и нефть 2014 №1 с. 48-52.
11. Цветкова Н.М., Бурмистров Е.Г. Основные аспекты совершенствования технологии изготовления крупногабаритных стальных конструкций на АО «Зеленодольский завод им. А.М. Горького» / Н.М. Цветкова, Е.Г. Бурмистров // В сборнике: Труды 19-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2018». Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов. 2018.
12. Рыжов Д.В., Бурмистров Е.Г. Разработка метода сращивания корабельных суперблоков на плавучесть / Д.В. Рыжов, Е.Г. Бурмистров // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2018. №54. С. 43-47.

**References**

1. Rossijskoe Klassifikacionnoe Obshhestvo. Pravila klassifikacii i postrojki sudov. Moskva 2019.
2. Durmashkin S.Sh. i dr. Postrojka sudov iz chastej, razdel'no spushchennyh na vo-du. L.: Sudostroenie, 1974. – 320 s.
3. Girin S.N. i dr. Model'nye ispytaniya morskoy malogabaritnoj samopod'emnoj platformy.// Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. – N. Novgorod: Izd-vo FGOU VPO «VGAVT», 2010. – Vyp. 28. – s.146–159.
4. Girin S.N., Pryanichnikov K.N. Problemy prochnosti modul'noj samopod'emnoj platformy dlya razvedochnogo bureniya.// Trudy 14-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki» Materialy nauchno-metodicheskoy konferencii prof.-prepod. sostava, asp., specialistov i stud. «Problemy ispol'zovaniya i innovaci-onnogo razvitiya vnutrennih vodnyh putej v bassejnah velikih rek» Tom 1. – N. Novgo-rod: izd-vo FBOU VPO «VGAVT», 2012. – s.253–256.
5. Abramov D.M., Baryshev I.G., Bushmelev V.V., Kataki R.D. Gibridnoe modul'noe plavsredstvo na baze sborno-razbornyh blok-modulej. Patent na izobretenie RU 2746626 S1, 19.04.2021. Zayavka №2021101643 ot 26.01.2021.

6. Baryshev I.G. i dr. Modul'noe plavсредство na baze blok-modulej plavuchesti s dempfernym mekhanizmom sopryazheniya otdel'nyh blokov. Patent na izobretenie RU 2776803 S1, 26.07.2022. Zayavka №2021138548 ot 23.12.2021.
7. Metallicheskie konstrukcii. V 3 t. T.1. Obshchaya chast'. (Spravochnik proektirov-shchika). / Pod obshch. red. V.V. Kuznecova – M.: izd-vo ASV, 1998. –576 s.
8. Rybakov D.N. i dr. Mobil'nyj elastichnyj rezervuar dlya nefteproduktov. Pa-tent na izobretenie RU 2304553 S1, 20.08.2007. Zayavka №2006111348/11 ot 07.04.2006.
9. Baryshev I.G. Mobil'nye polevye sklady goryuchego – elastichnye rezervuary. Vysokoeffektivnye tekhnologii TEK. Burenie i nef't' 2013 №9 s. 58-60.
10. Baryshev I.G. Arkticheskie parki nef'ti i goryuchego na baze elastichnyh rezer-vuarov PER-N. Elastichnye rezervuary – udivitel'nye vozmozhnosti ob"emnogo hrane-niya. Burenie i nef't' 2014 №1 s. 48-52.
11. Cvetkova N.M., Burmistrov E.G. Osnovnye aspekty sovershenstvovaniya tekhnologii izgotovleniya krupnogabaritnyh stal'nyh konstrukcij na AO «Zelenodol'skij zavod im. A.M. Gor'kogo» / N.M. Cvetkova, E.G. Burmistrov // V sbornike: Trudy 19-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki-2018». Trudy mezhduna-rodno go nauchno-promyshlennogo foruma. Materialy nauchno-metodicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, specialistov i studentov. 2018.
12. Ryzhov D.V., Burmistrov E.G. Razrabotka metoda srashchivaniya korabel'nyh su-perblokov na plavu / D.V. Ryzhov, E.G. Burmistrov // Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. 2018. №54. S. 43-47.

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

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

**Stanislav N. Girin**, Ph.D. in Engineering Science, Professor, Professor of the Department of Theory of Engineering Constructions, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: girin.sn@vsuwt.ru

Статья поступила в редакцию 26.09.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 26.09.2023; published online 20.03.2024.

УДК 656: 6

DOI: 10.37890/jwt.vi78.437

## **История советской инновации по приобретению иностранного тоннажа и перспектива использования бербоут-чартера как инструмента пополнения флота в современных условиях**

**Е. В. Зарецкая**

*ORCID: 0000-0002-1116-5500*

*Академии Водного транспорта Российский университет транспорта, г. Москва, Россия*

**Аннотация.** Юбилейная дата, 50 лет с начала грандиозного проекта по фрахтованию иностранных судов с правом их выкупа, ставшего историей образования судоходной компании «Совкомфлот», даёт дополнительный повод рассмотреть его подробности. Приводится анализ реализованного в советский период успешного опыта внебюджетного пополнения торгового флота. Он позволяет прийти к заключению о том, что разработанные и применяемые тогда финансовые схемы привлечения иностранного капитала через специально создаваемые в иностранной же юрисдикции судоходные компании, приобретающие флот с использованием предусмотренных национальными законодательствами налоговых и других льгот для последующей передачи в бербоут – чартер и компенсирующих все расходы на перевозке российских внешнеторговых грузов, в полной мере актуальны и сегодня для пополнения флота отечественных судоходных компаний. Также рассмотренные в статье преимущества приобретения торгового флота с использованием лизинга в сочетании с бербоут-чартером уже в современных условиях, показали, что это оптимальный механизм и для льготного лизинга, и для коммерческих схем финансирования. Недостаток бербоут-чартера, ограничивающий его использование в современных условиях, связан с его узкой специализацией, как правового, так и коммерческого характера. Максимально соответствующий традициям и особенностям мирового торгового судоходства, он отвечает интересам судоходных компаний, но мало понятен финансовым институтам. В этой связи особую важность приобретает разработка или адаптация имеющегося методического обеспечения для оценки ключевых показателей финансовой схемы фрахтования судна без экипажа (бербоут-чартера) на условиях финансовой аренды (лизинга).

**Ключевые слова:** источники воспроизводства и модернизации коммерческого флота, бербоут-чартер, инструменты финансирования коммерческого флота.

## **The history of the soviet innovation of purchase foreign vessels and the prospect of using bareboat charter as way for replenishing the fleet in current circumstances**

**Ekaterina V. Zaretskaya**

*ORCID: 0000-0002-1116-5500*

*Academy of water transport, Russian University of Transport (MIIT) Moscow, Russia*

**Abstract.** The anniversary date, 50 years since the beginning of the grandiose project on chartering foreign vessels with the right to buy them, which became the history of the formation of the shipping company «Sovcomflot», gives an additional reason to consider its details. The analysis of the successful experience of off-budget replenishment of the merchant fleet implemented in the Soviet period is given. It will allow us to come to the conclusion that the financial schemes developed and applied at that time to attract foreign capital through shipping companies specially created in a foreign jurisdiction, acquiring a fleet using tax and other benefits provided for by national legislation for subsequent bareboat

charter and compensating for all the expenses by income from transportation of Russian foreign trade cargoes, are fully relevant today to replenish the fleet of domestic shipping companies. Also, the advantages of acquiring a merchant fleet using leasing in combination with bareboat charter already considered in the article in modern conditions have shown that this is the optimal mechanism for both preferential leasing and commercial financing schemes. The disadvantage of bareboat charter, which limits its use in modern conditions, is associated with its narrow specialization, both legal and commercial. As appropriate as possible to the traditions and peculiarities of world commercial shipping, it meets the interests of shipping companies, but is little understood by financial institutions. In this regard, it is of particular importance to develop or adapt the available methodological support for assessing the key indicators of the financial scheme for chartering a vessel without a crew (bareboat charter) on the terms of a financial lease (leasing).

**Keywords:** financing of reproduction and modernization of the merchant vessels, bareboat charter, instruments for merchant fleet financing.

### **Введение**

Российский торговый флот, долгое время лишённый внимания и поддержки государства после дезинтеграции Советского Союза, утратил большую часть своей грузовой базы, и как следствие сократился и состарился, что в свою очередь поставило под угрозу фрахтовую независимость и экономическую безопасность страны. И хотя реализуемые последние полтора десятка лет меры государственной поддержки<sup>1</sup> транспортному судоходству сдвинули проблему с мёртвой точки<sup>2</sup>, обновление и пополнение торгового флота остаются важнейшими отраслевыми и государственными задачами.

В настоящее время под российским флагом работает порядка 1,2 тыс. морских грузовых судов общим дедвейтом около 9 млн т, их средний возраст 27,5 лет [1]. Общая же численность морского транспортного флота, контролируемого российскими судовладельцами, оценивается в 1,5 тыс. судов суммарным дедвейтом около 23 млн т. Таким образом, более половины тоннажа (62%) приходится на суда, эксплуатируемые под иностранными флагами – 255 судов общим дедвейтом 14,4 млн т [1]. Их возраст около 12 лет [1]. Причём около 1,4 тыс. судов общим дедвейтом порядка 2,5 млн т имеет возраст более 30 лет, что безусловно свидетельствует о необходимости его замены.

Эксперты [2] оценивают потребность РФ в строительстве новых морских судов до 2035 года от 1,2 до 2 тысяч единиц [1,2]. Это закроет только самые острые потребности внешней торговли, но не обеспечит конкурентоспособность и фрахтовую независимость страны. В тоже время в мировом судоходстве преобладающая зелёная повестка, заставляет многих судовладельцев переходить на использование более чистых источников энергии, или строить флот способный работать на двух или нескольких видах топлива [2]. В этой связи строительство конкурентных морских транспортных судов, отвечающих требованиям ИМО<sup>3</sup> по ограничению выбросов парниковых газов, также будет способствовать необходимости ускорения замены старого флота.

Ключевыми проблемами модернизации российского торгового флота сегодня остаётся ограниченность производственных мощностей и финансовых ресурсов

---

<sup>1</sup> Возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам на закупку гражданских судов и лизинговых платежей по договорам лизинга (постановление правительства РФ № 383 от 22 мая 2008 года с изменением Постановление Правительства РФ от 15.02.2020 № 150) и судовой утилизационный транз – в период 2011–2020 российские судовладельцы получили 257 новых морских транспортных судов общим дедвейтом 5,5 млн т, а в 2020 30 новых морских и смешанного «река-море» плавания транспортных судов суммарным дедвейтом 483,3 тыс. т, из них доля судов, построенных на отечественных верфях, составила 73% [1,2]

<sup>3</sup> Международная морская организация

отечественных судостроительного и финансового рынков. Волатильность курса рубля и ставок ЦБ также не способствуют инвестиционной привлекательности ни грузового, ни пассажирского флота. В таких обстоятельствах коммерческие банки и лизинговые компании не готовы брать на себя риски низкой ликвидности при малых серийных заказах. Они или отказывают в кредитах, или предлагают условия, при которых флот не сможет окупиться, лишая отечественные судоходные компании рыночных инструментов финансирования.

Таким образом, «Программа лизинга морских и речных гражданских судов»<sup>4</sup>, реализуемая лизинговыми компаниями за бюджетные ассигнования<sup>5</sup>, остаётся сегодня основным действующим инструментом<sup>6</sup> обновления флота. В соответствии с этой программой Государственная транспортная лизинговая компания (ГТЛК) передаёт построенные суда судоходным компаниям в лизинг на срок до 25 лет на льготных условиях. Ставка для пассажирских и круизных судов составит 2,93% годовых, для дноуглубительных и рыбопромысловых — 4,51% годовых, для грузовых и крупнотоннажных судов — 7,6% годовых.

По программе льготного лизинга предусматривается продолжить строительство на отечественных верфях до 2027 г. 260 судов, включая – 119 грузовых и 73 пассажирских судна, а также баржи, буксиры, плавучий док и другие суда, на что предусмотрено выделение 136 млрд рублей, в том числе средства фонда ФНБ (около 60%) от общей стоимости [1,2] (рисунки 1, 2).

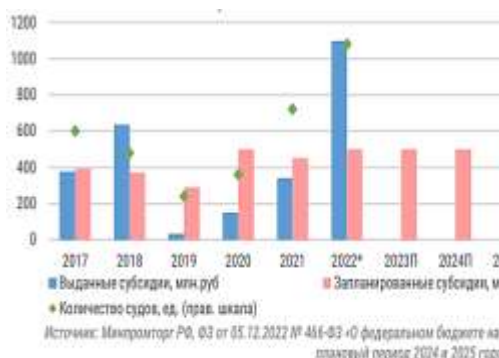


Рис. 1. Объем выданных субсидий в рамках утилизационного гранта в 2017-2025 гг [1]

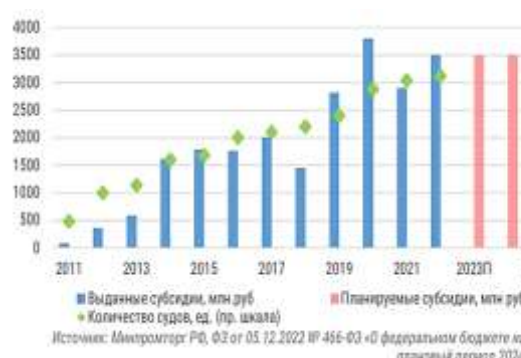


Рис. 2. Объем выданных субсидий на уплату процентов по кредитам и лизинговым платежам в 2009-2025 гг [1]

Но даже на таких условиях далеко не все судоходные компании торопятся обновлять свой флот<sup>7</sup>. В условиях нестабильной рыночной ситуации бизнес, пытается минимизировать риски и всё чаще отдаёт предпочтение оперированию арендованными (в том числе с выкупом) судами на вторичном зарубежном рынке, относительно строительства нового флота. Ведь по эксплуатационным характеристикам даже 20-ти летние суда являются отличным активом, способным себя окупать.

<sup>4</sup> Распоряжение Правительства РФ от 15.02.2023 №337-р

<sup>5</sup> в 2016–2021 гг. ГТЛК получила из бюджета 21,5 млрд руб. на финансирование строительства 34 судов. Также компания привлекла еще более 14 млрд руб. внебюджетных инвестиций[2].

<sup>6</sup> по лизинговой схеме на российских верфях строится 80-90% судов «река-море» плавания и 40% морских судов дедвейтом до 8000 т, а также крупнотоннажный флот [2]

<sup>7</sup> в 2022 году количество новых лизинговых контрактов на морские и речные суда снизилось в 20 раз [2]

В этой связи поиск дополнительных источников и механизмов финансирования модернизации и восполнения флота, всегда актуальный для любой судоходной компании, сегодня является важнейшей государственной задачей. А изучение успешного, в том числе советского, опыта её решения и методологических подходов к определению критериев и границ целесообразности для использования тех или иных финансовых схем в сегодняшних условиях политических, экономических и финансовых ограничений придаёт теме особую актуальность.

Таким образом, целью данного исследования является изучение финансово-организационной схемы приобретения торгового флота с использованием бербоут-чартера (разновидности договора фрахтования с правом выкупа) на примере советского опыта и анализ актуальности этой схемы в современных условиях, а также рассмотрение методологических подходов к оценке оптимальных источников восполнения и модернизации торгового флота.

### **Бербоут- чартер и Валютный оборотный фонд коммерческих операций, как инструменты внебюджетного пополнения торгового флота в условиях плановой экономики**

В 1965 году флот под флагом СССР вышел на шестое место в мире. К началу 1970 года советский флот имел в своём составе 1500 судов общим дедвейтом 12 млн. т. Доля морского транспорта в общем грузообороте страны составляла 11-12%. Немного больше половины морских транспортных перевозок осуществляли сухогрузы, а остальная часть приходилась на танкерный флот [4].

Морской транспорт стал рентабельной отраслью, полностью обеспечивающей в пределах планов все инвестиции во флот, береговое хозяйство и социальную сферу, а также ежегодно сдававшей в бюджет сумму порядка 2,5 млрд. долл. США [5].

В этот период флот каждую неделю пополнялся двумя-тремя новыми судами, но все же плановая система финансирования строительства и закупок судов не успевала за быстро растущими и меняющимися потребностями внешней торговли. И хотя морской флот уже устойчиво обеспечивал фрахтовую независимость страны, затраты на наем иностранного тоннажа были значительными. В 1975 году морские перевозки внешнеторговых грузов достигли 174,3 млн. т., т.е. более половины грузооборота внешней торговли. На отечественный флот приходилось около половины от этого объёма, а вторая половина перевозилась иностранным тоннажем [4].

В 70-х годах страна начала в значительных количествах импортировать зерно. Собственный флот был не в состоянии справиться с возросшими объёмами и его участие в перевозках зерна не выходило за рамки 15-25 %. Основным перевозчиком (от 63 до 88 % перевозок) был иностранный тоннаж. Тем более, что советские суда, которые когда-либо посещали порты Кубы, Вьетнама, КНДР, числились в «черных списках» и их заход в порты США был запрещён. Для других судов был установлен порядок, по которому за 3 месяца до предполагаемого захода судна в порт необходимо было направить в посольство США в Москве судовую роль с подробными данными на каждого члена экипажа. Поэтому всегда существовала опасность получить за три дня до прибытия судна в иностранный порт отказ в приёме тех, без кого оно не могло продолжать рейс [5].

Идею увеличения тоннажа отечественного флота путём его аренды с последующим выкупом подал ещё в 60-годах Н. И. Зуев, руководивший в то время Англо-советским пароходным обществом в Лондоне. Идея в то время не нашла понимания. Но позже, в условиях нехватки отечественного тоннажа для зерновой кампании она нашла своих приверженцев и в «Совфрахте», и в ММФ, и была энергично поддержана В.И.Тихоновым, бывшим тогда заместителем министра морского флота [5].



Целью предлагаемой схемы было приобретение судов для отечественного флота за счет средств на покупку транспортных услуг, т.е. расходов на фрахт иностранного флота. Успеху операции поспособствовала сложившаяся конъюнктура фрахтового рынка. Резкое увеличение объёмов перевозок массовых грузов вызвало фрахтовый бум и дало толчок росту тоннажа мирового флота. Эта ситуация была умело использована специалистами «Совфрахта». Заблаговременно отфрахтованный по низким ставкам для перевозки зерна в тайм-чартер тоннаж дедевейтом около трех миллионов тонн частично был «перепродан», что принесло прибыль в сумме 17,5 млн. долл. США. Таким образом, заработанные «Совфрахтом» миллионы поступили в специально сформированный в 1972 году за счет валютных отчислений пароходств Валютный оборотный фонд коммерческих операций (ВОФКО), что и положило начало коммерческим операциям с иностранным тоннажем [5].

В то время исключительное право на заключение любых контрактов с иностранными контрагентами на закупку и строительство судов принадлежало «Судоимпорту», одному из всесоюзных объединений Министерства внешней торговли, а приобретение судов через «Совфрахт» посредством бербоута шло вразрез со сложившейся практикой и выходило за рамки планово-социалистической формы хозяйствования.

Министром морского транспорта Т.Б.Гуженко было направлено предложение за счет заработанных «Совфрахтом» средств, взять в бербоут суда с переходом права собственности и использовать их на перевозках зерна. Это предложение получило поддержку Председателя Совета Министров А.Н.Косыгина, и в мае 1973 года специально для осуществления бербоутных операций в «Совфрахт» была образована Контора коммерческих операций. Она и контролировала все договорные и финансовые отношения с судовладельцами и банками-кредиторами и осуществляла финансовый контроль за работой судов, а также за своевременным исполнением графика погашения всех платежей.

Для координации действий с пароходствами по эксплуатации бербоутного флота, а также целого ряда финансово-правовых и организационных вопросов были утверждены соответствующие инструкции и постановления. В частности, инструкция «О порядке планирования и учёта работы судов, принятых в бербоут-чартер» регламентировала вопросы снабжения судна продовольствием, бункером и всем необходимым для его эксплуатации. Согласно этой инструкции «платежи по аренде, инкассация фрахта от фрахтователей, расчёты с банками и другими иностранными и советскими организациями в советской и иностранной валюте осуществлялись пароходствами. Они же должны были обеспечивать на арендованных судах ремонт, техническое обслуживание, бункеровку, содержать свои экипажи и производить в установленные сроки их замену наравне с судами, находящимися у них на балансе. Пароходства принимали на себя валютные расходы по страхованию судов, по выплате валюты экипажу взамен суточных, по рациону питания, материально-техническому снабжению, навигационным издержкам, топливу, диспачу, командировкам специалистов и команды на приёмку и т.д. Платежи осуществлялись за счёт поступлений от эксплуатации арендованного флота. После оплаты последнего взноса судно переходило на баланс пароходства» [6].

В июле 1973 года было принято ведомственное Положение о порядке подготовки решения о фрахтовании судов в бербоут-чартер, где подробно рассматривался порядок согласования финансовых и прочих условий на основе эксплуатационных характеристик приобретаемого судна и предполагаемых доходов от его работы.

В соответствии с Постановлением Совмина СССР от 1 июля 1976 года был разработан первый нормативный документ - «Инструкция о порядке образования и использования Валютного оборотного фонда коммерческих операций».

Этот документ официально разрешал ММФ «заниматься коммерческой и предпринимательской деятельностью в сфере международного судоходства в

интересах планового социалистического народного хозяйства, позволял в рамках ВОФКО использовать заработанные бербоутным флотом средства в размере 30,0 млн. инв. руб. на цели воспроизводства» [6]. Кроме того, по итогам работы за год пароходства имели право на получение за счет ВОФКО средств в размере 25% от чистой валютной выручки (ЧВВ), заработанной сверх плана бербоутными судами. Они расходовались на закупку за границей машин, оборудования, вычислительной техники, навигационных приборов и т.п [6].

Таким образом, фонд стал финансовой базой не только для бербоут-чартерных операций, но и для развития других разнообразных форм предпринимательской деятельности, характерных для судоходства и его инфраструктуры. Это постановление обобщило опыт стран свободной регистрации судов (оффшорных зон) в целях сохранения вновь приобретаемого флота под флагом СССР, как дополнительного реального транспортного потенциала страны.

Предусматривалось предоставление ряда финансовых и налоговых льгот, направленных на стимулирование этой новой для плановой системы формы деятельности. В частности, налог на прибыль от эксплуатации этих судов был строго фиксирован на уровне 10%. На суда не начислялась амортизация и они освобождались от платы за производственные фонды [6].

«Инструкция о порядке образования и использования ВОФКО» разрешила главные вопросы существования и финансирования схемы покупки судов через бербоут-чартер. Но оставалось ещё много технических вопросов, которые нашли своё отражение в нормативно-ведомственном документе «Основные положения по аренде в бербоут-чартер с переходом права собственности, приобретению иностранных судов за счет средств ВОФКО и организации их работы» утверждённым ММФ 15 декабря 1980 года. Этот документ отвечал масштабности и новизне работы такой схемы и содержал все необходимые специфические подробности, начиная с момента разработки бизнес-планов на аренду или постройку того или иного судна с использованием ВОФКО и их эксплуатацию до списания или продажи другому судовладельцу, включая возврат оригинальному судовладельцу, если это было предусмотрено договором.

Операции по аренде в бербоут-чартер или приобретению иностранных судов осуществлялись не только за счет средств ВОФКО, но и за счёт коммерческих кредитов Внешторгбанка (ВТБ) СССР, также допускалось привлечение кредитов иностранных банков под его гарантию.

Так как в начале операций приобретался поддержанный флот, предусматривался его ремонт, а в ряде случаев и модернизация с целью соответствия судна требованиям конвенций и повышения экономических показателей его работы. Производился ремонт на иностранных и отечественных заводах.

Очень скоро участники проекта убедились, что поступления от эксплуатации флота, принятого в бербоут-чартер, компенсируют все расходы пароходства, связанные с эксплуатацией каждого судна, а также расходы на арендную плату (фрахт по бербоуту), погашение кредитов и процентов по ним, страхование и взнос в Госбюджет (10% отчислений от ЧВВ), оплачиваемые централизованно из ВОФКО. Таким образом, способность к окупаемости, т.е. получение предполагаемого дохода (ЧВВ) от эксплуатации судов, достаточного для возмещения перечисленных расходов стала основным критерием экономической целесообразности заключения таких сделок. Поэтому в случае изменения конъюнктуры фрахтового рынка и коммерческой целесообразности могло быть принято решение о досрочном прекращении бербоут-чартера и реализации судов.

### Финансово-организационные схемы приобретения торгового флота с использованием бербоут-чартера

Первое судно, т/х «Нептун», было зафрахтовано по схеме бербоут-чартера ещё во второй половине 1972 года и выкуплено в конце срока аренды.

Следующим был 14-летний теплоход «Тайемаро». После подписания бербоут-чартера он был переименован в «Минусинск» и передан Дальневосточному морскому пароходству. «Минусинск» проработав 6 лет, не только возместил расходы на покупку (750 тыс. долл. США) и ремонт (1,2 млн. долл. США), но и заработал 5 млн. долл. США. Этому способствовал и спрос на тоннаж, и то, что расходы по бербоутным судам не превышали расходы по другим советским судам: заработная плата экипажу, bunker, портовые сборы в советских портах выплачивались по льготным, предусмотренным для всех советских судов, а не по рыночным ставкам. Схема покупки предусматривала работу через компанию американского партнёра «Совфрахта», который покупал судно как будто для своей компании, взяв кредит на три года, и передавал его «Совфрахту» в бербоут- чартер с переходом в собственность. В обеспечение предстоящих выплат по судну «Совфрахт» выдал вексель, гарантированный «Ингосстрахом» (рисунок 3).

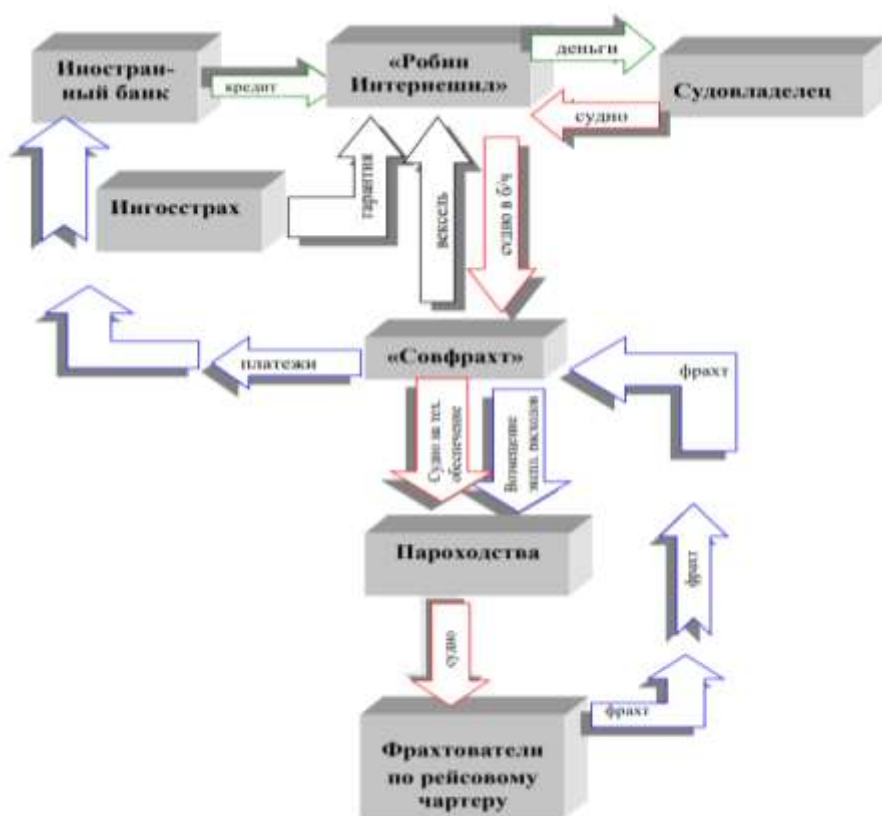


Рис. 3. Схема фрахтования в бербоут чартер т/х «Минусинск»

В марте 1973 года по этой же схеме был приобретён балкер «Яхрома» девдвойтом 12 тыс. т. [4]. Вслед за т/х «Яхрома» в марте и апреле 1973 года были куплены два финских балкера по 42 тыс. двт., которые были переименованы в «Совфрахт» и

«Совинфлот». Расчёты показывали, что стоимость этих судов, включая проценты по кредитам, может быть полностью оплачена фрахтом от перевозок зерна этими судами из портов США в порты Чёрного моря в срок менее пяти лет. Расчёт оправдался и за 10 лет работы эти суда принесли государству прибыль в размере 30 миллионов инвалютных рублей [3].

Схема фрахтования теплоходов «Совфрахт» и «Совинфлот» отличалась от первоначальной, и мало изменилась до конца операций. Суда покупались специально создаваемыми оффшорными компаниями (99% акций которой принадлежало «Совфрахту», а 1% номинальному директору) на кредит иностранного банка, выданный под залог судна и вексель «Совфрахта», гарантированный ММФ и ВТБ. Затем оффшорная компания сдавала судно в бербоут-чартер «Совфрахту». Флаг меняли на советский, судну присваивали новое название и его передавали пароходству, в данном случае Черноморскому, на техническое обеспечение [5] рисунок 4.

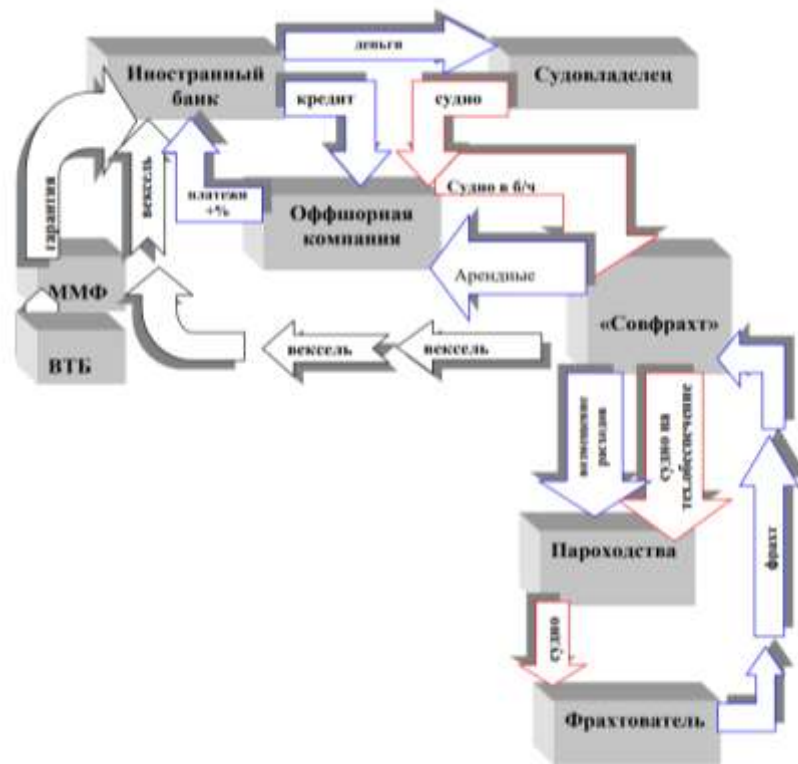


Рис. 4. Схема фрахтования судов в бербоут-чартер с участием оффшорных компаний, принадлежащих «Совфрахт»

Предоставляя кредит советской организации, иностранные банки шли на определённый риск, поэтому в обеспечение платежей по кредиту они брали залог на судно. Судно должно было быть застраховано в международной организации, как правило, в Страховой Компании Ллойда. Страховой полис передавался банку.

Еще одним серьёзным требованием, на котором настаивали все иностранные партнёры «Совфрахта», было требование о том, чтобы владельцем судна была обязательно иностранная компания. Это требование предъявлялось во избежание так

называемых «советских рисков». Арестовать советское судно в то время было очень сложно по политическим соображениям. Для того чтобы выполнить это требование «Совфрахт» регистрировал оффшорную компанию на каждое приобретаемое судно, флот приобретался на имя этих компаний. В связи с тем, что владельцем судна была иностранная компания, возникал вопрос о его переводе под советский флаг. Для решения этого вопроса было внесено изменение в Кодекс Торгового Мореплавания, которое допускало двойную регистрацию судов, зафрахтованных в бербоут-чартер.

Следующим судном, пополнившим список бербоутного флота, был пассажирский турбоход «Ханзеатик», переименованный в «Максим Горький». Он был построен немецкими судостроителями для туристических путешествий соотечественников. Но в первые же годы эксплуатации престижного лайнера вместо ожидаемых прибылей на судовладельцев обрушился вал возрастающих из круиза в круиз убытков, которые вынудили фирму расстаться с одним из лучших и комфортабельных по тому времени судов.

В феврале 1974 года «Совфрахт» совместно со своими иностранными партнерами Н. Рейзини «Робин интернешнл» и А. Ларсоном «Френдшип» договорились с продавцами о производстве работ по переклассификации судна, а также приобретении дополнительного оборудования (парикмахерская, фотолаборатория, магазин) на сумму 265 тыс. марок ФРГ, что повысило суточную доходность на 10 тыс. инв. рублей. Был взят кредит в английском банке «Кляйнворт Бенсон л.т.д» под 8,5% с отсрочкой выплаты основного долга на 1-2 года. Т.е. в течение двух лет выплачивались только проценты ежемесячными или полугодовыми платежами, но предоставлялось право вносить любые суммы в счёт погашения основного долга в любое время. По истечении 1-2 лет на оставшуюся сумму предоставлялся кредит по ставке, существующей на рынке.

Лайнер «Максим Горький» был передан в оперативное управление Черноморскому пароходству. С мая 1975 года пассажирский турбоход «Максим Горький» первым из советских судов стал совершать круизы с иностранными туристами в Карибском море и у берегов США, а затем по Средиземному морю, в северные порты Западной Европы, Скандинавии и Шпицбергена. Судно стало своеобразным центром подготовки экипажей для работы на круизных судах. За период с 1975 по 1980 год гостеприимством экипажа «Максим Горький» воспользовалось свыше 65 тыс. пассажиров, что позволило в течение неполных восьми лет полностью рассчитаться с прежним судовладельцем и погасить проценты банку общей суммой 25576 тыс. инв. руб.

Вслед за турбоходом «Максим Горький» были приобретены ещё два пассажирских судна «Федор Шаляпин» и «Леонид Собинов». Работа по приобретению судов по схеме бербоут-чартера приобретала другие масштабы. Она использовалась для покупки газовозов, танкеров, судов типа «ро-ро» и контейнеровозов. С 1974 года уже испытанную схему начали использовать для покупки судов-новостроек.

С начала операций до конца 1987 года в полную собственность государства без использования бюджетных средств перешло 63 судна для 5 пароходств, общим дедеветом 2 млн. т.

Учитывая естественное старение бербоут-чартерного флота и финансовые возможности ВОФКО, с середины 80-х годов началось обновление и бербоутного флота судами-новостройками с высокими технико-экономическими характеристиками.

### **Использование льготного финансирования и иностранного менеджмента при строительстве и эксплуатации бербоутного флота**

Специалисты «Совфрахта» и их иностранные партнёры постоянно изучали действующие и вновь вводимые положения о предоставлении льгот под судостроительные контракты правительствами разных стран с целью их возможного использования в своей схеме. Ведь большинство ведущих судостроительных стран в то время активно применяли государственную поддержку судостроительной промышленности. Например, в США предоставлялись кредиты для оплаты строительного контракта на 15-20 лет под 6-6,5 %, но банкам было выгодно кредитовать лизинговые операции, поскольку для этой схемы финансирования предусматривались определённые привилегии – сокращённый налог на инвестиции. Однако, льготы предоставлялись только при заказе судов на верфях США и для последующего их использования под американским флагом.

Для извлечения льгот создавались собственные или совместные с резидентами компаний в странах эти льготы предоставляющих. Также возможно было действовать через компании своих партнеров, зарегистрированных в странах, предоставляющих эти льготы.

Ещё один пример — это получение налоговых льгот на ускоренную амортизацию танкеров, заказанных на английской судостроительной верфи, Сван-Хантер и передаваемых по бербоут-чартеру в аренду «Совфрахту». Для реализации этой схемы была специально создана компания «Никрайз» совместно с давним партнёром «Совфрахта» Н.Рейзини.

Компания «Никрайз» использовала введённое в Англии с 1971 года положение по амортизационным начислениям на морские и другие суда. Согласно этому положению амортизация могла начисляться в любом размере, в пределах стоимости объекта начисления, и в течение любого периода времени, даже в течение одного года.

Полученные благодаря этой льготе суммы не подлежали налоговому обложению употреблялись на уменьшение кредита, полученного для покрытия расходов при размещении заказов на суда.

Деятельность «Совфрахта» по приобретению судов по схеме бербоут – чартер не осталась незаметной на международном фрахтовом рынке. Все больше иностранных фирм предлагали партнерство в работе по этой схеме. По мере того, как увеличивался арендованный в бербоут (с переходом в собственность) флот, росло доверие к «Совфрахту» иностранных банков. Банки охотнее кредитовали уже испытанную схему, и даже не всегда требовались гарантии ММФ.

«Совфрахт», работая на международном рынке, делал много для того, чтоб поддержать свою деловую репутацию. Оффшорные компании (открытые для получения иностранных кредитов под залог судна) были объединены в один холдинг. Холдинг ежегодно публиковал свою финансовую отчетность, свой баланс и подвергался аудиторским проверкам, которые осуществлялись первоклассными аудиторскими компаниями, и их заключения также свидетельствовали о финансовой устойчивости и надежности. Такая прозрачная структура компании, зарегистрированной и работающей по нормам международного права, хоть и принадлежащей советской организации «Совфрахт», приобретала все большее доверие иностранных банков. Банки предоставляли кредиты под залог как приобретаемых, так и уже приобретенных и формально принадлежащих холдингу, судов под более выгодный для «Совфрахта» процент, не учитывающий советские риски.

Одной из составляющих успешной работы схемы бербоут- чартера являлась низкая стоимость эксплуатации судов под советским флагом. Существенная составляющая эксплуатационных расходов – заработная плата экипажу была значительно ниже по сравнению с мировым уровнем (американские капитаны

получали 45 тыс. долл. США в год при занятости 6 месяцев, а матросы 32-34 тыс. долл. США при занятости 9 месяцев, советский матрос получал примерно 150 долл. США в месяц). Техническую эксплуатацию судов осуществляли пароходства, «Совфрахт» возмещал затраты по предъявляемым пароходствами счетам и отчитывался перед своими кредиторами (рисунок 4).

Часто рассчитанные специалистами «Совфрахта» эксплуатационные расходы сильно превышались пароходствами, что вызывало недовольство кредиторов. Сверхплановый ремонт, завышенное количество членов экипажей неоднократно служили предметом переписки и разбирательств между «Совфрахтом» и пароходствами.

Чем больше случаев подобного перерасхода было выявлено, тем менее терпимыми становились банки-кредиторы, внимательно следившие за работой находящихся у них в залоге судов. Банки, к которым «Совфрахт» обратился за кредитом для оплаты второй партии газозовозов, выдвинули требование об иностранном менеджменте.

В 1976 году «Совфрахт» был вынужден обратиться к известным международным компаниям, занимающимся судоходным менеджментом и нанять их для осуществления технической эксплуатации бербоутных судов, находящихся в залоге у иностранных банков и обрабатывающих свою стоимость. Эти компании занимались вопросами ремонта, запасных частей, набором команд. Команды по-прежнему набирались из советских моряков по договоренности с профсоюзами.

В апреле 1987 года Контора коммерческих операций «Совфрахта» выделилась в самостоятельную организацию - Всесоюзное хозрасчетное объединение «Совкомфлот». В марте 1988 года оно было преобразовано в Акционерное коммерческое предприятие «Совкомфлот» (АКП «Совкомфлот»), 88% акций которого принадлежало ММФ, а 12% распределялось среди 7 пароходств. Основной задачей предприятия «Совкомфлот» по-прежнему оставалось укрепление материальной базы морского транспорта без привлечения бюджетных средств.

Законодательное закрепление акционерной формы собственности и расширение прав предприятия положительно отразилось на работе предприятия. С 1988 по 1990 год АКП «Совкомфлот» за счет собственной прибыли приобрел суда и другие основные средства стоимостью 264 млн. инв. руб. В распоряжении АКП «Совкомфлот» к 1990 году находилось порядка 100 судов, эксплуатация которых позволяла не только выплачивать арендную ставку, расплачиваясь за их стоимость, но и получать прибыль. Эта прибыль в свою очередь направлялась на финансирование строительства судов-новостроек. Кроме того, АКП «Совкомфлот» принадлежал флот, стоимость которого была уже выплачена, и доход от эксплуатации которого также использовалась для заказа новых судов.

Пополнение флота осложнялось наметившейся еще в начале работы проблемой перерасхода средств на эксплуатацию флота пароходствами. Опыт передачи части флота в техническое управление иностранным компаниям, имевший место по настоянию банков-кредиторов, был не в пользу пароходств [5]. В связи с этим большая часть флота «Совкомфлота», оставаясь на балансе пароходств, была передана в оперативное управление иностранным компаниям, «Акомарит» (Глазго), «Акомарит» (Женева), «Юником Менеджмент Сервисиз Лимитед» (Кипр), «Юником Сервисиз Лимитед» (Бермуды). Эти компании были специально созданы "Совкомфлотом" в странах с льготным налогообложением.

Команды по-прежнему набирались из советских моряков, но заработная плата им выплачивалась через советские профсоюзы по мировому уровню. "Совкомфлот" в Москве со штатом около 100 человек осуществлял операции по приобретению и продаже судов и оборудования, как за свой счет, так и за счет клиентуры, в качестве брокера, включая обеспечение финансирования, наблюдение за строительством флота, проработку рынков, маркетинг и т.д.

АКП «Совкомфлот» через принадлежащие ему на 100% холдинговую «Фиона Траст и Холдинг Корпорейшн» (Либерия) и субхолдинговые компании «Фиона Шиппинг Корпорейшн», «Фиона Файманс и Марин Корпорейшн» и т.д., также зарегистрированными в Либерии, владело специально созданными судовладельческими компаниями (одна компания на каждое судно). Прибыль этих компаний налогами не облагалась и полностью направлялась на приобретение флота и оборудования. Управление всеми компаниями и их средствами, размещенными на счетах в иностранных банках, осуществлялось «Совкомфлотом» непосредственно из Москвы.

«Совкомфлотом» совместно с бельгийской компанией были размещены контракты на японской верфи «Тсуниэши» на строительство балкеров; созданы совместные компании с итальянскими фирмами на строительство танкеров в Болгарии; зарегистрированы собственные компании в Либерии для строительства контейнеровозов на польской верфи; для размещения контрактов на строительство 8 многоцелевых судов и 10 мини балкеров на Ленинградском заводе; для владения танкерами «Суэцмакс», танкерами продуктовыми и судами ОБО «Афромакс».

При распределении дивидендов, в сумме необходимой на содержание АКП «Совкомфлот» Москва, в госбюджет (СССР) выплачивался налог на прибыль 10%, а с 1990 года 20% (до 3 млн. руб в год).

Операции с бербоутом опередили свое время, заложив правовую основу для дальнейшего использования бербоут-чартера в том числе в современных схемах финансирования приобретения торгового флота. Морской транспорт раньше других отечественных отраслей получил возможность восполнять производственные средства, используя доходы от их эксплуатации, так как для других предприятий ещё долгое время была доступна только долгосрочная аренда, финансовый лизинг появился гораздо позже. ПАО «Совкомфлот», созданный по инициативе Минморфлота и «Совфрахта», и сегодня одна из крупнейших судоходных танкерных компаний мира, лидер морской транспортировки энергоносителей, что также свидетельствует об успешности проекта. По данным «Совкомфлота», средний возраст судов компании под флагом РФ – менее 9 лет, под иностранным – 13 лет [3].

#### **Бербоут - чартер 50 лет спустя: хороший финансовый инструмент с плохой репутацией**

Сегодня бербоут-чартер в соответствии с нормами национального и международного права представляет собой договор фрахтования, согласно которого «судовладелец обязуется за обусловленную плату (фрахт) предоставить фрахтователю в пользование и во владение на определённый срок не укомплектованное экипажем и не снаряжённое судно для перевозок грузов, пассажиров или для иных целей торгового мореплавания»<sup>8</sup> и имеет широкую практику использования в мировом и отечественном судоходстве.

В последние годы прошлого века и в первые десятилетия нынешнего столетия строительство судов за границей с использованием бербоут-чартера получило широкое применение среди российских судовладельцев. Перспектива эксплуатации поддержанного флота или выкупа современных судов на более выгодных, чем могли предложить отечественные банки, условиях, сулило и конкурентные преимущества судоходным компаниям, и прибыль всем участникам финансовой схемы. Однако, часто после успешной сделки и получения судов российскими компаниями выстраивались длинные цепочки, за которыми трудно было найти оригинального судовладельца. Это не способствовало ни повышению уровня транспортного

---

<sup>8</sup> (ст. 211 КТМ РФ). Данному виду фрахтования посвящена гл. XI КТМ РФ.



обслуживания, ни безопасности судоходства, ни решению проблемы обновления флота.

Широкую огласку получил негативный опыт использования бербоут-чартера, особенно для рыбопромысловых судов. Например, за 6 лет начиная с 1998 года иностранной компанией было поставлено и «передано в бербоут российским судовладельцам 60 современных, высокопроизводительных, оснащённых новейшим оборудованием, комфортабельных супертраулеров». Однако, вскоре выяснилось, что договоры содержат кабальные условия на поставку выловленной рыбопродукции, а дохода бербоутного флота не хватает на то, чтобы расплатиться за траулеры, так как они строились по завышенным ценам. Эксплуатация этих судов, не только не давала прибыли, но разоряла своих хозяев, втягивая их в судебные тяжбы, взаимные иски, международные скандалы. Аресты новых траулеров в различных портах мира и «безвозмездное и беспредельное использование иностранными кредиторами российских биоресурсов» стало неутешительным и скандальным итогом такой покупки [7].

Сегодня трудно сказать однозначно, была ли причина в неправильном расчёте, волатильности рынков или продуманной схемой вывода денег. Но эта история не стала единичной, бербоут-чартер, который был задуман как способ привлечения иностранных инвестиций, в неумелых или недобросовестных руках становился легальным инструментом ухода от налогов и вывода денег за границу. В российской прессе приводились цифры, что «половина из \$3-4 млрд., вращающихся только на рыбном рынке, уходило через бербоутные схемы» [7]. Неоднозначные ситуации происходили и с транспортным флотом, что незаслуженно испортило репутацию бербоут-чартера, укрепив многих [8,9] во мнении, что такие сделки не способствуют развитию отечественного торгового мореплавания, а напротив, вредят экономике страны. А флот нужно строить самим за свой счёт и на своих верфях [9].

На сегодняшний день, в том числе благодаря комплексным мерам поддержки, более популярной и доступной схемой финансирования строительства торгового флота стал лизинг. Лизинговая схема понятна банкам, к тому же она связана с целым рядом налоговых льгот. Но бербоут-чартер прекрасно работает в сочетании с лизингом, упрощая отчётность и оптимизируя учётную политику судоходной компании, а также регламентируя целый ряд правовых вопросов.

Бербоут-чартер регулируется прежде всего Кодексом торгового мореплавания (КТМ) и имеет ряд отличий от договора лизинга. Так, например, КТМ предусмотрено освобождение судовладельца по договору бербоут-чартера от платы (фрахта) на «время, на протяжении которого судно было непригодно к использованию». Также риск случайной гибели в бербоут-чартере несёт судовладелец. В то время как лизинг предполагает, что оба эти риска лежат на арендаторе (фрахтователе) [10].

Основным финансовым преимуществом лизинговой схемы является возможность использования ускоренной амортизации и оптимизация налогообложения. А при строительстве флота на отечественных верфях под российских флаг в соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 15.02.2023 №337-р привлекать средства под льготные процентные ставки. Правда эта схема работает только при выделении соответствующих сумм из бюджета.

Вместе с тем, встраивание бербоут-чартера в финансовую схему позволяет в рамках отношений по лизингу морского судна использовать освобождение от таможенных платежей, если судно находится в собственности иностранного лица, а также реализовывать право ареста судна на территории иных государств в соответствии с международными конвенциями. Кроме того, бербоут-чартер упрощает эксплуатацию судна, особенно в связи «с нанесением имущественного, экологического или иного ущерба другим странам или третьим лицам», так как это регулируется нормами морского права.

В связи с этим, распространилась практика заключения смешанного договора, получившего название договора фрахтования судна без экипажа (бербоут-чартера) на условиях финансовой аренды (лизинга). Это прежде всего связано с тем, что особенности аренды и эксплуатации водного транспорта устанавливаются иными правовыми нормами чем лизинг, и такая комбинация позволяет использовать достоинства каждого договора.

Безусловно, положительный опыт и многолетняя практика применения бербоут-чартера для пополнения флота как отечественными, так и иностранными судоходными компаниями, нашедшая отражения в нормах морского права, делает его использование удобным и понятным.

Однако, несмотря на преимущества этой комбинированной схемы, недостаточное её применение обуславливается также отсутствием понятных, прежде всего банкам и лизинговым компаниям методик для расчёта финансовых рисков. Основным критерием целесообразности сделки, как и пятьдесят лет назад, остаётся доход от работы приобретаемого судна, размер которого должен компенсировать эксплуатационные издержки и инвестиционные расходы. И если судоходные компании в силу своего опыта в большинстве случаев умеют определять коммерческий потенциал приобретаемого ими флота, то для финансовых институтов понимание специфики эксплуатации сухогруза, танкера, контейнеровоза или пассажирского судна и главное, прогноз его доходности, остаётся сложной задачей.

При отсутствии методики, способной оценить так называемый фрахтовый ресурс с учётом волатильности фрахтового рынка, приходится полагаться только на предоставленную судоходными компаниями информацию, привлекать экспертов или требовать подтверждение доходов. Такой подход невыгоден обеим сторонам, так как лизинговые компании, не имея возможности просчитать свои риски, а также принимая во внимание низкую ликвидность торговых судов, предлагают невыгодные для судоходного бизнеса условия. Распространённой практикой является заключение долгосрочных контрактов с грузовладельцами с фиксированной ставкой фрахта для подтверждения доходности приобретаемого флота. Впоследствии работа по этим контрактам приводит к недостаточной доходности, увеличивая риски обеих сторон финансовой схемы и снижая их привлекательность. И как следствие, коммерческий лизинг торгового флота у нас в стране развивается мало.

Методика оценки предполагаемого дохода связана с целым набором факторов, формирующих коммерческий потенциал приобретаемого судна. Наиболее важными из них являются технико-эксплуатационные характеристики судна и их соответствие спросу, сложившемуся на фрахтовом рынке. Это соответствие определяет фрахтовый ресурс приобретаемого флота, методика расчёта которого, понятная финансистам могла бы дать схеме новые импульсы.

В настоящее время уже существуют алгоритмы и разработанные по ним математические модели для определения границ целесообразности приобретения флота с определёнными эксплуатационными характеристиками для работы на заданных грузопотоках [11], а также датируемых или коммерческих пассажиропотоках [12]. Иной подход решения обозначенной задачи, предлагается через снижение рисков за счёт создания специального фонда, по аналогии с ВОФКО аккумулирующего доходы бербоутного флота [13], и наконец модель для оценки фрахтового ресурса на основе тайм-чартерной ставки [14]. Эти и ряд других моделей могли бы использоваться для определения основного критерия привлекательности финансирования приобретения флота, но их объединяет ориентированность на судоходный бизнес, профессионально владеющий спецификой эксплуатации флота, что делает невозможным их использование банкирами и финансистами.

### **Заключение**

В современных условиях обострившегося политического и экономического противостояния важно сфокусировать внимание на вопросе фрахтовой независимости во внешней торговле, что невозможно без возрождения собственного торгового флота, а заодно и судостроительной и отрасли. С учётом того, что по мнению экспертов до 2035 года необходимо построить от 1,2 до 2 тыс. единиц флота, а в настоящее время ежегодное пополнение составляет не более 40 единиц, вопрос поиска дополнительных способов повышения инвестиционной привлекательности судоходных предприятий и дополнительных источников финансирования пополнения флота отечественных судоходных компаний остаётся чрезвычайно важным.

Значимость и уникальность созданной советскими специалистами финансово-организационной схемы трудно переоценить, она стала важной частью истории российского судоходства. За 15 лет, начиная с 1973 года Всесоюзным объединением «Совфрахт» при поддержке Министерства морского флота (ММФ) на базе морских парокhodств, без использования бюджетных средств удалось приобрести более 100 судов тоннажем свыше 2 млн. двт.

Необходимо заметить, что советский проект был реализован в условиях жёсткой конкуренции, экономического и политического противостояния. В процессе его реализации были не только сформированы национальные правовые нормы, соответствующие традициям мирового судоходства для применения бербоут-чартера в финансовых схемах, но и показан пример умелого и успешного сочетания интересов государства и бизнеса.

С учётом недостаточных темпов роста производственных мощностей отечественного судостроения, замедляемых санкционным давлением, и избыточного тоннажа на мировом судоходном рынке с сохранением темпов его пополнения, отфрахтование поддержанного флота в бербоут могло бы стать промежуточным этапом модернизации отечественного круизного, контейнерного и крупнотоннажного балкерного флота.

Встраивание бербоут-чартера в схемы финансирования приобретения флота в сочетании с лизингом может оптимизировать расходы судоходных компаний и повысить инвестиционную привлекательность торгового флота. Также его применение может упростить задачу закрепления российских внешнеторговых грузов за флотом отечественных судоходных компаний, которая сегодня осложняется недостатком собственного тоннажа. Однако нельзя полностью исключать непрофессиональное и недобросовестное использование бербоута как инструмента легального уменьшения налогооблагаемой базы и вывода капитала.

Отсутствие методики и понятных всем участникам финансовой схемы алгоритмов расчёта её ключевых параметров вместе с волатильностью мировых фрахтового и финансового рынков и низкой ликвидностью торгового флота обусловили недостаточное применение бербоута в схемах пополнения флота.

Реализуемая в настоящее время государственная поддержка в виде льгот, гарантий, утилизационного гранта и частичного возврата стоимости кредита вместе с проектом закона о закреплении грузовой базы за российским флагом повысила эффективность инвестиций в транспортный флот. Следовательно, сегодня на основе коммерческого расчёта и предпринимательской инициативы можно существенно продвинуться в решении вопроса пополнения флота, но наилучшие результаты в решении этого вопроса достигаются на стыке государственного и коммерческого интересов.

### **Список литературы**

1. Исследование INFOLine «Судостроительная промышленность России. Итоги 2022 года. Тенденции 2023 года» [Электронный ресурс] — Режим доступа [www.infoline.spb.ru](http://www.infoline.spb.ru)(дата обращения: 28.09.2023)
2. Потаева К. Российские судовладельцы в 2022 году перестали обновлять флот Без новых заказов импортозамещение в отрасли теряет смысл// Ведомости [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/09/20/941585-rossiiskie-sudovladeltsi-perestali>(дата обращения: 28.09.2023)
3. Н.Мальшева, «Совкомфлот»: новаторство и преемственность [Электронный ресурс] — Режим доступа: [portnews.ru/comments/3334/?ysclid=lg505v3wc5766271522](http://portnews.ru/comments/3334/?ysclid=lg505v3wc5766271522)(дата обращения: 28.09.2023)
4. Забелин В.Г. Зарецкая Е.В. «Совкомфлот»: становление и развитие- М.: «Морской флот» №3, 2005г. С.4-9
5. Гуженко Т.Б., Корнилов В.Д. Совкомфлот: Историко-документальный рассказ о зарождении без госинвестиций в условиях плановой системы и выживании в постсоветский период. – М.: Внешторгиздат, 1999- 119с.
6. Положение о порядке подготовки решения о фрахтовании судов в бербоут -чартер от 21.06.73. Материалы Росс. Гос. Архива экономики (РГАЭ)-8с.
7. Коротаев И. В рабство по собственной воле, или Кому выгоден бербоут-чартер? // «Владивосток» №1096, 26.12.2001[Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://vladnews.ru/ev/vl/1096/49338/rabstvo\\_sobstvennoy](https://vladnews.ru/ev/vl/1096/49338/rabstvo_sobstvennoy) (дата обращения: 07.09.2023)
8. Бербоут-чартер и стратегия судостроения[Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://helion-ltd.ru/shipbuilding-strategy/?ysclid=ln4rxxpfs8163445145>
9. Гуцуляк В.Н. Виды чартеров в международном торговом судоходстве // Труды Института государства и права РАН 2019 Том 14 № 4 С. 108–130
10. Транспорт России информационно-статистический бюллетень 2020[Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://results2020.projects.mintrans.ru/assets/pdf/bulleten-transport-rosii-20210423.pdf> (дата обращения: 28.09.2023)
11. Платов Ю.И. Оценка эффективности комбинированных судов //Научные проблемы водного транспорта / Russian Journal of Water Transport №75(2), 2023
12. Уртминцев Ю.Н., Минеев В.И. Современное состояние и перспективы речных пассажирских перевозок в Волжском бассейне //Научные проблемы водного транспорта / Russian Journal of Water Transport №75(2), 2023
13. Судник Н. В. Формирование стабилизационного фонда при покупке судов на условиях бербоут-чартера // Бизнесинформ, №3 2015
14. Судник Н.В., Онищенко С.П., Рылов С. И. Оптимизация использования фрахтового ресурса для формирования национального флота // Scientific Journal «ScienceRise» №4/3(9)2015

#### References

1. Issledovanie INFOLine «Sudostroitel'naya promyshlennost' Rossii. Itogi 2022 goda. Tendencii 2023 goda» [Elektronnyj resurs] — Rezhim dostupa [www.infoline.spb.ru](http://www.infoline.spb.ru)(data obrashcheniya: 28.09.2023)
2. Potaeva K. Rossijskie sudovladel'cy v 2022 godu perestali obnovlyat' flot Bez novyh zakazov importozameshchenie v otrasli teryaet smysl// Vedomosti [Elektronnyj resurs] — Rezhim dostupa: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/09/20/941585-rossiiskie-sudovladeltsi-perestali>(data obrashcheniya: 28.09.2023)
3. N.Malysheva, «Sovkomflot»: novatorstvo i preemstvennost' [Elektronnyj resurs] — Rezhim dostupa: [portnews.ru/comments/3334/?ysclid=lg505v3wc5766271522](http://portnews.ru/comments/3334/?ysclid=lg505v3wc5766271522)(data obrashcheniya: 28.09.2023)
4. Zabelin V.G. Zareckaya E.V. «Sovkomflot»: stanovlenie i razvitie- M.: «Morskoj flot» №3, 2005g. S.4-9
5. Guzhenko T.B., Kornilov V.D. Sovkomflot: Istoriko-dokumental'nyj rasskaz o zarozhdenii bez gosinvesticij v usloviyah planovoj sistemy i vyzhivanii v postsovetskij period. – M.: Vneshtorgizdat, 1999.- 119s.
6. Polozhenie o poryadke podgotovki resheniya o frahtovanii sudov v berbout -charter ot 21.06.73. Materialy Ross. Gos. Arhiva ekonomiki (RGAE)-8s.

7. Korotaev I. V rabstvo po sobstvennoj vole, ili Komu vygoden berbout-charter? // «Vladivostok» №1096, 26.12.2001[Elektronnyj resurs] — Rezhim dostupa: [https://vladnews.ru/ev/vl/1096/49338/rabstvo\\_sobstvennoj](https://vladnews.ru/ev/vl/1096/49338/rabstvo_sobstvennoj) (data obrashcheniya: 07.09.2023)
8. Berbout-charter i strategiya sudostroeniya[Elektronnyj resurs] — Rezhim dostupa: <https://helion-ltd.ru/shipbuilding-strategy/?ysclid=ln4pxxpfs8163445145>
9. Guculyak V.N. Vidy charterov v mezhdunarodnom torgovom sudohodstve // Trudy Instituta gosudarstva i prava RAN 2019 Tom 14 № 4 S. 108–130
10. Transport Rossii informacionno-statisticheskij byulleten' 2020[Elektronnyj resurs] — Rezhim dostupa: <https://results2020.projects.mintrans.ru/assets/pdf/bulleten-transport-rossii-20210423.pdf> (data obrashcheniya: 28.09.2023)
11. Platov YU.I. Ocenka effektivnosti kombinirovannyh sudov //Nauchnye problemy vodnogo transporta / Russian Journal of Water Transport №75(2), 2023
12. Urtincev YU.N., Mineev V.I. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy rechnyh passazhirskih perevozok v Volzhskom bassejne //Nauchnye problemy vodnogo transporta / Russian Journal of Water Transport №75(2), 2023
13. Sudnik N. V. Formirovanie stabilizacionnogo fonda pri pokupke sudov na usloviyah berbout-chartera // Biznesinform, №3 2015
14. Sudnik N.V., Onishchenko S.P., Rylov S. I. Optimizaciya ispol'zovaniya frahtovogo resursa dlya formirovaniya nacional'nogo flota // Scientific Journal «ScienceRise» №4/3(9)2015

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

**Зарецкая Екатерина Владимировна**, к.э.н.,  
доцент кафедры эксплуатации водного  
транспорта Академии водного транспорта  
Российского университета транспорта (АВТ  
ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)), 117105, г. Москва,  
ул. Новоданиловская набережная, 2 к.1. e-  
mail: zarekaterina@yandex.ru

**Ekaterina V. Zaretskaya, Ph.D. in**  
Economic Science, Associate Professor of the  
Department of operation of water transport,  
**Academy of water transport**, Russian  
University of Transport (MIIT) 117105, Moscow,  
Novodanilovskaya embankment 2, bld.1, e-mail:  
zarekaterina@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 13.10.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 13.10.2023; published online 20.03.2024

УДК 629.5.015.12: 532.3  
DOI: 10.37890/jwt.vi78.410

## **Остойчивость и углы крена корабля при его малых конечных наклонениях из разных исходных положений**

**А.Н. Ковалев**<sup>1</sup>

**Ф.Н. Ковалев**<sup>2,3</sup>

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

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

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

**Аннотация.** В статье, в рамках приемлемости метацентрической формулы, представлено решение задачи о сопоставлении остойчивости корабля, углов поворота и углов крена, которые он принимает, находясь в разных исходных положениях: в прямой посадке (с несмещенным с диаметральной плоскости центром тяжести (ЦТ)) и с начальным углом крена (со смещенным ЦТ). Это сопоставление ведется при воздействии на корабль следующих факторов: одинакового кренящего момента; поворота корабля на одинаковый угол крена; переноса параллельно палубе одинакового груза на одинаковое расстояние; наклонения корабля до одинакового положения. Цель указанного сопоставления – наглядно показать, что корабль со смещенным ЦТ проявляет лучшую остойчивость в указанных рамках, чем в прямой посадке. Показано, что перенос груза в любую сторону с борта на борт повернет корабль с исходным креном на меньший угол в направлении переноса, чем тот же самый корабль в исходной прямой посадке. Исключением будет такой же перенос, при котором изначально наклоненный корабль восстановит прямую посадку или примет крен, противоположный исходному. В первом случае поворот корабля (относительно исходного крена) произойдет ровно на такой же угол, что и при наклонении корабля с изначально прямой посадкой, а во втором случае – на больший угол. Материалы статьи могут быть полезны при анализе поведения корабля на малых углах крена.

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

## **Stability and roll angles of the ship at its small finite tilts from different starting positions**

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

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

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

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

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

**Abstract.** The article, within the framework of the metacentric formula acceptability, presents the problem solution of comparing the ship stability, the rotation angles and the roll angles that the ship takes in different starting positions: in a straight state (with the center of gravity (CG) unbiased from the diametrical plane) and with the initial roll angle (with the displaced CG). This comparison is carried out when the ship is affected by following factors: the same heeling moment; the rotation of the ship at the same roll angle; the transfer of the same cargo parallel to the deck at the same distance; the inclination of the ship to the same position. The purpose of this comparison is to clearly show that a ship with a displaced CG exhibits better stability within the specified framework than in a straight state. It is shown that the transfer of cargo in any direction from side to side will turn the ship with the initial

angle by a smaller angle in the direction of transfer than the same ship in the initial straight state. The exception will be the same transfer, in which the initially cloned ship will restore a straight state or take a roll opposite to the original one. In the first case, the ship rotation (relative to the initial roll) will occur at exactly the same angle as when the ship is tilted with an initially straight state, and in the second case – by a larger angle. The given material can be useful in analyzing the behavior of a ship at small roll angles.

**Keywords:** stability, metacentric formula, metacentric height, cargo movement on the ship.

### Введение

Настоящая статья является непосредственным продолжением работы [1], где обсуждалась начальная остойчивость корабля при перемещении груза по его палубе. В частности, вопреки существующему обычному мнению о неизменности начальной остойчивости корабля при таком переносе груза в [1] было показано, что на корабле с исходной прямой посадкой перенос груза параллельно палубе увеличивает его метацентрическую высоту, а значит, и начальную остойчивость корабля.

Это хорошо видно из рис. 1, где показано новое положение корабля после поперечного перемещения груза весом  $p$  из точки  $A$  с ординатой  $y_A$  в точку  $B$  с ординатой  $y_B$ .

На этом рисунке обозначено:  $\theta$  – угол крена корабля;  $\bar{L}$  и  $\bar{\gamma}V$  – его весовое водоизмещение вместе с переносимым грузом и сила Архимеда;  $ВЛ$ ,  $G$ ,  $C$ ,  $m$  – положение ватерлинии, центра тяжести корабля, центра величины и поперечного метацентра. Индексы 1 и 2 соответствуют начальному и конечному положению корабля.

В новом равновесии поперечная метацентрическая высота  $h_2$  будет больше прежней  $h_1$ :

$$h_2 = \frac{h_1}{\cos \theta}, \tag{1}$$

где угол  $\theta$  определяется из равенства кренящего  $M_{кр}$  и восстанавливающего  $M_{вост}$  моментов:

$$M_{кр} = M_{вост}. \tag{2}$$

И поскольку

$$M_{кр} = pl_y \cos \theta, \tag{3}$$

$$M_{вост} = Dh_1 \sin \theta, \tag{4}$$

то

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

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

Важно указать, что такой подход к начальной остойчивости предполагает его надлежащее соотношение с геометрией конкретного корабля [1]. А именно, подход можно полагать целесообразным, если для данного корабля метацентрическая формула (4) будет приемлема и для конечных углов крена, пусть, хотя бы, и небольших. Вследствие этого начальную остойчивость уместнее здесь даже называть

остойчивостью на малых конечных наклонениях, что и отражено в названии статьи и используется по ходу её изложения.

Имея это в виду, в [1] также было обосновано, что введение в оборот высоты  $h_2$  позволяет порой глубже и легче проанализировать поведение корабля при малых углах его наклонения, в то время как в теории начальной устойчивости различие между высотами  $h_2$  и  $h_1$  обычно не делают – т.е. полагая для малых  $\theta$  в (1)  $\cos \theta \approx 1$ , принимают, что  $h_2 \approx h_1$ .

Кроме того, в [1] было указано, что увеличение высоты  $h_2$  по сравнению с  $h_1$  неразрывно связано с последующим изменением устойчивости корабля на больших углах крена. И как раз это обстоятельство нуждается, на наш взгляд, в соответствующем более полном освещении, с чем и связан материал настоящей статьи, а также нашей последующей статьи по данной теме. Без такого освещения теория начальной устойчивости в существующем виде может вызвать некоторые недоразумения у изучающих её лиц.

Так, в учебнике [2, с. 199] при обобщении задачи о перемещении груза на корабле на произвольные углы крена указано: *«После горизонтально-поперечного переноса груза с левого борта на правый (из точки А в точку В) ... её (т.е. диаграммы статической устойчивости – наше примечание) элементы при этом ухудшаются: уменьшаются угол заката, максимальный восстанавливающий момент и возникает угол крена. Элементы диаграммы при крене на противоположный борт соответственно улучшаются.»*

Аналогичное положение прописано, например, и в [3, с. 165]: *«... после переноса груза на правый борт ( $y_2 > y_1$ ) ... диаграмма устойчивости становится несимметричной: ухудшаются характеристики ее ветви для крена на правый борт и улучшаются для крена на левый борт.»*

На наш взгляд, процитированные положения (и подобные им в других учебниках и справочниках по теории корабля) вступают в противоречие с нашими доводами из [1]:

- как выяснилось в [1] и показано здесь чуть выше, если у корабля с прямой посадкой немного сместить центр тяжести (ЦТ) параллельно палубе, то его метацентрическая высота увеличится, и должна быть преобладающей в ее изменении при произвольных углах крена. В свою очередь увеличение метацентрической высоты привычно и правильно воспринимается как улучшение устойчивости корабля.
- Однако, если принять во внимание процитированные положения из [2,3], то может показаться, что не все так однозначно. А именно, получается, что увеличение метацентрической высоты приводит к тому, что при дальнейшем увеличении крена корабля элементы диаграммы статической устойчивости, а значит, и сама устойчивость корабля ухудшаются (по сравнению с устойчивостью корабля в прямой посадке). При крене же на противоположный борт устойчивость корабля улучшается.



Можно и вовсе не привязываться к увеличению метацентрической высоты (при смещении ЦТ корабля параллельно его палубе), а говорить лишь о том, что корабль при любом крене имеет только одну поперечную метацентрическую высоту, но никак не две и не более. Но следуя процитированным положениям из [2,3] можно непринужденно прийти к выводу о том, что эта единственная метацентрическая высота двойственно отражается на остойчивости корабля в зависимости от направления его крена. Может ли такое быть? Может ли метацентрическая высота иметь двойственный характер – и ухудшать и улучшать остойчивость корабля в связи с его креном на правый или левый борт?

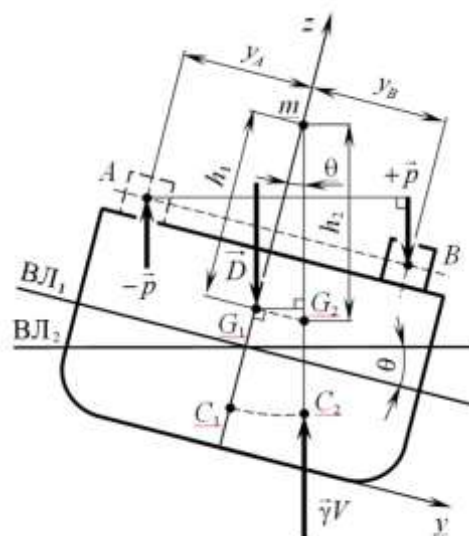


Рис. 1. Перемещение груза по палубе с левого борта на правый

Настоящая статья имеет целью подготовить информацию для исчерпывающего ответа на этот вопрос, который окончательно будет раскрыт в нашей последующей статье по данной теме. Самостоятельный же интерес в настоящей статье – что и отражено в её названии – имеет решение задачи о сопоставлении остойчивости корабля, углов поворота и углов крена, которые он принимает, находясь в разных исходных положениях: в прямой посадке (с несмещенным с диаметральной плоскости центром тяжести) и с начальным углом крена (со смещенным центром тяжести). Такое сопоставление ведется в рамках приемлемости метацентрической формулы и при воздействии на корабль в указанных его исходных положениях следующих факторов:

- одинакового кренящего момента;
- поворота корабля на одинаковый угол крена;
- переноса параллельно палубе одинакового груза на одинаковое расстояние;
- наклона корабля до одинакового положения.

Цель указанного сопоставления – наглядно показать, что в указанных рамках корабль со смещенным центром тяжести проявляет лучшую остойчивость, чем в прямой посадке.

Данная задача рассматривается в канве обозначенного вопроса о двойственном характере метацентрической высоты и одновременно служит примером целесообразности использования в теории остойчивости высоты  $h_2$  наряду с высотой  $h_1$  для малых конечных наклонов корабля.

Так же, как и в [1], изложение материала настоящей статьи было удобнее и нагляднее расположить в виде последовательных, пронумерованных пунктов.

### **Остойчивость, углы крена и углы поворота корабля при его малых наклонах из разных исходных положений**

1. Сначала уделим внимание поставленному выше вопросу – может ли метацентрическая высота, увеличенная за счет смещения параллельно палубе ЦТ

корабля, проявлять двойственный характер: уменьшать остойчивость корабля при его крене в сторону смещения его ЦТ и увеличивать в противоположную сторону?

Этот вопрос, по сути, опирается на другой – действительно ли метацентрическая высота однозначно связана с остойчивостью корабля? Чтобы ответить на последний вопрос, нужно иметь показатель (измеритель, меру) остойчивости и установить его связь с метацентрической высотой. Такую связь в теории начальной остойчивости и заодно однозначный ответ на поставленный вопрос дает метацентрическая формула (4), для которой, напомним, что абсолютной мерой остойчивости (статической) конкретного корабля является его восстанавливающий момент. Чем большее значение он может принимать, тем больше остойчивость данного корабля, т.е. тем больше корабль способен сопротивляться его наклонениям. При этом восстанавливающий момент является основной мерой остойчивости для любых углов крена в отличие от элементов диаграммы статической остойчивости, являющимися частными и производными от этой основной меры.

Что касается метацентрической высоты

$$h = \frac{M_{\text{восст}}}{D \sin \theta}, \quad (6)$$

то она является относительной мерой начальной остойчивости и позволяет сравнивать остойчивости различных кораблей,

А) воздействуя на них одинаковым, постоянным кренящим моментом. В этом случае, с учетом (2), по величине  $h$  можно судить, какой из кораблей повернется на меньший угол. Действительно, при фиксированном отношении  $M_{\text{восст}}/D$  большая высота  $h$  будет соответствовать меньшему углу  $\theta$  и, значит, большей остойчивости корабля.

Б) наклоняя их на одинаковый угол  $\theta$ . В этом случае по величине  $h$  можно судить, у какого из кораблей будет больше относительный восстанавливающий момент  $M_{\text{восст}}/D$  и, соответственно, лучшая остойчивость.

В обоих случаях кренящий момент не должен зависеть от угла  $\theta$ . Такой кренящий момент называется постоянным. А из (6) для конкретного корабля непосредственно следует однозначная связь остойчивости (т.е. её основной меры) и метацентрической высоты

$$h \sim M_{\text{восст}}$$

при любом малом  $\theta$  и с учетом того, что  $M_{\text{восст}}$  и  $\sin \theta$  всегда имеют одинаковый знак.

**2.** Проиллюстрируем эту связь, сопоставляя остойчивость двух абсолютно одинаковых кораблей (или, что то же, одного конкретного корабля в разных положениях), первый из которых имеет несмещенный ЦТ и прямую посадку, а второй – смещенный с диаметральной плоскости (ДП) центр тяжести и крен (рис. 2). При этом смещение ЦТ второго корабля вызвано перемещением по его палубе груза весом  $p$  на расстояние  $l_y$ . Оба корабля находятся в равновесии и изначально на них не действуют никакие кренящие моменты.

Новую посадку кораблей, характеризуемую возникшим углом крена, будем определять относительно вертикальной оси (см. по этому поводу пункт 4 в [1]).

В исходном положении ось  $z$  корабельной системы координат каждого корабля проходит по единой линии действия силы тяжести и силы Архимеда и совпадает с вертикальной осью, нормальной к свободной поверхности воды. Наклонение корабля вызывает поворот связанной с ним оси  $z$  на угол крена, который традиционно считается положительным при крене корабля на правый борт [4, с. 8].

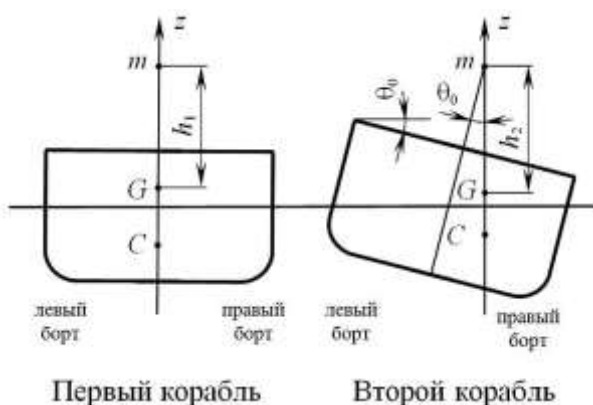


Рис. 2. Исходное положение кораблей

Соответственно восстанавливающий момент при таком крене будет тоже положительным (действует против хода часовой стрелки), а противоположный ему кренящий момент – отрицательным. Рассмотрим поведение кораблей под влиянием факторов А и Б из пункта 1.

А) *Одинаковый кренящий момент  $M_{кр}$* . Пусть на оба корабля действует одинаковый постоянный момент, кренящий их на левый борт. Тогда с учетом (2) первый корабль повернется в направлении этого момента на отрицательный угол  $-\theta_1$ , определяемый по модулю из выражения

$$\sin\theta_1 = \frac{M_{кр}}{Dh_1}. \quad (7)$$

Для второго корабля аналогично получается

$$\sin\theta_2 = \frac{M_{кр}}{Dh_2}. \quad (8)$$

Поскольку  $h_2 > h_1$ , то  $\sin\theta_2 < \sin\theta_1$  и, соответственно,  $\theta_2 < \theta_1$  (при изменении аргумента синуса от нуля до  $\pi/2$ ). Более того, поскольку согласно (2) восстанавливающие моменты кораблей будут одинаковыми, то таковыми будут и плечи этих моментов

$$h_1 \sin\theta_1 = h_2 \sin\theta_2, \quad \text{откуда} \quad \frac{\theta_2}{\theta_1} \approx \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{h_1}{h_2}.$$

Таким образом, второй корабль сильнее сопротивляется одинаковому кренящему моменту и повернется на меньший угол. Этот результат вполне укладывается в обыденные представления о поведении корабля.

Если кренящий момент будет теперь действовать на правый борт (при сохранении приемлемости формулы (4) для второго корабля), то из тех же формул (7), (8) получим, что и в этом случае второй корабль повернется на меньший угол благодаря большей метацентрической высоте. Этот результат может показаться непривычным, отчасти, может быть, из-за мыслей, навеянных из книг [2, с. 199; 3, с. 165] положением об ухудшении остойчивости наклоненного корабля при увеличении его крена (см. цитаты во «Введении»).

Б) *Крен на одинаковый угол*  $\theta$ . Пусть кренящий момент на левый борт заставляет корабли повернуться на одинаковый угол  $\theta$ . Тогда для удержания первого корабля в таком положении потребуется иметь кренящий момент величиной

$$M_{кр1} = Dh_1 \sin \theta$$

А для удержания в новом положении второго корабля потребуется момент

$$M_{кр2} = Dh_2 \sin \theta$$

Поскольку  $h_2 > h_1$ , то  $M_{кр2} > M_{кр1}$ . Причем, так как величина  $\sin \theta$  одинакова для обоих кораблей, то

$$\frac{M_{кр2}}{M_{кр1}} = \frac{h_2}{h_1}.$$

Таким образом, для поворота второго корабля на тот же угол крена, что и первого, потребуется иметь больший кренящий момент. И с учетом (2) у второго корабля восстанавливающий момент и плечо этого момента будут больше, чем у первого:

$$|Dh_2 \sin \theta| > |Dh_1 \sin \theta| \text{ и } |h_2 \sin \theta| > |h_1 \sin \theta|.$$

Этот результат также чувствуется интуитивно и соответствует указанному выше положению из книг [2, с. 199; 3, с. 165] о лучшей остойчивости второго корабля при его крене на левый борт.

Если же кренящий момент будет наклонять корабли на правый борт, поворачивая их на один и тот же угол  $\theta$ , то хотя это и может показаться непривычным, но остойчивость второго корабля будет по-прежнему лучше, чем у первого:

$$h_2 \sin \theta > h_1 \sin \theta,$$

благодаря тому, что  $h_2 > h_1$ . В этом случае, как и прежде, полагаем, что полученный вторым кораблем дополнительный крен не выводит за рамки метacentрической формулы.

Итак, при наклонении кораблей и на правый, и на левый борт второй корабль, благодаря большей метacentрической высоте, проявляет лучшую остойчивость по сравнению с первым. Этот результат однозначен, т.е. не зависит от направления крена.

Но этот вывод как будто бы противоречит цитатам из [2, с. 199; 3, с. 165], приведенным во «Введении», согласно которым второй корабль имеет ухудшенные элементы диаграммы статической остойчивости при крене на правый борт и, поэтому, домысливаем мы, должен проявлять худшую остойчивость в этом направлении. И, наоборот, при крене на левый борт элементы диаграммы статической остойчивости второго корабля, а значит, и его остойчивость будут лучше, чем у первого.

Будем последовательны в наших доводах и источник противоречия укажем в приведенных цитатах из [2, с. 199; 3, с. 165]. Но отложим это указание до последующей нашей статьи по данной теме. А здесь продолжим исследовать поведение кораблей из пункта 2 и рассмотрим более интересную ситуацию в продолжение статьи [1].

3. Пусть теперь для крена обоих кораблей (см. рис. 2) используется и не одинаковый кренящий момент (литера А в пунктах 1, 2), и не одинаковый угол крена (литера Б в пунктах 1, 2), а одинаковый груз весом  $p$ , переносимый по палубе с борта на борт на одинаковое расстояние  $l_y$ . То есть в данном случае при крене кораблей одинаковой будет величина  $pl_y$  – произведение веса груза на плечо его переноса. Обозначим этот фактор литерой В:

В) *Воздействие одинаковой величиной  $pl_y$* . Поскольку вес груза направлен всегда вертикально, а положение плеча переноса определяется наклоном палубы – плечо всегда параллельно палубе, то кренящий момент от такого переноса груза не будет постоянным (как было в литере А из пунктов 1, 2). Он зависит от угла крена корабля через функцию косинус:

$$M_{кр} = pl_y \cos(\theta_0 + \theta), \quad (9)$$

где  $\theta_0$  – начальный угол наклона палубы (но не крена корабля (!), т.е. корабельной системы координат). У первого корабля  $\theta_0 = 0$ .

$\theta$  – угол крена корабля, возникающий от переноса груза.

Условие равновесия (2) для каждого корабля теперь запишется в виде

$$pl_y \cos(\theta_0 + \theta) = Dh \sin \theta \quad (10)$$

Как уже видно из исходной постановки рассматриваемой ситуации, в отличие от литер А и Б из пунктов 1, 2, здесь не удастся за счет переноса одинакового груза весом  $p$  на одинаковое плечо  $l_y$  провести сравнение остойчивости кораблей через величину  $h$

а) воздействуя на них одинаковым кренящим моментом. Действительно, несмотря на одинаковую величину  $pl_y$ , аргумент косинуса в (9) для кораблей с разным значением  $\theta_0$  будет всегда разный (когда наклонение кораблей осуществляется в одинаковую сторону). То есть к кораблям невозможно приложить одинаковый кренящий момент при переносе одинакового груза весом  $p$  на одинаковое плечо  $l_y$ .

б) наклоняя их на один и тот же угол  $\theta$  (в одинаковом направлении). Действительно, согласно (10) для первого корабля следует записать

$$pl_y \cos \theta = Dh_1 \sin \theta, \quad (11)$$

откуда

$$\frac{pl_y}{D} = h_1 \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \quad (12)$$

Для второго корабля согласно (10)

$$pl_y \cos(\theta_0 + \theta) = Dh_2 \sin \theta, \quad (13)$$

и

$$\frac{pl_y}{D} = h_2 \frac{\sin \theta}{\cos(\theta_0 + \theta)}. \quad (14)$$

Сопоставляя (12) и (14), получим

$$\frac{h_1}{\cos \theta} = \frac{h_2}{\cos(\theta_0 + \theta)}$$

И так как  $\cos \theta > \cos (\theta_0 + \theta)$  (на промежутке от нуля до  $\pi/2$ ), то должно быть  $h_1 > h_2$ . То есть при крене обоих кораблей на один и тот же угол  $\theta$  метацентрическая высота второго корабля должна быть меньше, чем у первого. Но поскольку в реальности, наоборот,  $h_1 < h_2$ , то сказанное эквивалентно тому, что большая метацентрическая высота  $h_2$  второго корабля не позволит ему за счет переноса груза весом  $p$  на плечо  $l_y$  наклониться на такой же угол  $\theta$ . Другими словами, кренящего момента от фиксированной величины  $pl_y$  будет недостаточно, чтобы наклонить второй корабль на тот же угол, что и первый.

К такому же выводу можно прийти и непосредственно, сопоставляя равенства (11) и (13):

так как

$$pl_y \cos \theta > pl_y \cos (\theta_0 + \theta),$$

то должно быть

$$Dh_1 \sin \theta > Dh_2 \sin \theta,$$

и, следовательно,  $h_1 > h_2$ , что противоречит реальности.

Таким образом, тестируя рассматриваемые корабли (или один и тот же корабль в разных положениях) постоянной величиной  $pl_y$  ничего определенного об отношении их остойчивостей в рамках формулы (4) сказать невозможно. В том числе, на основании такого теста нельзя утверждать, что остойчивость второго корабля будет хуже, чем у первого, при крене их на правый борт и лучше – при крене на левый борт.

4. Но при помощи постоянной величины  $pl_y$  из опыта кренования возможно определить метацентрическую высоту каждого корабля. И тогда, сравнивая метацентрические высоты кораблей, можно будет сделать однозначный вывод об отношении их остойчивостей (в пределах приемлемости формулы (4)). Впрочем, этот вывод в рассматриваемых пределах был уже сделан в пункте 1 из [1] – остойчивость корабля, наклоненного за счет переноса груза по его палубе, лучше, чем у того же корабля в прямой посадке, т.е. до такого переноса груза. Сам же опыт кренования достаточно провести только для одного из кораблей – для другого корабля метацентрическая высота определится из соотношения (1).

В связи с опытом кренования имеет смысл сейчас более конкретно, чем в пункте 3, остановиться на влиянии на оба корабля одинаковой величины  $pl_y$ . Пусть сначала груз весом  $p$  перенесен на расстояние  $l_y$  с правого борта на левый. Тогда

– на первый корабль будет воздействовать кренящий момент (3), т.е.

$$pl_y \cos (\theta_0 - \theta) \Big|_{\theta_0=0} = pl_y \cos (-\theta) = pl_y \cos \theta \tag{15}$$

который вызовет крен корабля на угол  $(-\theta)$ . Эта типовая ситуация была постоянно в поле нашего зрения в статье [1] и в зеркальном отображении (симметрично относительно произвольной вертикальной оси) её иллюстрирует здесь рис. 1.

– на второй корабль будет воздействовать кренящий момент

$$pl_y \cos (\theta_0 - \theta'),$$

который вызовет крен корабля на угол  $(-\theta')$ . Начать рассмотрение этой ситуации удобнее и нагляднее с частного случая, когда равновесное положение второго корабля было изначально создано переносом по его палубе такого же груза весом  $p$  на такое же расстояние  $l_y$ , но только лишь с левого борта на правый. Это исходное равновесное положение второго корабля непосредственно иллюстрирует рис. 1 (или рис. 5 из [1]), и в данном частном случае следует принять  $\theta_0 = \theta$ .

Если же теперь тот же самый груз вернуть на его прежнее место, то, очевидно, второй корабль восстановит прямую посадку. Тогда принимая  $-\theta' = -\theta$ , будем видеть, что в этой прямой посадке второй корабль будет удерживаться кренящим моментом

$$pl_y \cos(\theta_0 - \theta') = pl_y \cos(\theta - \theta) = pl_y \quad (16)$$

(Такое равновесное положение второго корабля теперь уже иллюстрирует непосредственно рис. 6 из [1].)

Рассматриваемый частный случай ( $\theta_0 = \theta$ ) является элементом опыта кренования и уже был предметом нашего внимания в пункте 7 [1]. Поэтому здесь лишь еще раз укажем,

– если на корабле с исходной прямой посадкой при переносе груза весом  $p$  на плечо  $l_y$  возникает кренящий момент (3) (или, что то же, (15)), т.е.  $pl_y \cos \theta$  (см. рис. 1), и корабль получает крен на угол  $\theta$ ,

– то при возвращении этого груза обратно возникает больший кренящий момент (16), т.е.  $pl_y$ :

$$pl_y > pl_y \cos \theta \quad (17)$$

который наклоняет корабль всего лишь на такой же угол крена  $\theta$  (в обратном направлении). Это значит, что теперь корабль сильнее сопротивляется его наклонению на тот же угол  $\theta$  – его остойчивость улучшилась.

То же самое касается и наклона первого и второго корабля за счет переноса груза весом  $p$  на плечо  $l_y$  с правого борта на левый – чтобы повернуть корабли на одинаковый угол  $\theta$ , ко второму кораблю надо приложить больший кренящий момент, чем к первому (см. (17)). Это будет чувствоваться и на уровне физических ощущений: поднимать груз вверх по наклонной палубе, даже при постепенном уменьшении её крена, тяжелее, чем спускать тот же груз вниз по этой палубе, тем более, когда её наклон увеличивается.

Большее сопротивление крену у второго корабля обусловлено, соответственно, большим значением высоты  $h_2$  (см. (8) [1]) по сравнению с  $h_1$  (см. (9) [1]):

$$h_2 = \frac{p}{D} \frac{l_y}{\sin \theta} \quad \text{и} \quad h_1 = \frac{p}{D} \frac{l_y}{\text{tg} \theta} \quad \left( \sin \theta < \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \text{tg} \theta \right).$$

Таким образом, здесь привычно имеем, что большая метацентрическая высота второго корабля ведет к улучшению его остойчивости по сравнению с первым кораблем.

Рассматриваемый частный случай ( $\theta_0 = \theta$  у второго корабля) при переносе груза с правого борта на левый формально подпадает под литеру Б из пунктов 1, 2, когда остойчивость кораблей можно сравнивать по величине кренящего момента (а значит,

и восстанавливающего момента с учетом (2)) при наклонении их на одинаковый угол  $\theta$ .

Пусть теперь в рассматриваемом частном случае ( $\theta_0 = \theta$  у второго корабля) груз весом  $p$  перенесен на плечо  $l_y$  с левого борта на правый. Для первого корабля новое положение равновесия после такого переноса показано непосредственно на рис. 1 (или рис. 5 в [1]), а для второго корабля – соответствует ватерлинии 3 на рис. 3, где высота  $h_3$  отвечает новому смещению ЦТ корабля в точку  $G_3$ . При этом, как и прежде, полагаем приемлемым использование метacentрической формулы.

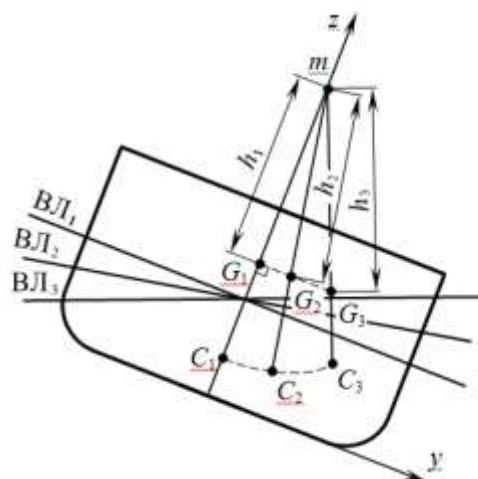


Рис. 3. Последовательное, параллельно палубе, смещение с ДП центра тяжести корабля

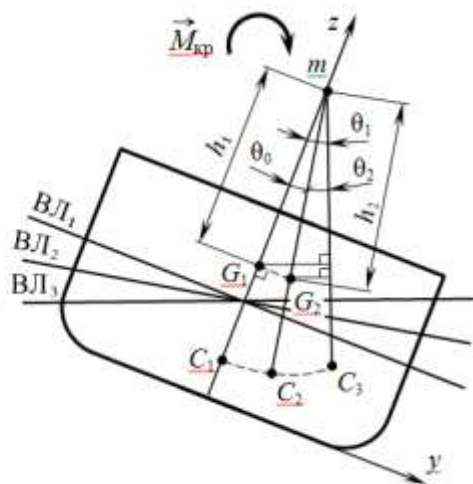


Рис. 4. Поворот корабля из разных исходных положений до одинаковой посадки

На первом корабле возникающий от такого переноса груза кренящий момент  $pl_y \cos \theta$  наклонит корабль на угол  $+\theta$  (аналогично тому, как это было при повороте этого корабля на угол  $-\theta$  за счет такого же по величине кренящего момента  $pl_y \cos \theta$ ).

Перенос же груза на втором корабле создаст меньший кренящий момент  $pl_y \cos (\theta + \theta')$ , так как  $\cos (\theta + \theta') < \cos \theta$  при изменении аргумента косинуса от нуля до  $\pi/2$ . Такой момент повернет второй корабль на угол  $\theta' < \theta$ . Действительно, в новом равновесии равенство (2) следует записать

- для первого корабля в виде (11), откуда следует (12);
- а для второго корабля в виде

$$pl_y \cos (\theta + \theta') = Dh_2 \sin \theta' \tag{18}$$

откуда

$$\frac{pl_y}{D} = h_2 \frac{\sin \theta'}{\cos (\theta + \theta')}.$$

Сопоставляя (12) и последнюю формулу, получим

$$\frac{h_1 \sin \theta}{\cos \theta} = \frac{h_2 \sin \theta'}{\cos (\theta + \theta')}.$$

Так как



$$\cos \theta > \cos (\theta + \theta'),$$

то должно быть

$$h_1 \sin \theta > h_2 \sin \theta',$$

или

$$\frac{\sin \theta'}{\sin \theta} < \frac{h_1}{h_2}. \quad (19)$$

Но поскольку  $h_2 > h_1$ , то заведомо  $\sin \theta' < \sin \theta$  и, следовательно,  $\theta' < \theta$  (при изменении аргумента синуса от нуля до  $\pi/2$ ).

Если говорить об опыте кренования корабля с изначальной прямой посадкой, то нужно иметь в виду, что перенос первого груза весом  $p$  на плечо  $l_y$  вызовет крен корабля на угол  $\theta$ . А перенос второго такого же груза на такое же плечо наклонит корабль уже на меньший угол  $\theta'$ . Причиной этого будет не только меньший кренящий момент от переноса второго груза, но и большая метацентрическая высота наклоненного корабля.

5. Обычно при выполнении опыта кренования суммарный вес первого и второго примерно одинаковых грузов выбирают «исходя из того, чтобы получаемый угол крена составлял  $4^\circ$  при плече переноса груза ... около  $3/4$  ширины судна» [4, с. 113]. Величину кренящего момента определяют так [5, с. 552]: «Первый груз  $p_1$  переносится с левого борта на правый на расстояние  $l_1$ ; окончанию переноса соответствует ... кренящий момент  $M_1 = p_1 l_1$ . После переноса второго груза  $p_2$  на расстояние  $l_2$  в сумме получится кренящий момент  $M_2 = p_1 l_1 + p_2 l_2$ .» Аналогично об этом говорится и в других изданиях по статике корабля. Например, в [2, с. 184] указано, что «кренящий момент при переносе кренбалласта равен весу  $p$  переносимого груза, умноженному на плечо переноса  $l$ ».

Таким образом, следуя рекомендациям по проведению опыта кренования, суммарный кренящий момент от переноса на один борт двух грузов нужно принять в виде

$$p_1 l_{y1} + p_2 l_{y2} = 2pl_y,$$

где было учтено, что веса грузов и плечи их переноса теоретически одинаковы:  $p_1 = p_2 = p$  и  $l_{y1} = l_{y2} = l_y$ . А если быть ближе к действительности, то кренящий момент от переноса двух грузов согласно пункту 4 будет равен

$$p_1 l_{y1} \cos \theta + p_2 l_{y2} \cos (\theta + \theta') = pl_y (\cos \theta + \cos (\theta + \theta'))$$

Несложно дать оценку относительной ошибки при расчете суммарного кренящего момента из-за неучета в его выражении функции косинус. Полагая угол  $(\theta + \theta')$  в районе  $4^\circ$  и то, что  $\theta' < \theta$ , примем условно  $(\theta + \theta') = 4^\circ$ ,  $\theta = 2,5^\circ$ . Тогда относительная ошибка суммарного кренящего момента без учета погрешностей измерения угла крена, веса  $p$  грузов и их плеча переноса  $l_y$  будет равна

$$\frac{|pl_y (\cos \theta + \cos (\theta + \theta')) - 2pl_y|}{pl_y (\cos \theta + \cos (\theta + \theta'))} 100\% =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{|\cos \theta + \cos (\theta + \theta') - 2|}{\cos \theta + \cos (\theta + \theta')} 100\% = \\
 &= \frac{|\cos 2,5^\circ + \cos 4^\circ - 2|}{\cos 2,5^\circ + \cos 4^\circ} 100\% \approx 0,17\%
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

В [5, с. 557] указано, что «относительная ошибка наблюдений при производстве опыта будет  $\varepsilon/h$ . Чтобы получить общую абсолютную ошибку метacentрической высоты  $\Delta h$ , необходимо еще учесть относительную ошибку от неточности определения водоизмещения, которая будет  $\Delta D/D$  и может быть порядка 1 %, а также относительную ошибку от неточности метacentрической формулы, которую обозначим  $\Delta h_1/h$  и которая может быть порядка 1 %. Общая относительная ошибка получается как сумма относительных ошибок в таком виде

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\varepsilon}{h} + \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h_1}{h} . \gg$$

Исходя из этой цитаты нельзя утверждать, что относительная ошибка (20) является малой, т.е. на порядок меньше величин  $\Delta D/D$  и  $\Delta h_1/h$ , и поэтому ей можно пренебречь. В цитате говорится лишь о максимальных оценках величин  $\Delta D/D$  и  $\Delta h_1/h$ . При современных более точных расчетах водоизмещения, а также для некоторых обводов корпуса корабля (например, близких к круговым, см. [5, с. 163]) ошибки  $\Delta D/D$  и  $\Delta h_1/h$  могут оказаться заметно меньше 1 % и будут сопоставимы по величине с (20). Поэтому при расчете относительной ошибки опыта кренования в общем случае не следует забывать про ошибку определения кренящего момента. Причем, в отличие от измерительных погрешностей, которые могут быть уменьшены более качественными измерениями, ошибка от неучета функции косинус является неуменьшаемой, т.е. стабильной. Этой своей мало изменяемой величиной в районе (0,15 ÷ 0,2) % погрешность от неучета функции косинус входит составной частью в ошибку  $\varepsilon/h$ .

**6.** Пусть теперь угол  $\theta_0$  является произвольным в рамках рассматриваемой модели остойчивости. После анализа предыдущего случая, когда  $\theta_0 = \theta$  (см. пункт 4), сделать вывод о поведении корабля с произвольным углом  $\theta_0$  несложно. А именно, перенос груза

– с левого борта на правый независимо от величины  $\theta_0 \neq 0$  вызовет поворот второго корабля на меньший угол, чем первого;

– с правого борта на левый повернет второй корабль по сравнению с первым

на меньший угол при  $\theta_0 > \theta$ ,

на такой же угол при  $\theta_0 = \theta$ ,

на больший угол при  $\theta_0 < \theta$ .

Этот вывод достаточно очевиден, но чтобы он не был безосновательным, ниже приведено более обстоятельное исследование этих случаев.

Итак, пусть теперь угол  $\theta_0$  – произвольный. По сравнению с пунктом 4 это принципиально ничего не меняет, если груз переносится с левого борта на правый. Для первого корабля, как и раньше, имеет место (11). А для второго корабля по аналогии с (18) следует записать

$$pl_y \cos (\theta_0 + \theta') = Dh_2 \sin \theta' .
 \tag{21}$$

Поскольку  $\cos(\theta_0 + \theta') < \cos \theta$  (на промежутке от нуля до  $\pi/2$ ), то из сравнения (11) и (21) с учетом того, что  $h_2 > h_1$ , опять получим  $\theta' < \theta$ . При этом будет справедливо (19).

Указанное соотношение между косинусами одновременно означает, что на второй корабль будет действовать меньший кренящий момент, чем на первый:

$$pl_y \cos(\theta_0 + \theta') < pl_y \cos \theta$$

Соответственно и восстанавливающий момент второго корабля будет меньше, чем у первого

$$Dh_2 \sin \theta' < Dh_1 \sin \theta$$

при том, что  $h_2 > h_1$ . Напомним, что рассматриваемый перенос груза не подпадает под литеры А и Б из пунктов 1, 2. Поэтому сравнивать остойчивости кораблей на основании сравнения восстанавливающих моментов, которые корабли развивают при таком переносе груза, не имеет смысла.

Отметим еще следующее естественное соотношение. Перенос груза весом  $p$  на плечо  $l_y$  на первом корабле вызвал его крен на угол  $\theta$ . Второй корабль уже имел крен  $\theta_0$  в этом же направлении. Поэтому, если на втором корабле сделать такой же перенос, то он получит больший крен, чем первый:  $\theta_0 + \theta' > \theta$ , где, как и раньше,  $\theta'$  – дополнительный крен второго корабля от переноса груза, причем  $\theta' < \theta$ .

После переноса груза весом  $p$  на плечо  $l_y$  с правого борта на левый первому кораблю по-прежнему соответствуют равенства (11), (12) взятые по модулю для функции синус. А для второго корабля будут характерны три ситуации:

1)  $\theta_0 > \theta$  – перенос груза из такого исходного положения корабля не позволит ему достигнуть прямой посадки, и он сохранит крен на правый борт с углом  $(\theta_0 - \theta') > 0$ . Такому равновесию корабля соответствует равенство

$$pl_y \cos(\theta_0 - \theta') = Dh_2 \sin \theta'$$

Откуда

$$\frac{pl_y}{D} = h_2 \frac{\sin \theta'}{\cos(\theta_0 - \theta')}$$

Сопоставляя последнее выражение с (12), получим

$$\frac{h_1 \sin \theta}{\cos \theta} = \frac{h_2 \sin \theta'}{\cos(\theta_0 - \theta')} \tag{22}$$

Принимая во внимание соотношение (1), т.е.  $h_2 = h_1 / \cos \theta_0$ , перепишем (22) в виде

$$\cos(\theta_0 - \theta') \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta} = \frac{\sin \theta'}{\sin \theta}$$

Поскольку по исходному условию  $\theta_0 > \theta$ , то  $\cos \theta_0 < \cos \theta$  (при изменении аргумента косинуса от нуля до  $\pi/2$ ), и кроме того, всегда  $\cos(\theta_0 - \theta') < 1$ . Следовательно,

$$\frac{\sin \theta'}{\sin \theta} < 1,$$

откуда заключаем, что  $\theta' < \theta$ , или в общей последовательности:  $\theta' < \theta < \theta_0$ .

Что касается сопоставления кренящих моментов, действующих на корабль:  $pl_y \cos \theta$  и  $pl_y \cos(\theta_0 - \theta')$ , то возможны следующие два случая:

\*)  $\theta_0 - \theta' > \theta$  – угол  $\theta_0$  настолько велик (в рамках формулы (4)), что рассматриваемый перенос груза не позволяет второму кораблю достигнуть угла крена  $\theta$ . Здесь имеем

$$pl_y \cos(\theta_0 - \theta') < pl_y \cos \theta.$$

Соответственно для восстанавливающих моментов с учетом (2) получим

$$Dh_2 \sin \theta' < Dh_1 \sin \theta$$

(при том, что  $h_2 > h_1$ ).

\*\*)  $\theta_0 - \theta' < \theta$  – угол  $\theta_0$  не сильно превышает угол  $\theta$ , так что рассматриваемый перенос груза выведет второй корабль на крен, меньший угла  $\theta$ . Здесь будет

$$pl_y \cos(\theta_0 - \theta') > pl_y \cos \theta,$$

$$\text{и } Dh_2 \sin \theta' > Dh_1 \sin \theta$$

(при том, что  $\sin \theta' < \sin \theta$ ).

2)  $\theta_0 = \theta$  – эта ситуация была исследована в пункте 4.

3)  $\theta_0 < \theta$  – при переносе груза из такого исходного положения второго корабля он сначала восстанавливает прямую посадку и далее получает крен на левый (т.е. противоположный) борт на угол  $(-\theta'') = \theta_0 - \theta'$ . В результате корабль повернется на угол  $|\theta'| = \theta_0 + |\theta''|$ .

В новом равновесии для второго корабля соблюдается равенство

$$pl_y \cos \theta'' = Dh_2 \sin \theta',$$

откуда

$$\frac{pl_y}{D} = h_2 \frac{\sin \theta'}{\cos \theta''}.$$

Сопоставляя это выражение с (12), запишем

$$\frac{h_1 \sin \theta}{\cos \theta} = \frac{h_2 \sin \theta'}{\cos \theta''}.$$

Поскольку  $h_2 = h_1 / \cos \theta_0$  (см. (1)), и  $|\theta'| = \theta_0 + |\theta''|$ , то последовательно получаем

$$\begin{aligned}
 pl_y \cos \theta'' &= Dh_2 \sin \theta' = D \frac{h_1}{\cos \theta_0} \sin (\theta_0 + \theta'') = \\
 &= Dh_1 \frac{\sin \theta_0 \cos \theta'' + \cos \theta_0 \sin \theta''}{\cos \theta_0} = Dh_1 \cos \theta'' (\operatorname{tg} \theta_0 + \operatorname{tg} \theta'') \quad (22)
 \end{aligned}$$

откуда

$$\frac{pl_y}{Dh_1} = \operatorname{tg} \theta_0 + \operatorname{tg} \theta'' \quad (23)$$

Сопоставляя это выражение с (12) находим, что

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} \theta_0 + \operatorname{tg} \theta'' \quad (24)$$

С другой стороны,

$$\operatorname{tg} \theta' = \operatorname{tg} (\theta_0 + \theta'') = \frac{\operatorname{tg} \theta_0 + \operatorname{tg} \theta''}{1 - \operatorname{tg} \theta_0 \operatorname{tg} \theta''} \quad (25)$$

Так как

$$\operatorname{tg} \theta_0 + \operatorname{tg} \theta'' < \frac{\operatorname{tg} \theta_0 + \operatorname{tg} \theta''}{1 - \operatorname{tg} \theta_0 \operatorname{tg} \theta''},$$

то из (24), (25) следует, что  $\operatorname{tg} \theta < \operatorname{tg} \theta'$  и  $\theta < \theta'$ , а в общей последовательности:  $\theta_0 < \theta < \theta'$ . Из (24) также видно, что  $\theta'' < \theta$ .

Что касается кренящего момента (изменяющегося по величине в процессе крена кораблей), то в новом равновесии

$$pl_y \cos \theta'' > pl_y \cos \theta,$$

и, соответственно,

$$Dh_2 \sin \theta' > Dh_1 \sin \theta.$$

Таким образом, на корабле, имеющем произвольный (в пределах приемлемости метацентрической формулы) исходный крен, перенос груза в любую сторону с борта на борт повернет корабль в направлении переноса на меньший угол, чем такой же перенос на этом же корабле в исходной прямой посадке.

Исключением будет такой же перенос, при котором изначально наклоненный корабль восстановит прямую посадку или примет крен, противоположный исходному. В первом случае поворот корабля (относительно исходного крена) произойдет ровно на такой же угол, что и при наклонении корабля с изначально прямой посадкой, а во втором случае – на больший угол.

Причиной такого соотношения поворотов корабля являются, с одной стороны, разное отношение кренящих моментов, возникающих на корабле при разных его исходных положениях, а с другой стороны, всегда большая метацентрическая высота исходно наклоненного корабля (со смещенным с ДП центром тяжести) по сравнению с метацентрической высотой корабля в прямой посадке (с несмещенным ЦТ).

Результаты, полученные в пунктах 4 и 6, а также 7 [1], сведены в таблицы 1 и 2. Эти результаты были получены при помощи различия между метацентрическими

высотами  $h_2$  и  $h_1$ , которым теория начальной остойчивости обычно пренебрегает – об этом говорилось в пункте 2 [1].

Без указанного различия углы поворота корабля, рассмотренные выше, можно было бы считать неразличимыми. Между тем, углами такой величины теория начальной остойчивости не пренебрегает и, наоборот, они находятся в центре её внимания – см. формулу (5). Эта формула, даже в упрощенном варианте  $\theta \approx pl_y / Dh_1$  приписывает углу  $\theta$  вполне отличимую от нуля величину.

Укажем еще, что угол поворота корабля при переваливании на противоположный борт (см. ситуацию 3 в настоящем пункте 6) может превышать углы крена, приемлемые для метацентрической формулы.

Но это не лишает такой угол правомерности, поскольку ограничения на использование этой формулы вносят именно углы крена корабля, а не углы его поворота. Такие ограничения проистекают из протяженности начального участка диаграммы статической остойчивости, отвечающего в большей или меньшей степени синусоиде (4), имеющей аргументом угол крена (см. пункт 2 в [1]).

Обратим также внимание на то, что формула (23) позволяет определить угол крена изначально наклоненного корабля (при  $0 < \theta_0 < \theta$ ) после переноса на нем груза параллельно палубе с правого борта на левый. При  $\theta_0 = 0$  эта формула по смыслу совпадает с (11), (12) или, что то же, с (5). Однако подробную методику расчета крена изначально наклоненного корабля авторы намерены изложить в отдельной статье.

7. Наш обзор был бы не полным, если бы мы не затронули еще один типовой случай:

Г) *Крен до одинаковой посадки.* Пусть первый и второй корабли при помощи сторонних сил (т.е. сил, не вызывающих смещение ЦТ корабля) наклоняются на правый борт до одинакового положения, в котором центр величины оказывается в

Таблица 1

Перенос груза с левого борта на правый (↷)

Параметр	Первый корабль	Соотношение между параметрами	Второй корабль
Исходный угол крена <sup>1)</sup>	0	<	$\theta_0$ – любой ( $>$ , $<$ или $= \theta$ )
Угол поворота	$\theta$	>	$\theta'$
Полученный угол крена <sup>1)</sup>	$\theta$	<	$\theta_0 + \theta'$
Кренящий момент	$pl_y \cos \theta$	>	$pl_y \cos (\theta_0 + \theta')$
Восстанавливающий момент	$Dh_1 \sin \theta$	>	$Dh_2 \sin \theta'$
Метацентрическая высота <sup>2)</sup>	$h_1$	<	$h_2$

<sup>1)</sup> Относительно вертикального положения ДП

<sup>2)</sup> В исходном положении корабля.

точке

C<sub>3</sub>

на рис. 4.

Тогда первый корабль повернется на угол  $\theta_1$ , определяемый из равенства

$$M_{кр1} = Dh_1 \sin \theta_1$$

Второй корабль повернется на меньший угол  $\theta_2$  согласно уравнению

$$M_{кр2} = Dh_2 \sin \theta_2$$

при том, что  $\theta_1 = \theta_0 + \theta_2$ . Естественно, что для крена второго корабля до заданного положения к нему нужно приложить меньший кренящий момент:

$$M_{кр2} < M_{кр1}.$$

Таблица 2

Перенос груза с правого борта на левый (↖)

Параметр	Первый корабль	Соотношение <sup>2)</sup>	Второй корабль	Соотношение <sup>2)</sup>	Второй корабль		Соотношение <sup>2)</sup>	Второй корабль	
					5	6			
1	2	3	4	5	6	7	8		
Исходный угол крена <sup>1)</sup>	0	<	$\theta_0 = \theta$	<	$\theta_0 > \theta$	<	$\theta_2 < \theta$		
Угол поворота	$ \theta $	=	$ \theta $	>	$ \theta' $	<	$ \theta' $		
Полученный угол крена <sup>1)</sup>	$ \theta $	>	0	<	$\theta_0 - \theta'$	>	$\theta_0 - \theta'$	>	$ \theta' $
Кренящий момент	$pl_y \cos(-\theta) = pl_y \cos \theta$	<	$pl_y$	>	$pl_y \cos(\theta_0 - \theta')$	<	$pl_y \cos(\theta_0 - \theta')$	<	$pl_y \cos(-\theta') = pl_y \cos \theta' 3)$
Восстанавливающий момент	$ Dh_1 \sin(-\theta) $	<	$ Dh_2 \sin(-\theta) $	>	$ Dh_2 \sin(-\theta') $	<	$ Dh_2 \sin(-\theta') $	<	$ Dh_2 \sin(-\theta') $
Метацентрическая высота <sup>4)</sup>	$h_1$	<	$h_2$	<	$h_2$	<	$h_2$	<	$h_2$

<sup>1)</sup> Относительно вертикального положения ДП. <sup>2)</sup> Соотношение между модулями параметров первого корабля (столбец <sup>2)</sup> и второго корабля (последовательно столбцы 4, 6 и 8).

<sup>3)</sup> В процессе поворота корабля кренящий момент принимает максимальное значение  $pl_y$  при достижении кораблем прямой посадки (когда  $\theta = \theta_0$ ). <sup>4)</sup> В исходном положении корабля.

А из рис. 4 непосредственно видно, что, несмотря на соотношение  $h_2 > h_1$ , плечо восстанавливающего момента у второго корабля будет меньше, чем у первого

$$h_2 \sin \theta_2 < h_1 \sin \theta_1. \tag{26}$$

Уменьшение плеча у второго корабля обусловлено смещением его ЦТ параллельно палубе ближе к линии действия силы Архимеда. И здесь опять возникает кажущееся противоречие: метацентрическая высота у второго корабля больше, чем у первого, но несмотря на это развиваемый вторым кораблем восстанавливающий момент оказывается меньше.

Однако соотношение (26) совсем не означает, что для рассматриваемого наклонения кораблей остойчивость второго корабля меньше, чем первого, как это утверждалось в цитатах [2, с. 199; 3, с. 165], приведенных во «Введении». В данном случае кренящие моменты  $M_{кр1}$  и  $M_{кр2}$ , действующие на корабли, и углы  $\theta_1$  и  $\theta_2$

их поворота под действием таких моментов будут разными. Так что данный случай не подпадает под литеры А и Б пункта 1, и поэтому остойчивость кораблей при таком наклонении сравнивать нельзя.

То же самое относится к наклонению кораблей на противоположный – левый – борт до одинакового положения. Отличием здесь будет только обратное соотношение между восстанавливающими моментами

$$Dh_2 \sin \theta_2 > Dh_1 \sin \theta_1, \quad (27)$$

при том, что по абсолютной величине  $\theta_2 = \theta_0 + \theta_1$ .

Поскольку  $h_2 > h_1$ , то может показаться, что из этого неравенства следует соотношение (27). То есть благодаря большей метацентрической высоте у второго корабля он имеет больший восстанавливающий момент, а значит, и лучшую остойчивость по сравнению с первым кораблем. Однако этот вывод будет неправильным, так как остойчивость кораблей при таком наклонении сравнивать нельзя.

### **Заключение**

В настоящей статье, являющейся развитием работы [1], в рамках приемлемости метацентрической формулы исследована модель остойчивости корабля, учитывающая изменение метацентрической высоты при смещении с ДП параллельно палубе его центра тяжести. В результате было установлено, что в рамках такой модели

корабль со смещенным с ДП параллельно палубе центром тяжести действительно проявляет лучшую остойчивость по сравнению с его прямой посадкой, и

это свойство наклоненного корабля не зависит от направления его дальнейшего крена.

Полученный вывод был проанализирован в статье на примерах воздействия на корабль с разной исходной посадкой следующих факторов

одинакового кренящего момента;

поворота корабля на одинаковый угол крена;

переноса параллельно палубе одинакового груза на одинаковое расстояние;

наклонения корабля до одинакового положения.

Для каждого случая были определены метацентрические высоты, углы крена, углы поворота корабля, кренящие и восстанавливающие моменты, и проведено их соответствующее сопоставление. Эти результаты непосредственно поясняют вывод об указанном улучшении остойчивости наклоненного корабля.

Благодаря аналитическому характеру принятой модели остойчивости, происходящему из использования метацентрической формулы, в статье получено аналитическое обоснование всех решений, что удобно для их обобщенного, целостного восприятия.

Результаты проведенного исследования помогают составить более обстоятельное представление об остойчивости корабля на малых углах крена, а точнее на углах, которые для данного корабля позволяет рассматривать метацентрическая формула. Такие углы в зависимости от обводов корабля могут принимать и конечные значения, что для использованной здесь модели остойчивости будет предпочтительнее. И наоборот, следует иметь в виду, что изменение метацентрической высоты, рассмотренное в принятой модели, становится исчезающее малым при уменьшении крена корабля. Поэтому, если метацентрическая формула допускает лишь небольшие углы крена, что характерно для многих современных судов, то исследованная модель будет приводить к теории начальной остойчивости в её традиционном смысле.



### Список литературы

1. Ковалев А.Н., Ковалев Ф.Н. Методические заметки к начальной остойчивости корабля при перемещении груза по его палубе // Научные проблемы водного транспорта. 2023. № 76. С. 15 – 31. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi76.385>.
2. Дорогостайский Д.В., Жученко М.М., Мальцев Н.Я. Теория и устройство судна. Л.: Судостроение, 1976. 416 с.
3. Сизов В.Г. Теория корабля. О.: Феникс; М.: ТрансЛит, 2008. 464 с.
4. Справочник по теории корабля: В трех томах. Том 2. Статика судов. Качка судов / Под ред. Я.И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. 440 с.
5. Семенов-Тянь-Шанский В.В. Статика и динамика корабля. Л.: Судпромгиз, 1960. 576 с.

### References

1. Kovalev A.N., Kovalev F.N. Metodicheskie zametki k nachal'noi ostoichivosti korablya pri peremeshchenii gruzа po ego palube [Methodical notes to the initial stability of the ship when moving cargo on its deck] Russian Journal of Water Transport. 2023. № 76, pp. 15 – 31. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi76.385>.
2. Dorogostaiskii D.V., Zhuchenko M.M., Mal'tsev N.Ya. Teoriya i ustroistvo sudna [Theory and design of the vessel]. L.: Sudostroenie, 1976. 416 p. (In Russ.).
3. Sizov V.G. Teoriya korablya [Theory of the ship]. O.: Feniks; M.: TranSLit, 2008. 464 p. (In Russ.).
4. Spravochnik po teorii korablya: V trekh tomakh. Tom 2. Statika sudov. Kachka sudov [Hand-book of Ship Theory: In three volumes. Volume 2. Ship statics. Tossing of ships] / Pod red. Ya.I. Voitkunsogo. L.: Sudostroenie, 1985. 440 p. (In Russ.).
5. Semenov-Tyan-Shanskii V.V. Statika i dinamika korablya [Statics and dynamics of the ship].L.: Sudpromgiz, 1960. 576 p. (In Russ.).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ковалев Александр Николаевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Гидро-аэродинамика, прочность машин и сопротивление материалов» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24, e-mail: [kovalev@nntu.ru](mailto:kovalev@nntu.ru)

**Aleksandr N. Kovalev**, Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department «Hydro-aerodynamics, strength of machines and resistance of materials», Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseyev, 24, Minin str., Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: [kovalev@nntu.ru](mailto:kovalev@nntu.ru)

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

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

Статья поступила в редакцию 12.10.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 12.10.2023; published online 20.03.2024

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi78.455

## **Разработка математической модели и алгоритма определения последовательности дефектации корпуса судна**

**Ю.А. Кочнев**

*ORCID: 0000-0002-6864-4473*

**И.Б. Кочнева**

*ORCID: 0000-0002-5612-3742*

**О.К. Зяблов**

*ORCID: 0000-0002-2981-779X*

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

**Аннотация:** Трудоемкость процесса дефектации корпуса, состоящую, в общем случае, из работ, выполняемых непосредственно на судне, и оформления итогового отчёта, можно снизить за счёт применения современных методов компьютерного анализа данных. Последовательность замеров дефектов на судне (остаточных толщин, деформаций, цементных и иных заделок, трещин, пробоин) можно обосновать решением изменённой задачи коммивояжёра, отражающей оптимизацию пути между точками в пространстве, с функцией цели в виде затраченного конечного времени, являющегося суммой времени на выполнение непосредственно замеров, перемещение между точками таких замеров, различные технические работы, например, установка лестницы для доступа в область расположенную выше человеческого роста и её передвижение в нужный сектор работ. В статье разработана математическая модель движения человека в пространстве вокруг судна и алгоритм движения. Приведена адаптация генетического алгоритма для рассматриваемой задачи, включающая особенности кодирования решения, скрещивания и мутации решений, выбора наилучшего варианта. Полученные результаты тестового отладочного моделирования для носовой части корпуса речного толкача, показали работоспособность разработанного алгоритма и возможность его применения для исследовательских и практических задач.

**Ключевые слова:** оптимизация, дефектация, генетический алгоритм, остаточные толщины.

## **Development of a mathematical model and algorithm for the sequence of fault detection of the ship's hull**

**Yuri A. Kochnev**

*ORCID: 0000-0002-6864-4473*

**Irina B. Kochneva**

*ORCID: 0000-0002-5612-3742*

**Oleg K. Zyablov**

*ORCID: 0000-0002-2981-779X*

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

**Abstract:** The labor intensity of the hull fault detection process, which generally consists of work performed directly on the vessel and the preparation of the final report, can be reduced through the use of modern methods of computer data analysis. The sequence of measurements of defects on the vessel (residual thicknesses, deformations, cement and other sealings, cracks, holes) can be justified by solving a modified travelling salesman problem, reflecting the optimization of the path between points in space, with the goal function in the form of the spent finite time, which is the sum of the time for performing the measurements

themselves, moving between the points of such measurements, various technical works, for example, installing a ladder for access to the area located above human height and its movement to the right sector of work. The article develops a mathematical model of human motion in the space around the vessel, an algorithm of movement. The adaptation of the genetic algorithm for the problem under consideration is given, including the features of solution coding, crossing and mutation of solutions, and choosing the best option. The results of the test debugging simulation for the bow part of the river towboat hull showed the operability of the developed algorithm and the possibility of its application for research and practical tasks.

**Keywords:** optimization, fault detection, genetic algorithm, residual thicknesses.

### **Введение**

Дефектация корпуса сложный и трудоёмкий процесс, требующий больших затрат времени, одну из основных частей которого занимают замеры остаточных толщин и размеров дефектов. Для судов с большими габаритами, особенно с высоким бортом, чтобы добраться до большинства необходимых точек замера необходимо использовать средства подмачивания, перемещать их вокруг корпуса и учитывать требования техники безопасности при их использовании. Задача может быть осложнена тем, что для единичного замера необходимо перемещение лестницы вдоль всего судна, а при случайной последовательности замеров, таких «пустых» переходов может быть достаточное количество, что, в конечном счете, существенно увеличивает время дефектации.

При отсутствии четкой системы последовательности измерений, а соответственно движения по корпусу судна, высока вероятность пропуска ряда контрольных точек и необходимость возврата к ним после анализа выполненных результатов и обнаружения недостатка данных. Бесспорно, это справедливо в том случае, если дефектация выполняется в соответствии с методиками Классификационного общества.

Снизить наличие ошибок и заявленные затраты времени возможно предварительным построением плана последовательности работ, который может быть обоснован решением комбинаторной задачи коммивояжера [1, 2] – нахождение траектории движения по корпусу судна для выполнения всего объема замеров, обеспечивающей минимальное время, затрачиваемое на дефектацию.

Для достижения указанной цели необходимо построить математическую модель замеров, структурирующую отдельные составляющие общего технологического процесса, адаптировать один из численных методов решения задачи и разработать алгоритм и программное обеспечение определения последовательности движения специалиста по дефектации.

Решение данной задачи рассмотрено только на замерах остаточных толщин, без оценки других дефектов корпуса, поскольку в большинстве случаев, основываясь на опыте выполнения подобных работ, они выделяются в отдельные однотипные этапы.

### **Методы**

Общее время, затраченное специалистом по дефектации на выполнение всех замеров, может быть записано как совокупность отдельных временных промежутков

$$T = \sum_{i=1}^{n_A} t_i,$$

где  $n_A$  – число точек замера;

$t_i$  – время, затрачиваемое на замер одной точки, определяемое как

$$t_i = t_3 + t_{\text{тех}},$$

где  $t_3$  – время на непосредственный замер и фиксацию результатов, с;  
 $t_{\text{тех}}$  – техническое время для доступа к точке замера, равно

$$t_{\text{тех}} = t_{\text{мон}} + t_{\text{л}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{под}} + t_{\text{сп}}$$

$t_{\text{мон}}$  – время на монтаж и демонтаж лестницы, с;

$t_{\text{л}}$  – время, затраченное на перемещение лестницы от точки, где она находится до точки замера, с;

$t_{\text{пер}}$  – время перемещения между точками замера, с;

$t_{\text{под}}$  – время подъёма по лестнице на необходимую высоту, с;

$t_{\text{сп}}$  – время спуска по лестнице, с.

Точки, которые должны быть замерены, составляют вектор  $A = \{x_i, y_i, z_i\}$ , где  $x, y, z$  – координаты точек в системе координат, жёстко связанной с судном.

При дефектации судно размещается в доке или на ремонтной площадке и устанавливается на кильблочных тумбах или клетках, высотой  $h_{\text{тумб}}$ .

Движение человека около судна, за исключением замеров точек днища, возможно по замкнутой, симметричной относительно ДП судна траектории, то есть вне области  $S$ , ограниченной уравнением

$$D = \pm y_{\text{дв}}(x).$$

Время подъёма и спуска по лестнице определяется соответственно

$$t_{\text{под}} = \Delta h \times v_{\text{под}},$$

$$t_{\text{сп}} = \Delta h \times v_{\text{сп}},$$

а перемещение самой лестницы и перемещение между точками будет равно

$$t_{\text{л}} = \Delta l_{\text{л}} \times v_{\text{л}},$$

$$t_{\text{пер}} = \Delta l_{\text{пер}} \times v_{\text{пер}} \times k_{\text{пер}},$$

где  $v_{\text{под}}, v_{\text{сп}}, v_{\text{л}}, v_{\text{пер}}$  – скорость подъёма и спуска по лестнице, её перемещения и передвижение без лестницы, м/с;

$\Delta h$  – изменение высоты перемещения по лестнице, м;

$k_{\text{пер}}$  – коэффициент, учитывающий увеличение времени на перемещение к труднодоступной точке, находящейся под днищем судна;

$\Delta l_{\text{л}}, \Delta l_{\text{пер}}$  – горизонтальное расстояние переноса лестницы и перемещения специалиста по дефектации соответственно, м:

$$\Delta l_i = \begin{cases} \sqrt{(x'_0 - x'_1)^2 + (y'_0 - y'_1)^2} \text{ при } (x'_0, y'_0) \notin S \wedge (x'_1, y'_1) \notin S \\ \Delta l' + \min \left\{ \begin{array}{l} \int_{x'_0}^{x_1} \sqrt{1 + \left[ \frac{d}{dx} y_{\text{дв}}(x) \right]^2} dx \\ \int_{x_1}^{x'_0} \sqrt{1 + \left[ \frac{d}{dx} y_{\text{дв}}(x) \right]^2} dx \end{array} \right\} \text{ при } (x'_0, y'_0) \in S \vee (x'_1, y'_1) \in S \end{cases},$$

$x'_0, y'_0$  – координаты начальной точки перемещения;

$x'_1, y'_1$  – координаты конечной точки перемещения;

$\Delta l'$  – расстояние от точек с координатами  $(x'_0, y'_0)$  и  $(x'_1, y'_1)$  до кривой  $D$ .

Положение специалиста по дефектации в пространстве определяется точкой  $F = \{x_{\text{д}}, y_{\text{д}}, z_{\text{д}}\}$ , а лестницы в области судна точкой  $L = \{x_{\text{л}}, y_{\text{л}}\}$ .

Замер в точке возможен, если она попадает в область действия специалиста по дефектации  $S_d$ , то выполняется условие

$$\begin{cases} (x - x_d)^2 + (y - y_d)^2 = \Delta x_d^2 & \text{при } z_3 \leq h_d \\ (x - x_d)^2 + (y - y_d)^2 + (z - [z_d + h_d])^2 = \Delta x_d^2 & \text{при } z_3 > h_d \end{cases}$$

где  $z_3$  – аппликата точки замера относительно координат специалиста по дефектации

$$z_3 = z_i + h_{\text{тумб}} - z_d$$

$\Delta x_d$  – максимальное плечо в горизонтальной плоскости, на котором может работать специалист по дефектации, м;

$h_d$  – высота специалиста по дефектации.

Необходимость использования лестниц или перемещения может возникнуть в случае, если точка замера не принадлежит зоне работы специалиста по дефектации  $A_i \notin S_d$ .

Алгоритм расчёта общего времени дефектации представлен блок-схемой (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема расчёта времени дефектации

Следует отметить особенности блока 5, приведённой блок-схемы, то есть определение точки, в которую должен переместиться специалист. Так как конечной целью является снижение времени, затраченного на дефектацию, очевидно, что необходимо снизить время на перемещения специалиста по дефектации между точками, то есть возможность замера из одного положения нескольких дефектов. Наиболее простым перемещением можно считать переход в точку, являющуюся проекцией на плоскость точки замера  $x_{dj} = x_i, y_{dj} = y_i$ , однако в большинстве случаев это не обеспечивает попадание точки  $i + 1$  область  $S_d$ . Поэтому такое решение принимается только в случае, если невозможен замер из среднего положения с координатами

$$x_{dj} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}, y_{dj} = \frac{y_i + y_{i+1}}{2}.$$

Так же считаем, что оператор может визуально, находясь в начальной точке  $(x_{д0}, y_{д0}, z_{д0})$ , определить необходимость нового положения лестницы, то есть он не делает перемещение и попытку замера, а сразу двигается за лестницей.

При проведении замеров в блоке 4 и расчёте времени, затраченном на это, так же учтено, что точка, находящаяся на значительном расстоянии требует больших затрат

$$t_3 = \begin{cases} t_{30} & \text{при } l_3 \leq 0,5\Delta x_d \\ t_{30} \times \left[ 1 + dt \left( \frac{\Delta x_d}{l_3} - 0,5 \right) \right] & \text{при } l_3 > 0,5\Delta x_d \end{cases}$$

где  $l_3$  – расстояние между специалистом по дефектации и точкой замера;  
 $dt$  – коэффициент, увеличивающий долю времени на дальний замер.

Конечное время будет определять последовательность обхода всех точек, количество вариантов которого составляет  $(n_d - 1)!$ . Даже для относительно небольшого судна с длиной порядка 30 метров, необходимое число точек замеров составляет более 100. Поиск наилучшего пути относится к классу NP-полных задач и решается одним из эвристических методов [1, 3, 4, 5 и др.]. Для реализации разработанной модели применён генетический алгоритм [6], с блок-схемой, приведённой на рисунке 2.



Рис. 2. Блок-схема адаптации генетического алгоритма

Начальные варианты обхода точек замера (блок 1) формируются в вектор  $P$  генерацией случайной последовательности неповторяющихся цифр  $a_i$  от 1 до  $n_A$ . Расчёт времени дефектации в блоках 2 и 6 выполняется по приведённому на рисунке 1 алгоритму. Наилучшие результаты решения, отбираются в массив  $R$  по алгоритму «колеса рулетки» [7] с заданной вероятностью  $r$ .

Рекомбинация полученных «лучших» решений и получение нового вектора обхода  $P'$  выполняется с помощью упорядоченного односточечного кроссовера с позицией обмена, вычисленной с вероятностью  $p$

$$R_1 = \{a_{1,1}, a_{2,1}, a_{3,1} \dots a_{n_{a-2},1}, a_{n_{a-1},1}, a_{n_a,1}\}$$

$$R_2 = \{a_{1,2}, a_{2,2}, a_{3,2} \dots a_{n_{a-2},2}, a_{n_{a-1},2}, a_{n_a,2}\}$$

$$P'_1 = \{a_{1,1}, a_{2,1}, a_{3,1} \dots a_{n_{a-2},2}, a_{n_{a-1},2}, a_{n_a,2}\}$$

$$P'_2 = \{a_{1,2}, a_{2,2}, a_{3,2} \dots a_{n_{a-2},1}, a_{n_{a-1},1}, a_{n_a,1}\},$$

где  $a_{i,j}$  – значение  $i$ -го гена для  $j$ -той хромосомы

Случайное изменение последовательности обхода (блок 6) происходит перестановкой точек с вероятностью  $\alpha$ . Критерием остановки алгоритма выбрано вырождение популяции более чем на  $\gamma\%$ , что при обоснованном выборе величины  $\alpha$ , происходит со скоростью, достаточной для отыскания наилучшего решения.

Реализация разработанной модели и алгоритмов в виде программного комплекса приведена на рисунке 3.

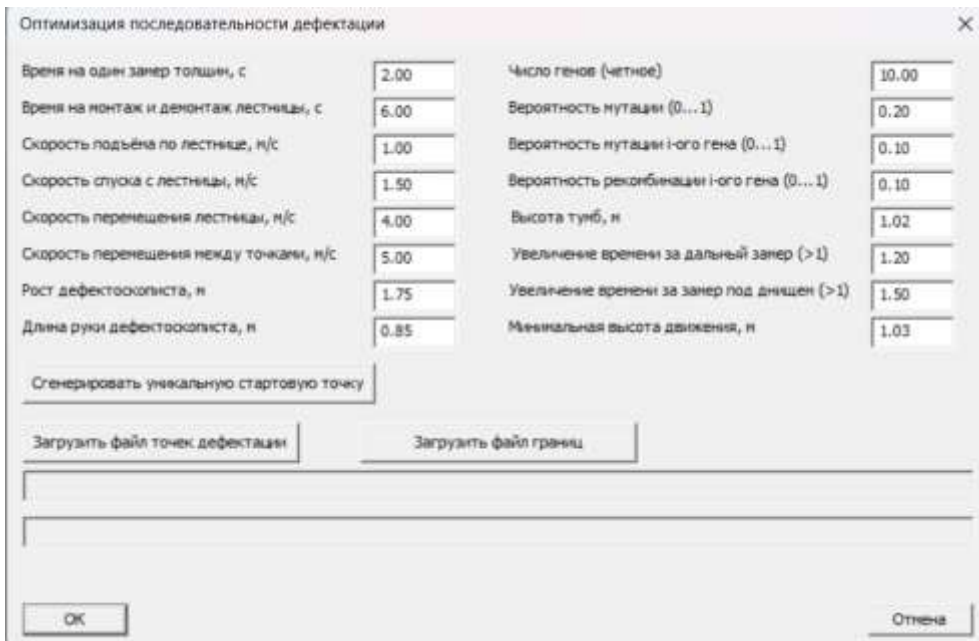


Рис. 3. Окно ввода исходных данных для расчёта последовательности дефектации

### Результаты

Отработка алгоритма и программы выполнена для носовой части корпуса толкача проекта Р-45Б, длиной 32м, шириной 7,5 м, высотой борта 2,7 м. Расположение листов наружной обшивки приведено на рисунке 4.

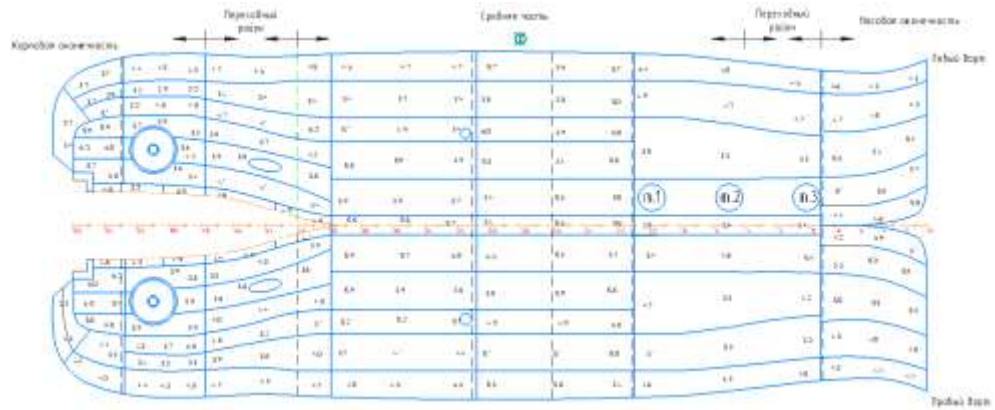


Рис. 4. Растяжка наружной обшивки толкача проекта Р-45Б

Точки обхода в системе координат судна приведены в таблице 1, а результаты оптимизации последовательности обхода данных точек представлены на рисунке 5.

Таблица 1

Координаты точек замеров остаточных толщин

Наименование листа	1 точка			2 точка			3 точка		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1 сечение от миделя в нос, левый борт (ЛБ), 1 лист от главной палубы (ГП)	-2250	-3750	2320	1340	-3750	2320	2160	-3750	2320
2	-2250	-3750	1305	1340	-3750	1305	2160	-3750	1305
3	-2250	-3500	350	1340	-3500	350	2160	-3500	350
4	-2250	-2450	0	1340	-2450	0	2160	-2450	0
5	-2250	-875	0	1340	-875	0	2160	-875	0
киль	-2250	0	0	1340	0	0	2160	0	0
Правый борт (ПрБ) 5	-2250	875	0	1340	875	0	2160	875	0
4	-2250	2450	0	1340	2450	0	2160	2450	0
3	-2250	3500	350	1340	3500	350	2160	3500	350
2	-2250	3750	1305	1340	3750	1305	2160	3750	1305
1	-2250	3750	2320	1340	3750	2320	2160	3750	2320
2 сечение от миделя в нос, ЛБ, 1 лист от ГП	5130	-3750	2600	7760	-3750	2600	10390	-3750	2600
2	5130	-3750	1600	7760	-3500	1600	10390	-3350	2000
3	5130	-3500	550	7760	-3300	1120	10390	-2090	930
4	5130	-2490	210	7760	-2400	730	10390	-2090	930
5	5130	-1160	0	7760	-1160	0	10390	-1160	130
киль	5130	0	0	7760	0	0	10390	0	0
ПрБ 5	5130	1160	0	7760	1160	0	10390	1160	130
4	5130	2490	210	7760	2400	730	10390	2090	930



Наименование листа	1 точка			2 точка			3 точка		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
3	5130	3500	550	7760	3300	1120	10390	2090	930
2	5130	3750	1600	7760	3500	1600	10390	3350	2000
1	5130	3750	2600	7760	3750	2600	10390	3750	2600
3 сечение от миделя в нос, ЛБ, 1 лист от ГП	11750	-3750	2600	13100	-3500	2600	14600	-3200	2600
2	11750	-3300	1820	13100	-3450	2100	14600	-3050	2210
3	11750	-1650	860	13100	-1750	1450	14600	-2150	1630
4	11750	-730	300	13100	-850	800	14600	-600	950
киль	11750	0	0	13100	0	300	14600	0	600
ПрБ 4	11750	730	300	13100	850	800	14600	600	950
3	11750	1650	860	13100	1750	1450	14600	2150	1630
2	11750	3300	1820	13100	3450	2100	14600	3050	2210
1	11750	3750	2600	13100	3500	2600	14600	3200	2600

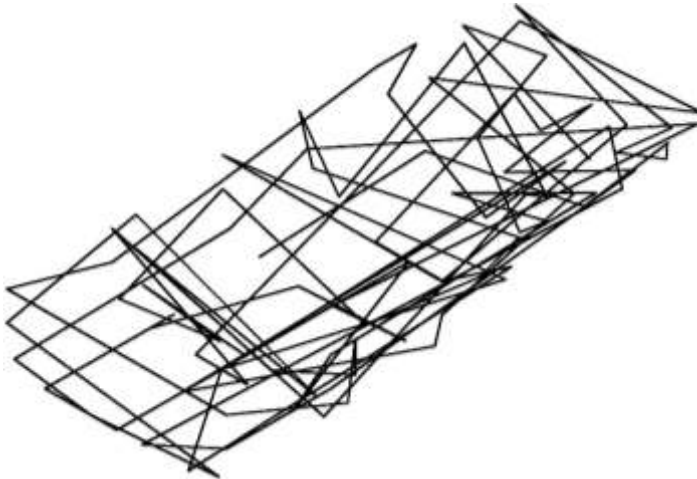


Рис. 5. Визуализация результатов расчёта

### Обсуждение

Анализ результатов расчёта показывает, что разработанный алгоритм стремится проводить замеры по отдельным сечениям, а не по одному борту, что на наш взгляд связано с относительно малой шириной судна и не высокой сложностью «переходов» под днищем судна.

Наличие ломаных переходов объясняется чувствительностью принятого генетического алгоритма оптимизации к параметрам оптимизационного алгоритма, таким как, вероятность скрещивания особей (вариантов расположения помещений), вероятности мутации как особи в целом, так и отдельных генов.

Так же следует отметить, что большое количество горизонтальных переходов имеется в области, где абсциссы сечений замера находятся в пределах досягаемости специалиста по дефектации из одного центрального положения.

Повышение точности конечного результата требует дополнительного исследования принятых параметров модели: скорости движения человека с

лестницей, без лестницы, под корпусом, подъема и спуска, времени одного замера, монтажа и демонтажа лестницы.

### **Заключение**

Разработанная математическая модель, алгоритм и программа могут быть использованы для нахождения оптимальной траектории перемещения специалиста и, как следствие, анализа необходимого времени на проведение замеров непосредственно на судне. Это особенно актуально в условиях сжатых сроков судоремонта, например, судов смешанного (река-море) плавания, у которых нет зимнего отстоя, и работа осуществляется круглогодично.

Отдельный интерес представляет исследование влияния применяемых средств технического оснащения (толщиномеры с пьезоэлектрическими преобразователями, электромагнитно-акустические толщиномеры, роботы [8, 9]), результаты которого, в конечном счёте, могут быть применены для нормирования и оценки стоимости работ по дефектации [10].

### **Список литературы**

1. Курейчик, В. М. Решения задачи коммивояжера с применением генетического оператора старения / В. М. Курейчик, Л. Р. Гогохия // Труды Международного научно-технического конгресса "Интеллектуальные системы и информационные технологии - 2020": Научное издание: в 2-х томах, Дивноморское, 02–08 сентября 2020 года. Том 1. – Дивноморское: Издательство Ступина С.А., 2020. – С. 7-17.
2. Куринная, А. А. Практическое применение алгоритма решения задачи коммивояжера / А. А. Куринная, И. В. Федоров // Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2021. – Т. 8, № 2. – С. 12-17. – DOI 10.25206/2311-4908-2021-8-2-12-17.
3. Вершинин, В. Я. Комбинаторный метод решения задачи коммивояжера Задача коммивояжера / В. Я. Вершинин, Т. Ф. Бурухина // Ученые записки Российского государственного социального университета. – 2008. – № 6(62). – С. 135-141.
4. Сервах, В. В. Задача коммивояжера на ленточных графах / В. В. Сервах // Управляемые системы. – 1988. – № 28. – С. 45-55.
5. Шарова, К. Ю. Сравнительный анализ трех алгоритмов роевого интеллекта на примере решения задачи коммивояжера / К. Ю. Шарова, О. В. Авсеева // Информационные технологии моделирования и управления. – 2023. – Т. 132, № 2. – С. 103-109.
6. Зуева, В. Н. Применение генетического алгоритма для решения задачи коммивояжера / В. Н. Зуева, М. В. Пацуков // Передовые технологические разработки: перспективы внедрения в производство и эффективность, Армавир, 21–22 апреля 2023 года. – Армавир: Юконф, 2023. – С. 96-99.
7. Михайлова, А. Н. Использование метода колеса рулетки при решении задачи маршрутизации с помощью генетического алгоритма / А. Н. Михайлова // Вестник науки. – 2020. – Т. 1, № 5(26). – С. 88-91.
8. Зяблов, О. К. Роботизированная дефектация корпусов судов / О. К. Зяблов, Ю. А. Кочнев // 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. 26.
9. Зяблов, О. К. Автоматизированное формирование отчёта по дефектации судна с использованием графо-математической модели корпуса / О. К. Зяблов, Ю. А. Кочнев, И. Б. Кочнева // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – № 59. – С. 62-69.
10. Михеева Т.А. Влияние качества подготовки производства на судостроительном предприятии на качество выпускаемой продукции /Т.А. Михеев, И.Н. Лучков, Е.Г. Бурмистров // Научные проблемы водного транспорта. - 2018. - №56. - С. 55 - 64.

### **References**

1. Kureichik, V. M. Resheniya zadachi kommivoyazhera s primeneniem geneticheskogo operatora stareniya / V. M. Kureichik, L. R. Gogokhiya // Trudy Mezhdunarodnogo

- nauchno-tehnicheskogo kongressa "Intellektual'nye sistemy i informatsionnye tekhnologii - 2020": Nauchnoe izdanie: v 2-kh tomakh, Divnomorskoe, 02–08 sentyabrya 2020 goda. Tom 1. – Divnomorskoe: Izdatel'stvo Stupina S.A., 2020. – S. 7-17.
2. Kurinnaya, A. A. Prakticheskoe primeneniye algoritma resheniya zadachi kommivoyazhera / A. A. Kurinnaya, I. V. Fedorov // Prikladnaya matematika i fundamental'naya informatika. – 2021. – T. 8, № 2. – S. 12-17. – DOI 10.25206/2311-4908-2021-8-2-12-17.
  3. Vershinin, V. YA. Kombinatornyi metod resheniya zadachi kommivoyazhera Zadacha kommivoyazhera / V. YA. Vershinin, T. F. Burukhina // Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo sotsial'nogo universiteta. – 2008. – № 6(62). – S. 135-141.
  4. Servakh, V. V. Zadacha kommivoyazhera na lentochnykh grafakh / V. V. Servakh // Upravlyaemye sistemy. – 1988. – № 28. – S. 45-55.
  5. Sharova, K. YU. Sravnitel'nyi analiz trekh algoritmov roevogo intellekta na primere resheniya zadachi kommivoyazhera / K. YU. Sharova, O. V. Avseeva // Informatsionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya. – 2023. – T. 132, № 2. – S. 103-109.
  6. Zueva, V. N. Primeneniye geneticheskogo algoritma dlya resheniya zadachi kommivoyazhera / V. N. Zueva, M. V. Patsukov // Peredovye tekhnologicheskie razrabotki: perspektivy vnedreniya v proizvodstvo i ehffektivnost', Armavir, 21–22 aprelya 2023 goda. – Armavir: Yukonf, 2023. – S. 96-99.
  7. Mikhailova, A. N. Ispol'zovanie metoda kola ruletki pri reshenii zadachi marshrutizatsii s pomoshch'yu geneticheskogo algoritma / A. N. Mikhailova // Vestnik nauki. – 2020. – T. 1, № 5(26). – S. 88-91.
  8. Zyablov, O. K. Robotizirovannaya defektatsiya korpusov sudov / O. K. Zyablov, YU. A. Kochnev // Velikie reki - 2020: Trudy 22-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma, Nizhnii Novgorod, 27–29 maya 2020 goda. – Nizhnii Novgorod: Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta, 2020. – S. 26.
  9. Zyablov, O. K. Avtomatizirovannoe formirovaniye otcheta po defektatsii sudna s ispol'zovaniem grafo-matematicheskoi modeli korpusa / O. K. Zyablov, YU. A. Kochnev, I. B. Kochneva // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. – 2019. – № 59. – S. 62-69.
  10. Mikheeva T.A. Vliyaniye kachestva podgotovki proizvodstva na sudostroitel'nom predpriyatii na kachestvo vypuskaemoi produktsii / T.A. Mikheev, I.N. Luchkov, E.G. Burmistrov // Nauchnye problemy vodnogo transporta. - 2018. - №56. - S. 55 - 64.

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

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

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

**Зяблов Олег Константинович**, к.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: zyablov\_ok@mail.ru

**Yuri A. Kochnev**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of design and construction of ships, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

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

**Oleg K. Zyablov**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of design and construction of ships, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Статья поступила в редакцию 12.01.2024; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 12.01.2024; published online 20.03.2024

УДК 504.054; 656.6  
DOI: 10.37890/jwt.vi78.412

## **Влияние скорости судна-сборщика на эффективность работы системы сбора судовых отходов**

**М.С. Манакова<sup>1</sup>**  
**С.В. Васькин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

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

**Аннотация.** Внесудовая очистка судовых отходов является одним из способов обеспечения экологической безопасности при эксплуатации судов. Сточные и нефтесодержащие воды, образующиеся на судне, передаются на береговые природоохранные сооружения с помощью судна-сборщика. При рассмотрении такого способа обеспечения экологической безопасности судоходства возникает ряд вопросов, связанных с оптимизацией работы такой системы. В данной статье рассмотрено влияние средней скорости судна-сборщика на работу внесудовой системы сбора судовых отходов. Для решения такой задачи была разработана численная модель данной системы, которая сочетает в себе элементы вероятностного и имитационного моделирования. Было выявлено незначительное влияние скорости судна-сборщика на эффективность работы данной системы. В результате моделирования работы системы сбора судовых отходов посредством судна-сборщика можно сказать о том, что высокие скорости судна-сборщика при обслуживании судов не требуются.

**Ключевые слова:** внесудовая очистка, судовые отходы, экологическая безопасность, скорость судна, судно-сборщик

## **Influence of the collecting vessel speed on the efficiency of the ship waste collection system**

**Margarita S. Manakova<sup>1</sup>**  
**Sergey V. Vas'kin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of applied physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

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

**Abstract.** Off-vessel treatment of ship-generated waste is one of the ways to ensure environmental safety in ship operation. Sewage and oily waters generated on the vessel are transferred to coastal environmental protection facilities with the help of a collecting vessel. When considering such a way of ensuring environmental safety of shipping, a number of issues arise related to the optimization of the operation of such a system. In this article, the influence of the average speed of the collecting vessel on the operation of the off-ship waste collection system is considered. To solve this problem, a numerical model of this system was developed, that combines elements of probabilistic and simulation modeling. Negligible effect of the collecting vessel speed on the performance of this system was determined. As a result of the modeling of the ship waste collection system operation with the help of a collection vessel, we can state that high speeds of the collecting vessel are not required in the ship maintenance.

**Keywords:** off-ship cleaning, ship waste, environmental safety, ship speed, collecting vessel

## **Введение**

При эксплуатации судов образуются различного рода отходы, которые могут негативно влиять на окружающую среду. Для обеспечения экологической безопасности судов применяются два основных способа избавления от образующихся на судне загрязнений: обработка непосредственно на борту судна и передача на внесудовые водоохранные средства [1, 2, 3].

Первый способ предполагает применение специальных судовых установок для очистки сточных и нефтесодержащих вод (СВ и НВ) с последующим сбросом их за борт. Данный способ получил распространение преимущественно на судах, эксплуатируемых в морских районах, поскольку такие суда часто совершают длительные рейсы, когда нет возможности сдать накопленные отходы или заход в порт специально для этих целей экономически нецелесообразен.

Второй способ получил распространение, на внутренних водных путях, где сдача судами СВ и НВ обычно не представляет серьезной проблемы ввиду наличия достаточного количества береговых приемных сооружений. В этом случае сдача отходов на берег оказывается выгоднее установки и эксплуатации на судне сложного и дорогостоящего водоочистного оборудования. Поэтому речные суда чаще всего накапливают и хранят сточные и нефтесодержащие воды в сборных цистернах и периодически сдают данные отходы на внесудовые водоохранные средства, находящиеся в районе эксплуатации. [4, 5, 6, 7, 8].

К внесудовым природоохранным техническим средствам относят целый комплекс средств, которые обеспечивают сбор, транспортировку, временное хранение и очистку воды от загрязнений [9, 10, 11, 12, 13].

Важнейшим элементом такого комплекса является судно-сборщик. Преимущество использования судов-сборщиков заключается в возможности обслуживать суда, стоящие на рейде, а также на значительном удалении от него, обеспечивать подход к судам, для которых подход к берегу недоступен. В 1970-80-х годах в нашей стране была построена серия специализированных речных судов, предназначенных для сбора судовых отходов. Сегодня, в связи с износом, большинство из них выведено из эксплуатации, и в качестве судов-сборщиков часто используются переоборудованные суда [14, 15].

Совокупность транспортных судов, судов-сборщиков, осуществляющих процесс приема СВ и НВ в речном порту с последующей передачей этих отходов на береговые природоохранные сооружения и внесудовых природоохранных средств, представляет собой систему, обеспечивающую экологическую безопасность на внутренних водных путях [15]. Оптимальность функционирования такой системы зависит как от интенсивности судоходства в рассматриваемом районе водных путей, так и от количества и характеристик судов-сборщиков. Одной из таких характеристик является эксплуатационная скорость судов-сборщиков, влияющая на время их перемещения от мест базирования до обслуживаемых судов и береговых пунктов приема отходов.

В данной статье оценивается влияние скорости хода судна-сборщика на максимальный поток судов, проходящих мимо порта, часть из которых подает заявки на сдачу СВ и НВ.

Материалы и методы

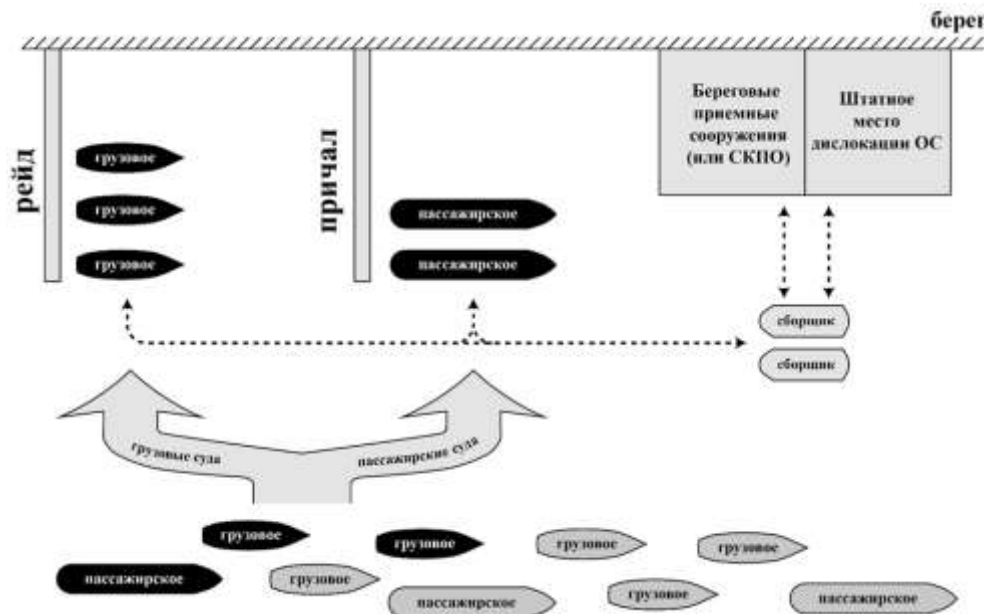


Рис. 1. Упрощённая схема движения судов с целью сдачи накопившихся отходов

Введем параметр «поток судов», который представляет собой суда, проходящие мимо порта, часть из которых заходит в порт для сдачи накопившихся отходов.

Поток судов, следующих по реке, состоит из грузовых и пассажирских судов. Часть судов (обозначены чёрным цветом на рис. 1) заходит в порт с целью сдачи отходов. Грузовые суда встают на рейд, а пассажирские подходят к причалу. Судно-сборщик дислоцируется в определённом месте акватории порта – рядом с береговыми приёмными сооружениями. Судно-сборщик находится в режиме ожидания обслуживания до тех пор, пока не появится хотя бы одно судно, которому необходимо сдать накопившиеся отходы. Далее судно-сборщик следует к нему. В зависимости от ранее указанных типов обслуживаемых судов судно-сборщик движется либо к причалу, либо к рейду. Затем судно-сборщик пришвартовывается к обслуживаемому судну, чтобы обеспечить приём отходов и проводит прочие сопутствующие операции, которые мы обозначили как вспомогательные операции. Время подобных операций в реальных условиях сильно различается из-за различных типов обслуживаемых судов, применяемого оборудования для приёма судовых отходов, погодных условий и пр. Поэтому было принято решение о введении единой величины этого времени на всём протяжении моделирования процесса сбора судовых отходов.

При приёме отходов с обслуживаемого судна судно-сборщик использует насосы. Приём для сбора СВ пользуется насосами обслуживаемого судна (если таковые имеются), иначе – своими насосами. При приёме НВ судно-сборщик применяет только насосы, установленные на его борту.

Обслуживание судна происходит до тех пор, пока все сдаваемые отходы не будут приняты судном-сборщиком. В порту, на некотором расстоянии от рейда и причала, находятся береговые приёмные сооружения (или суда комплексной переработки отходов (СКПО), которые принимают отходы с судов-сборщиков и занимаются их дальнейшей утилизацией. В данной модели предполагается, что приемные сооружения принимают любое количество СВ и НВ. Длительность такого процесса ограничена по времени работой насосов судна-сборщика.

Модель, которая используется для описания процесса сбора судовых отходов посредством судна-сборщика, сочетает в себе элементы вероятностного и имитационного моделирования, что позволяет определить необходимые характеристики судна-сборщика в зависимости от внешних условий, к которым были отнесены интенсивность судоходства и экологическая характеристика водного пути (ЭХВП<sup>9</sup>) на данном участке внутреннего водного пути и обеспечивает приемлемое значение затрат времени на моделирование данного процесса.

При оценке значимости средней скорости хода судна-сборщика на количество обслуженных судов с помощью разработанной модели помимо самой скорости варьировались такие параметры, как поток судов и расстояния от точек сдачи отходов с грузовых и пассажирских судов до мест дислокации береговых приёмных сооружений. Процент судов, которые сдают отходы из общего потока судов, зависит только от ЭХВП.

В рассматриваемой работе было принято, что все суда, подающие заявки, обслуживаются одним судном-сборщиком. Значение ЭХВП было принято равным 1 сут. При этой величине процент судов, сдающих отходы, был равен 54%.

Поток судов описывается законом Пуассона [15].

Характеристики судна-сборщика принимались по прототипу, в качестве которого было принято специализированное судно проекта 354К, которое довольно распространено на внутренних водных путях [17]:

- объем цистерн СВ – 80 м<sup>3</sup>
- объем цистерн НВ – 40 м<sup>3</sup>
- скорость в грузу – 13,5 км/ч
- производительность насоса СВ – 80 м<sup>3</sup>/час
- производительность насоса НВ – 40 м<sup>3</sup>/час

При моделировании назначалась средняя скорость сборщика с учетом его разгона, торможения и маневрирования.

Важно отметить, что в портах существуют ограничения по скорости судов, особенно в районе их стоянок (см., например, Приказ Минтранса России от 10.07.2013 № 235 (ред. от 18.05.2020)). Поэтому рассматриваемые варианты скорости были ограничены максимальной величиной 15 км/ч.

В связи с вышеизложенным, были рассмотрены следующие варианты скоростей судна-сборщика: 4, 6, 8, 10, 12, 13.5 и 15 км/ч. Первые два варианта, какими бы они малы были, не казались, рассмотрены для того, чтобы продемонстрировать тенденции в полученных результатах.

На основании анализа фактических расстояний между причалами, рейдами и пунктами дислокации судов-сборщиков и береговых приемных сооружений при моделировании были приняты следующие значения:

- до причала 1000, 2000, 4000 м;
- до рейда 2000, 4000, 8000 м.

Суточный баланс времени судна-сборщика складывался из следующих периодов: простоя в ожидании заявки на обслуживание, времени движения к обслуживаемому судну и от него, времени вспомогательных операций, времени обслуживания судна, времени движения от обслуженного судна к пункту дислокации судов-сборщиков для пересменки экипажа, времени движения к береговому пункту для приема отходов (или СКПО) при заполнении цистерн сборщика, времени сдачи сборщиком отходов на берег (или СКПО).

По результатам численного моделирования процесса были построены зависимости максимального потока судов от скорости судна-сборщика (рис. 2) и

---

<sup>9</sup> ЭХВП – минимально допустимая автономность плавания судна, определяемая количеством и дислокацией приёмных устройств в районе предполагаемой эксплуатации судна, в соответствии с которой сопоставляется автономность плавания по нефтесодержащим и сточным водам [16].

количество времени, которое судно проводит в порту при обслуживании от потока судов (рис. 3).

**Результаты и обсуждения**

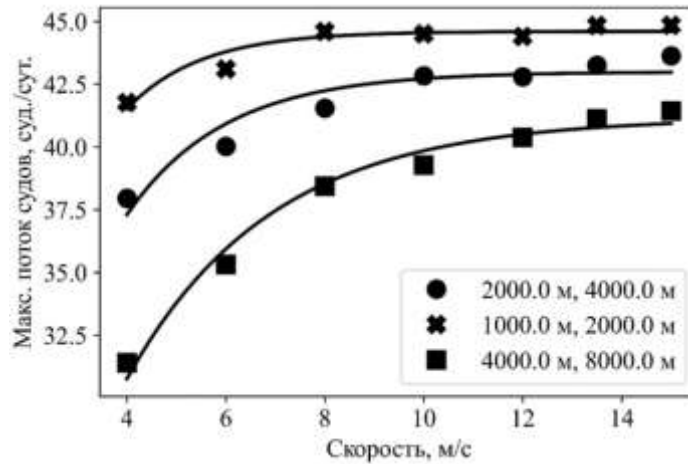


Рис. 2. Зависимость максимального потока судов от скорости судна-сборщика

На рис. 2 представлен основной результат моделирования. По горизонтальной оси отложена скорость судна-сборщика, а по вертикальной – максимальный поток судов, который может обслужить система сбора судовых отходов. Выше этого порога количество сдаваемых отходов превышает возможность их сбора. Маркеры соответствуют расчетным данным, а линии – аппроксимации этих данных. Для аппроксимации использовалась следующая функция:  $a(1 - e^{-bx})$ , где  $x$  – скорость судна-сборщика,  $a, b$  – коэффициенты аппроксимации, равные:

- при расстоянии до причала 2000 м, до рейда 4000 м  $a = 43.0, b = 0.51$ ,
- при расстоянии до причала 1000 м, до рейда 2000 м  $a = 44.6, b = 0.67$ ,
- при расстоянии до причала 4000 м, до рейда 8000 м  $a = 41.2, b = 0.34$ .

На основании результатов, представленных на рис. 2, можно сделать следующие выводы:

- увеличение средней скорости сборщика выше 10 км/ч практически не приводит к увеличению количества обслуженных судов;
- влияние на количество обслуженных судов расстояний, которые проходит сборщик в процессе обслуживания, заметно только при низких его скоростях – до 10 км/ч. При скорости хода сборщика 10 км/ч и выше увеличение проходимых им расстояний в 4 раза ведет к снижению количества обслуженных судов всего примерно на 10%;
- скорость судна-сборщика, при вариации в разумных пределах, не оказывает существенного воздействия на эффективность системы сбора отходов. При уменьшении скорости судна-сборщика с 15 км/ч в 2 раза пропускная способность уменьшится примерно на 5%. При минимально рассматриваемой скорости судна 4 км/ч пропускная способность сокращается примерно на 10-20%.



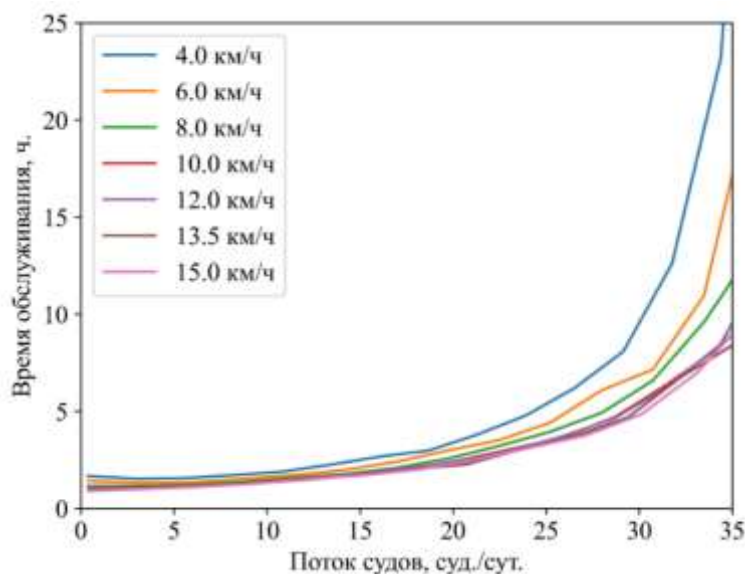


Рис. 3. Зависимость времени обслуживания судна в порту при сдаче накопившихся отходов от потока судов

На рис. 3 показана зависимость среднего времени обслуживания судна в порту при сдаче накопившихся отходов от потока судов, проходящих мимо порта при фиксированных расстояниях до причала 2000 м и до рейда 4000 м. По горизонтальной оси отложен поток судов, а по вертикальной – среднее время обслуживания судов, заходящих в порт. Каждая кривая отвечает своей величине рассматриваемой скорости судна-сборщика. Время обслуживания судна в порту определялось как среднее по всем судам (обслуживаемым) и равняется сумме времени ожидания и времени сдачи отходов. Из рис. 3 видно, что влияние скорости судна-сборщика на время обслуживания судна становится заметным только при приближении потока к максимально принятому и при скоростях хода сборщика до 10 км/ч.

### Заключение

Таким образом, результаты выполненного моделирования позволяют утверждать о том, что при оптимизации работы системы сбора отходов с судов следует рассматривать другие параметры, которые могут являться более значимыми, а среднюю скорость судов-сборщиков при дальнейшем моделировании принимать равной 10 км/ч.

### Список литературы

1. Конвенция МАРПОЛ М. 1978 о предотвращении загрязнения с судов. [Электронный ресурс] //URL: [http://www.conventions.ru/view\\_base.php](http://www.conventions.ru/view_base.php). – 1973. [Дата обращения: 02.02.2023]
2. Zhang S. Chen, J., Wan, Z., Yu, M., Shu, Y., Tan, Z., & Liu, J. . Challenges and countermeasures for international ship waste management: IMO, China, United States, and EU //Ocean & Coastal Management. – 2021. – V. 213. – P. 105836.
3. Argüello G. Environmentally sound Management of Ship Wastes: challenges and opportunities for European ports //Journal of Shipping and Trade. – 2020. – V. 5. – №. 1. – P. 12.
4. Новиков В. К., Мокеров Л. Ф., Дубовицкий В. А. Основы экологической безопасности судоходства. – М.: 2015, 288 с.
5. Зубрилов С.П., Ищук Ю.Г., Косовский В.И. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов/– Л.: Судостроение, 1989. – 256с.

6. Дмитриева М.С., С.В. Васькин. Рекомендации по выбору систем очистки и обеззараживания сточных вод на СКПО // Материалы IX межвузовской научно-практической конференции аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России». Санкт-Петербург. - 2018. – С. 248-252
7. Melnyk O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Lohinov, O., Ocheretna, V., & Dovidenko, Y. Basic aspects ensuring shipping safety //Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska. – 2022.
8. Karakulski K., Gryta M. The application of ultrafiltration for treatment of ships generated oily wastewater //Chemical Papers. – 2017. – V. 71. – P. 1165-1173.
9. Решняк К. В., Посашкова С. Е. Технология внесудовой переработки судовых загрязнений //Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. – 2011. – №. 1 (9)
10. Shu Y., Wang, X., Huang, Z., Song, L., Fei, Z., Gan, L. & Yin, J. et al. Estimating spatiotemporal distribution of wastewater generated by ships in coastal areas //Ocean & Coastal Management. – 2022. – V. 222. – P. 106133.
11. Yamato H. Ship routing design for the oily liquid waste collection //Journal of the Society of Naval Architects of Japan. – 2001. – V. 2001. – №. 190. – P. 325-335.
12. Deja A., Strulak-Wójcikiewicz R., Kaup M. Management of ship-generated waste reception at the port of Szczecin as a key component in the reverse logistics chain //Sustainable Design and Manufacturing 2019: Proceedings of the 6th International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (KES-SDM 19). – Springer Singapore, 2019. – P. 533-543.
13. Palantzas G., Naniopoulos, A., Nalmpantis, D., & Theodossiou, P. The " Chain" Management of Ship-Generated Waste and Cargo Residues in the Port of Thessaloniki //Journal of Marine Environmental Engineering. – 2005. – V. 8. – №. 2.
14. Давыдова С. В., Роннов Е. П. Проектирование судов экологического назначения. Ч. 2. Общее устройство и специализированное оборудование судов экологического назначения: учеб. пособие для студ. Оч. и заоч. обуч //Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ».-2012.-76 с. – 2012.
15. Васькин С. В., Дмитриева М. С. Моделирование нагрузки на внесудовые водоохраные средства //Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – №. 3 (79). – С. 38-46
16. ГОСТ Р 56022-2014 Внутренний водный транспорт. Система управления безопасностью судов. Требования по предотвращению загрязнения окружающей среды (Переиздание). – М.: Стандартинформ, 2020. – 48 с.
17. Справочник по серийным речным судам. Том 6. Плавающие краны, перегружатели и земснаряды, дебаркадеры; плавающие доки и мастерские; кренователи; зачистные станции и суда для очистки водоемов; вспомогательные суда разного назначения, Москва, 1977, 192 с.

#### References

1. MARPOL M. 1978 Convention on the Prevention of Pollution from Ships. [Electronic resource] //URL: [http://www.conventions.ru/view\\_base.php](http://www.conventions.ru/view_base.php). – 1973. [Accessed: 02.02.2023]
2. Zhang S. Chen, J., Wan, Z., Yu, M., Shu, Y., Tan, Z., & Liu, J. . Challenges and countermeasures for international ship waste management: IMO, China, United States, and EU //Ocean & Coastal Management. – 2021. – V. 213. – P. 105836.
3. Argüello G. Environmentally sound Management of Ship Wastes: challenges and opportunities for European ports //Journal of Shipping and Trade. – 2020. – V. 5. – №. 1. – P. 12.
4. Novikov V. K., Mokerov L. F., Dubovitsky V. A. Fundamentals of environmental safety of shipping. – М.: 2015, 288 p.
5. Zubrilov S.P., Ishchuk Yu.G., Kosovsky V.I. Environmental protection during ship operation/– L.: Shipbuilding, 1989. – 256p.
6. Dmitrieva M.S., S.V. Vaskin. Recommendations on the choice of wastewater treatment and disinfection systems at the SKPO // Materials of the IX interuniversity scientific and practical conference of graduate students, students and cadets "Modern trends and prospects for the development of water transport in Russia". Saint Petersburg. - 2018. – pp. 248-252

7. Melnyk O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Lohinov, O., Ocheretna, V., & Dovidenko, Y. Basic aspects ensuring shipping safety //Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska. – 2022.
8. Karakulski K., Gryta M. The application of ultrafiltration for treatment of ships generated oily wastewater // Chemical Papers. – 2017. – V. 71. – P. 1165-1173.
9. Reshnyak K. V., Posashkova S. E. Technology of off-ship processing of marine pollution //Bulletin of the Admiral SO Makarov State University of the Sea and River Fleet. – 2011. – №. 1 (9)
10. Shu Y., Wang, X., Huang, Z., Song, L., Fei, Z., Gan, L. & Yin, J. et al. Estimating spatiotemporal distribution of wastewater generated by ships in coastal areas //Ocean & Coastal Management. – 2022. – V. 222. – P. 106133.
11. Yamato H. Ship routing design for the oily liquid waste collection //Journal of the Society of Naval Architects of Japan. – 2001. – V. 2001. – №. 190. – P. 325-335.
12. Deja A., Strulak-Wójcikiewicz R., Kaup M. Management of ship-generated waste reception at the port of Szczecin as a key component in the reverse logistics chain //Sustainable Design and Manufacturing 2019: Proceedings of the 6th International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (KES-SDM 19). – Springer Singapore, 2019. – P. 533-543.
13. Palantzas G., Naniopoulos, A., Nalmpantis, D., & Theodossiou, P. The "Chain" Management of Ship-Generated Waste and Cargo Residues in the Port of Thessaloniki //Journal of Marine Environmental Engineering. - 2005. – V. 8. – No. 2.
14. Davydova S. V., Ronnov E. P. Design of environmental vessels. Ch. 2. General arrangement and specialized equipment of environmental vessels: studies. manual for students. Full-time and part-time training //N. Novgorod: Publishing house of FBOU VPO "VGAVT".-2012.-76 p. – 2012.
15. Vaskin S. V., Dmitrieva M. S. Modeling of the load on off-shore water protection facilities //Water and ecology: problems and solutions. – 2019. – №. 3 (79). – Pp. 38-46
16. GOST R 56022-2014 Inland waterway transport. Ship safety management system. Requirements for the prevention of environmental pollution (Reissue). – Moscow: Standartinform, 2020. – 48 p.
17. Handbook of serial river vessels. Volume 6. Floating cranes, reloaders and dredgers, landing stages; floating docks and workshops; krenovateli; stripping stations and vessels for cleaning reservoirs; auxiliary vessels for various purposes, Moscow, 1977, 192 p.

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

**Манакова Маргарита Сергеевна**, Инженер, Лаборатория электромагнитного окружения Земли (265), Отдел геофизической электродинамики (260); «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», 603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46, e-mail: margarita@ipfran.ru

**Margarita S. Manakova**, Engineer, Laboratory of Electromagnetic Environment of the Earth (265), Department of Geophysical Electrodynamics (260); Federal Research Center A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences", 603950, Nizhny Novgorod, BOX-120, ul. Ulyanov, 46, e-mail: margarita@ipfran.ru.

**Васькин Сергей Владимирович**, к.т.н, доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603905, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: serwaskin@mail.ru

**Sergey V. Vas'kin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships, Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, ul. Nesterova, 5, e-mail: serwaskin@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 05.10.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 05.10.2023; published online 20.03.2024

УДК 531.391.1:532.5.011  
DOI: 10.37890/jwt.vi78.456

## **Исследование волнообразования поплавок для использования в качестве бульбов большегрузных катамаранов**

**Е.Ю. Чебан**

*ORCID: 0000-0002-0983-9879*

**А.И. Кожевников**

*ORCID: 0000-0001-9013-8510*

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

**Аннотация.** Использование речных большегрузных катамаранов для организации судоходства может повысить привлекательность перевозок по внутренним водным путям за счет повышения скорости судов. Уменьшение волнового сопротивления для такого типа судов остается актуальным вопросом как с позиции предотвращения разрушения берегов, ложа водоемов и прибрежных сооружений, снижения волновых нагрузок на мост катамарана. Одним из способов снижения волнового сопротивления, является размещение поплавок-бульба между корпусами катамарана, что подтверждается ранее выполненными исследованиями. В работе представлены аналитические выражения для определения сопротивления комплекса поплавок-катамаран, а также формулы позволяющие рассчитать основные параметры поплавок-бульба. Приведены результаты численного моделирования для поплавок в виде эллипсоидов в диапазоне скоростей 7,0 – 11,7 м/с, которые соответствуют малоисследованному диапазону чисел Фруда от 0,2 до 0,3 для речных катамаранов длиной 112 – 152 м. Полученные данные позволяют предполагать, что эллипсоид не является оптимальной формой поплавок-бульба и данный вопрос требует дополнительного изучения.

**Ключевые слова:** речные большегрузные катамараны, бульбы, выступающие части, волнообразование катамаранов, воздействие на прибрежные сооружения, численное моделирование, волновое сопротивление, составляющие сопротивления, соединительные мосты, поплавки.

## **The study of float wave formation for the usage as heavy-duty catamaran bulbs**

**Egor Yu. Cheban**

*ORCID: 0000-0002-0983-9879*

**Artur I. Kozhevnikov**

*ORCID: 0000-0001-9013-8510*

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

**Abstract.** The use of river heavy-duty catamarans for navigation can increase the attractiveness of inland waterway transportation by increasing the speed of ships. Reducing wave resistance for this type of vessel remains an urgent issue both from the point of view of preventing the bank, reservoir bed, coastal structure destruction, and reducing the wave loads on the catamaran bridge. One of the ways to reduce wave resistance is to place a float-bulb between the catamaran hulls, which is confirmed by previously performed studies. The paper presents analytical expressions for determining the resistance of the bulb-catamaran complex, as well as formulas for calculating the main parameters of the float-bulb. The results of numerical modeling for ellipsoid floats in the speed range 7.0 – 11.7 m/s are presented, which correspond to the rarely-studied range of Froude numbers from 0.2 to 0.3 for river

catamarans with the length of 112 - 152 m. The data obtained suggest that the ellipsoid is not the optimal shape of the float-bulb and this issue requires additional study.

**Keywords:** river heavy-duty catamarans, bulbs, protruding parts, catamaran wave formation, impact on coastal structures, numerical modeling, wave resistance, resistance components, connecting bridges, floats.

### Введение

Важную роль в волновом сопротивлении движущихся в жидкости тел, в том числе катамаранного судна, играет сопротивление, возникающее в результате волновых систем каждого из тел, вследствие чего волновое сопротивление системы может быть, как больше, так и меньше суммы волновых сопротивлений каждого тела при изолированном движении. В ряде случаев, высоты волн между корпусами катамаранного судна могут превышать волны, генерируемые по наружному борту, и оказывают существенное влияние на волновое сопротивление, а также на прочность и соответственно конструкцию моста катамарана. Для уменьшения высот волн между корпусами используются различные конструкции, в первую очередь предназначенные для разрушения волн наибольшей высоты. С другой стороны, изменение параметров волн может быть достигнуто за счет генерации волн специальной формой нижней части моста или поплавками (межкорпусными бульбами) различной формы, расположенными в междукорпусном пространстве катамарана.

С точки зрения физики, задача о движении системы тел представляет собой смешанную краевую задачу для уравнения Лапласа с линейными граничными условиями. Волновое сопротивление зависит от относительного положения тел в системе. Комплекс из корпуса судна и поплавок (бульба) может иметь меньшее волновое (и полное) сопротивление по сравнению с волновым (и полным) сопротивлением корпуса без бульба. Это возможно лишь в случае, если волновое сопротивление влияния меньше нуля, а модуль его больше, чем сумма собственного волнового сопротивления и сопротивления трения бульба. Иными словами, в результате взаимодействия дополнительной системы бульба с основной системой волн корпуса происходит благоприятный процесс интерференции, снижающий общее волновое сопротивление системы. Данные обстоятельства подтверждаются рядом исследований.

Наиболее интересна работа А. Mandru и F. Racu из Университета Галаца, 2020 г. [1], в которой описаны экспериментальные исследования в опытовом бассейне по улучшению гидродинамических характеристик катамаранов с помощью установки поплавок-бульба между корпусами. С моделями катамарана масштабе 1:32 были проведены буксировочные в диапазоне чисел Фруда от 0,2 до 0,8, при различных конфигурациях поплавок-бульба (3 глубины и 2 положения вдоль корпуса (нос и корма), рис.1). Поплавок-бульб представлял собой эллипсоид длиной 7,2 м, диаметром 1,44 м.

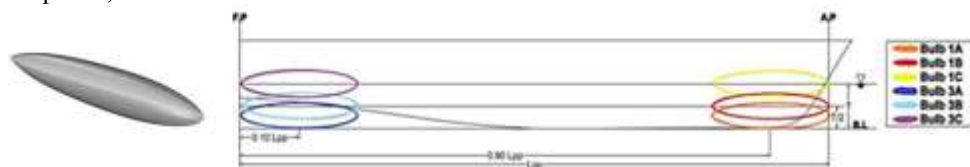


Рис. 1. Форма поплавок-бульба и варианты его размещения: А (ось эллипсоида совпадает с ватерлинией), В (ось эллипсоида находится на половине осадки), С (ОП эллипсоида совпадает с ОП катамарана) – положение по глубине; 1 – размещение в носу; 3 – размещение в корме. Cat – катамаран без бульба.

Анализируя полученные А. Mandru и F. Pacuraru графики изменения коэффициента остаточного сопротивления (рис. 2), можно отметить, что все кривые имеют максимум при числе  $Fr=0,5$ , которое по всей видимости является критическим значением. В диапазоне чисел Фруда 0,4-0,6 (рис.2) коэффициенты остаточного сопротивления для катамарана с поплавками-бульбами оказываются меньше, чем без них. Существенное снижение на 7,53% наблюдается при положении бульба 3С – в корме на уровне ватерлинии катамарана. Самое низкое значение коэффициента сопротивления зафиксировано при числе Фруда 0,3.

В диапазоне чисел Фруда 0,2-0,3 наблюдается разброс значений коэффициентов остаточного сопротивления для всех случаев расположения поплавок-бульба, что согласуется с результатами [2] для речных катамаранов. Аналогичное исследование было выполнено Goutam Kumar Saha, Kazuo Suzuki, and Hisashi Kai [3], для оптимизации корпуса высокоскоростного катамарана с носовыми и кормовыми поплавками-бульбами численными методами. Результаты приведены на рис. 3. Исследовалось волновое сопротивление при числах Фруда 0,45 и 0,5 и получено, что волновое сопротивление катамарана при использовании носовых и кормовых поплавков-бульбов снижается примерно на 28% при  $Fr=0,45$ , а при  $Fr=0,5$  до 40% по сравнению с катамараном без поплавков-бульбов. В работе D.B. Danisman [4] показана возможность снижения волнового сопротивления катамарана с поплавками-бульбами и для числа Фруда 0,6 отмечено снижение волнового сопротивления на 15%. Выполненное в работе численное моделирование подтверждено экспериментом.

Результаты выше описываемых исследований показывают, что использование поплавок-бульба позволяет значительно снизить высоты волн, генерируемых корпусом катамарана, и уменьшить волновое сопротивление.

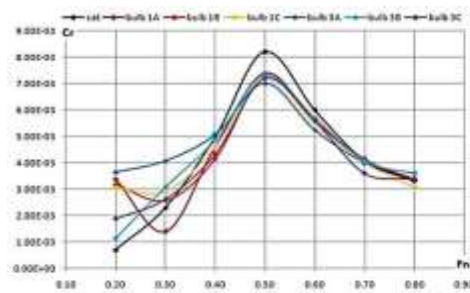


Рис. 2. Кривые изменения коэффициента остаточного сопротивления

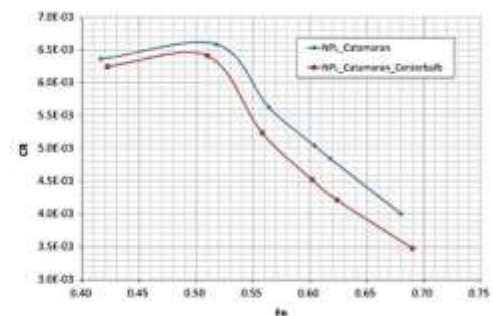


Рис. 3. Сравнение кривых коэффициентов сопротивления катамаранов с поплавком-бульбом (красная) и без него (синяя)

Необходимо отметить, что в основном работы в области снижения волнового сопротивления катамаранов посвящены скоростным морским катамаранам, движущимся со скоростями при  $Fr>0,3$  или для очень большого диапазона изменения числе Фруда и не охватывают большегрузные речные катамараны больших размерений. Кроме того, с точки зрения проектирования большегрузных катамаранов необходимо уметь определять форму поплавок-бульба, его расположение относительно корпусов катамарана и диапазон скоростей, в котором его использование будет эффективно снижать волновое сопротивление.

### 1. Особенности волнового сопротивления катамарана с дополнительными поплатками

Взаимодействие корпусов катамарана и поплавков представляет собой совокупность сложных гидродинамических процессов, обусловленных трансформацией волн, взаимодействием турбулентных потоков, поскольку движение катамарана и поплавка-бульба происходит при существенно разных числах Фруда и Рейнольдса.

Одним из способов решения задачи о взаимодействии корпусов катамарана и поплавка-бульба может быть использование известных решений для катамарана с соединительным мостом, имеющим несколько участков, соприкасающихся с водой [5-7].

В этом случае катамаран с поплавками можно рассматривать как комплекс из конечного числа тел  $n$ , полное сопротивление которых при движении вблизи свободной поверхности можно представить в виде:

$$R = \sum_{i=1}^n (R_{\tau_i} + R_{w_i}) + \Delta R_{\tau} + \Delta R_w, \quad (1)$$

где  $\Delta R_{\tau}$  и  $\Delta R_w$  - соответственно дополнительное вязкостное и дополнительно волновое сопротивление, обусловленное взаимным влиянием тел;

$R_{\tau_i} + R_{w_i}$  - сумма вязкостного и волнового сопротивления воды движению каждого тела при их изолированном движении.

Дополнительное вязкостное сопротивление связано с изменением поля скоростей и давления вблизи тела, вызванных наличием других тел системы. Дополнительно волновое сопротивление возникает вследствие наложения волновых систем, индуцируемых каждым телом комплекса.

Известно, что интерференция волновых систем с разными фазами и длинами может приводить как к нарастанию, так и к уменьшению амплитуд результирующих волн, т.к. волновое сопротивление пропорционально амплитудам волн, вызванных при движении тел в жидкости. Длины волн, создаваемых отдельными телами комплекса, движущимися с одинаковой скоростью в однородном направлении, одинаковы.

Так длина поперечных волн:

$$\lambda_n = \frac{2\pi v_0^2}{g}, \quad (2)$$

длина расходящихся:

$$\lambda_p = \frac{2\pi v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}, \quad (3)$$

где  $v_0$  – скорость судна, а  $\alpha=38^\circ56'$  – удвоенный угол Кельвина (угол фронта расходящихся волн).

Формулы 1-3 показывают, что условия благоприятной или неблагоприятной интерференции определяются фазами волновых систем, индуцируемых каждым телом, которые зависят от взаимного положения и размеров тел системы по направлениям параллельному и перпендикулярному движению.

По линейной теории волн гидродинамическую силу для конечного числа  $n$  источников можно получить, складывая те же силы для каждого из источников. Необходимо учитывать, что каждый из источников находится в потенциальном потоке, создаваемом набегающим поступательным потоком и потоками всех остальных  $(n-1)$  источников. Волновое сопротивление комплекса из 3-х источников (двух корпусов катамарана и поплавка-бульба) в таком случае можно представить в виде суммы:

$$R_{\text{комп}} = 2R_{\text{к}} + \Delta R_{\text{кк}} + R_{\text{п}} + \Delta R_{\text{кп}}, \quad (4)$$

где  $2R_{\text{к}}$  – удвоенное волновое сопротивление одного корпуса;  
 $\Delta R_{\text{кк}}$  – волновое сопротивление, вызванное взаимодействием корпусов;  
 $R_{\text{п}}$  – волновое сопротивление поплавка;  
 $\Delta R_{\text{кп}}$  – волновое сопротивление, обусловленное взаимодействием корпусов и поплавка.

Воспользовавшись преобразования, полученными в работе [6], можно представить каждую составляющую волнового сопротивления в виде:

$$2R_{\text{к}} = -\frac{pg}{2\pi Fr^6} \frac{(LBT)^2}{L^3} \int_{\theta_0}^{\pi/2} \bar{J}_2^2 A_1 d\theta \quad (5)$$

$$\Delta R_{\text{кк}} = -\frac{pg}{2\pi Fr^6} \frac{(LBT)^2}{L^3} \int_{\theta_0}^{\pi/2} \bar{J}_2 A_1 \cos(\lambda_0 h \frac{\bar{b}}{h_L} \sin \theta) d\theta \quad (6)$$

$$R_{\text{п}} = -\frac{pg}{2\pi Fr^6} \frac{(L_{\text{п}} B_{\text{п}} T_{\text{п}})^2}{L^3} \int_{\theta_0}^{\pi/2} \bar{J}_{2\text{п}}^2 A_1 d\theta \quad (7)$$

$$\Delta R_{\text{кп}} = -\frac{pg}{\pi Fr^6} \frac{(L_{\text{п}} B_{\text{п}} T_{\text{п}})(LBT)}{L^3} \int_{\theta_0}^{\pi/2} \bar{J}_2 \bar{J}_{2\text{п}} A_1 \times \cos(\lambda_0 h \frac{\bar{b}}{h_L} \sin \theta) \cos(\lambda_0 h \frac{\bar{x}_m}{2h_L} \cos \theta) d\theta, \quad (8)$$

где  $L, B, T$  – длина, ширина и осадка корпуса судна;  
 $L_{\text{п}}, B_{\text{п}}, T_{\text{п}}$  – длина, ширина и погружение поплавка-бульба;  
 $x_m$  – абсцисса середины поплавка;  
 $\bar{J}_2$  и  $\bar{J}_{2\text{п}}$  – интегралы волнового сопротивления катамарана и поплавка соответственно.

Формулы 7 и 8 позволяют вычислить дополнительное волновое сопротивление поплавка в зависимости от его положения по длине судна, погружения, длины и поперечного размера.

Сложность при расчетах  $R_{\text{комп}}$  представляет вычисление площади смоченной поверхности, для чего, например, могут быть использованы аналитические выражения, полученные в работе [7]:

$$\bar{y} = (1 - \bar{x}^n)(1 \pm \bar{z}^m) \quad (9)$$

Вычисляя  $\bar{J}_2$  получим:

$$\bar{J}_2 = - \left\{ \frac{2 \sin a}{a} \left[ \frac{n(n-1)}{a^2} - \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{a^4} + \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)(n-5)}{a^6} - \dots \right] - \right. \\ \left. - 2 \cos a \left[ \frac{n}{a^2} - \frac{n(n-1)(n-2)}{a^4} + \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)}{a^6} - \dots \right] \right\} \times \left\{ \frac{1}{c} + e^{-c} \left[ \frac{m}{c^2} + \right. \right. \\ \left. \left. \frac{m(m-1)}{c^3} + \frac{m(m-1)(m-2)}{c^4} + \frac{m(m-1)(m-2)(m-3)}{c^5} + \dots \frac{m(m-1)(m-2)\dots}{c^{m+1}} \right] - \right. \\ \left. \frac{m(m-1)(m-2)\dots}{c^{m+1}} \right\} \quad (10)$$

Здесь:



$$a = \frac{1}{2Fr^2 \cos \theta} \quad (11)$$

$$c = \frac{\frac{T}{L}}{Fr^2 \cos^2 \theta} \quad (12)$$

Уравнение смоченной поверхности поплавка может быть также описано формулой (9), в котором величины  $a$  и  $c$  вычисляются по формулам 13 и 14:

$$a = \frac{1}{2Fr_M^2 \cos \theta} \quad (13)$$

$$c = \frac{\frac{T_M}{L_M}}{Fr_M^2 \cos^2 \theta} \quad (14)$$

Формулы 4-14 позволяют проводить систематические расчеты волнового сопротивления катамарана с учетом влияния поплавка.

Результаты анализа работ [5-7] показывают, что существуют области чисел Фруда и размерений катамарана и поплавка, в которых происходит некоторое снижение волнового сопротивления всего комплекса  $\bar{R}_m < 1$ . При таком благоприятном положении поплавка по длине судна составляющая волнового сопротивления, вызванная взаимодействием корпусов и поплавка, вычитается из волнового сопротивления судна, а по абсолютной величине больше, чем собственное волновое сопротивление поплавка при его изолированном движении в жидкости.

При увеличении размеров, в частности длины поплавка, возрастает его собственное волновое сопротивление, которое растет пропорционально квадрату длины, а составляющая гидродинамического взаимодействия  $\Delta R_{км}$  – пропорциональна длине в первой степени, что позволяет предположить существование оптимальной длины поплавка-бульба.

Несмотря на то, что основные размерения поплавка-бульба могут быть определены по приведенным выше формулам, вычисление площади смоченной поверхности остается сложной задачей, которая может быть решена с помощью методов вычислительной гидродинамики (CFD) в специализированных программных продуктах (AnsysFluent, StarCCM, FlowVision, NUMECA/FineMarine). Кроме того, точность расчетов может быть повышена за счет учета формы трехмерной волновой поверхности, что требует моделирования изолированного катамарана и поплавка, а также их взаимодействия.

Исследованию волнообразования большегрузных катамаранов для внутренних водных путей посвящено большое число работ [2, 8-10]. Особенностью таких катамаранов длиной 100-150 м является движение в докритическом режиме в диапазоне чисел Фруда от 0,2 до 0,3, который характеризуется существенными колебаниями величины как полного, так и остаточного сопротивления (до 40%), и изучен недостаточно. Кроме сопротивления, необходимо оценить параметры волн, генерируемых судном в междукорпусном пространстве и по наружному борту, а также характеристики волн, генерируемых поплавком-бульбом, для оценки возможности благоприятной их интерференции.

Результаты исследования гидродинамики подобного катамарана численными методами приведены в работе [8]. Моделирование выполнялось для трех вариантов длин катамаранов 112, 132 и 152 м и различных относительных клиренсов  $\bar{C}$ : 0,3; 0,35; 0,4; 0,44; 0,5; 0,56. Для всех случаев были получены не только значения сопротивления (рис. 4), но и трехмерные картины волновых процессов и двумерные профили (рис. 5) волновой поверхности на внутреннем и наружном корпусах катамаранов.

Совместный анализ работ [5-7] и [8] позволил выделить некоторые характерные особенности гидродинамики катамаранов при  $Fr=0,275$   $Fr=0,3$   $Fr=0,38$ .

При  $Fr=0,275$  для катамарана  $L=112$  м практически во всех случаях график  $\zeta_{полн}$  имеет локальный минимум (рис. 4а).

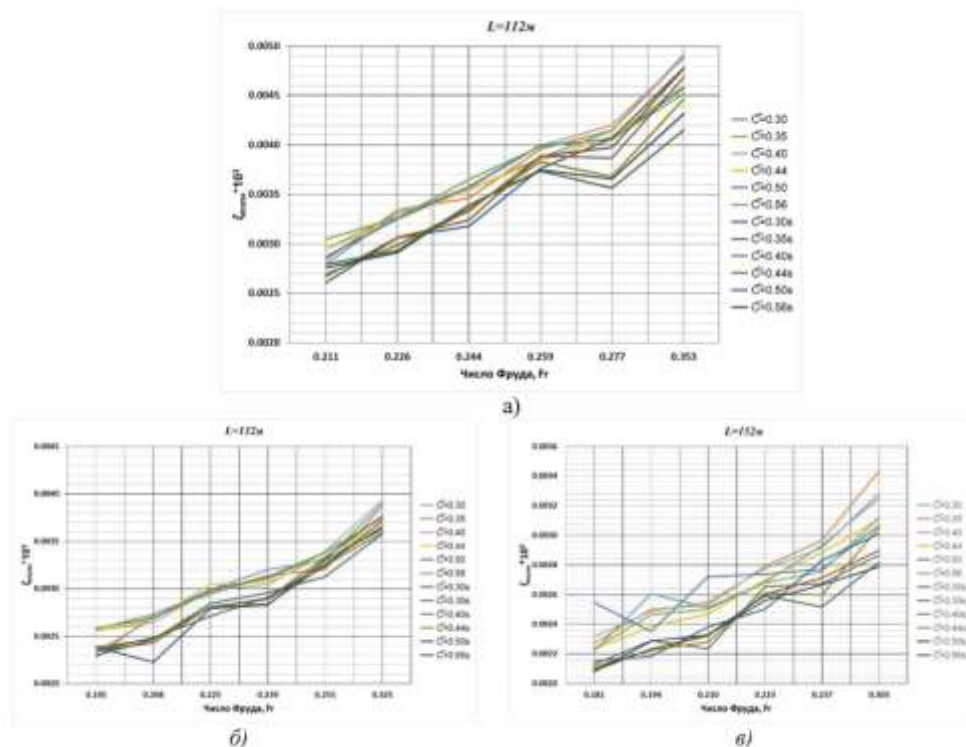


Рис. 4. Коэффициенты полного сопротивления для катамаранов различной длины  
а)  $L=112$  м; б)  $L=132$  м; в)  $L=152$  м

Для катамаранов длиной 132 и 152 м наблюдается максимальное (по отношению ко всем предыдущим  $Fr$ ) значение  $\zeta_{полн}$  и переход к «линейному» изменению  $\zeta_{полн}$  после достижения очередного локального минимума (самый минимум для кривой  $\bar{C} = 0,50$  (симметричный корпус) на рис. 4б, а на рис. 4а и в для  $\bar{C} = 0,56$  (симметричный корпус). При  $Fr=0,3$  для всех случаев наблюдается максимальное  $\zeta_{полн}$  и переход к «линейному» изменению  $\zeta_{полн}$  (на рис. 4б) и в самый минимум для кривой  $\bar{C} = 0,50s$ , а для рис. 4а  $\bar{C} = 0,56s$ ).

У катамарана с симметричным корпусом  $L=152$  м минимальные высоты волн наблюдаются при клиренсе  $\bar{C} = 0,44$ , максимальные  $\bar{C} = 0,35$  (рис. 4в). Интенсивность повышения ординат волн происходит после значения числа Фруда 0,237. Профили волновой поверхности приведены на рис.5.

Размещение поплавок-бульбов таким образом, чтобы они вызывали благоприятную интерференцию волн в междукорпусном пространстве, могло бы привести к снижению волнового сопротивления катамарана, для чего необходимо выбрать не только главные размерения поплавков, но и подобрать их оптимальную форму.

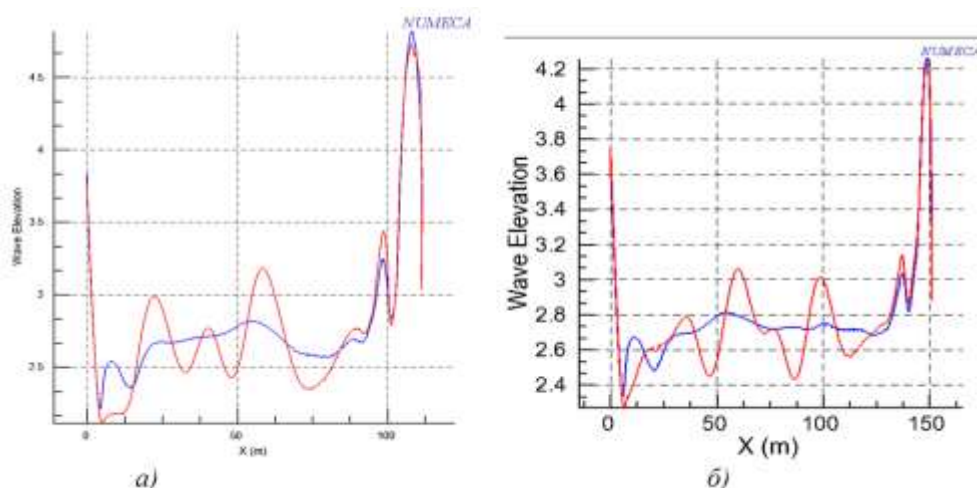


Рис. 5. Профили волновой поверхности по внутреннему (красная линия) и наружному (синяя линия) бортам катамарана при скорости 8,6 м/с: а) L=112м; б) L=152 м

## 2. Численное моделирование гидродинамики поплавков-бульбов простой формы

Для поиска наиболее подходящей формы поплавок-бульба было выполнено исследование [11] гидродинамики трех эллипсоидов диаметром 1,76 м и длиной: 29,2м

(Fr от 0,414 до 0,691), 14,6м (Fr от 0,585 до 0,978) и 7,3м (Fr от 0,827 до 1,383), а также шара диаметром D=1,76м (Fr от 1,685 до 2,816) с помощью численного моделирования при скоростях движения катамарана 7 – 11,7 м/с. Осадка была постоянной во всех случаях и составляла половину диаметра эллипсоида. Исследования проводились с помощью программного комплекса NUMECA/FineMarine™, параметры расчетной области и граничные условия выбирались в соответствии с рекомендациями [12,13]. Применялась неструктурированная расчетная сетка с локальным измельчением в области распространения волнового сектора. Учет трения обеспечивался разрешением пограничного слоя – 20-22 уровней при  $y^+=1$ . Пример построенной расчетной сетки приведен на рис. 6.

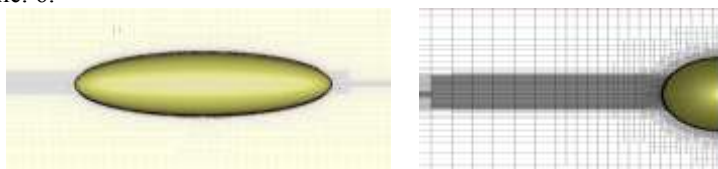
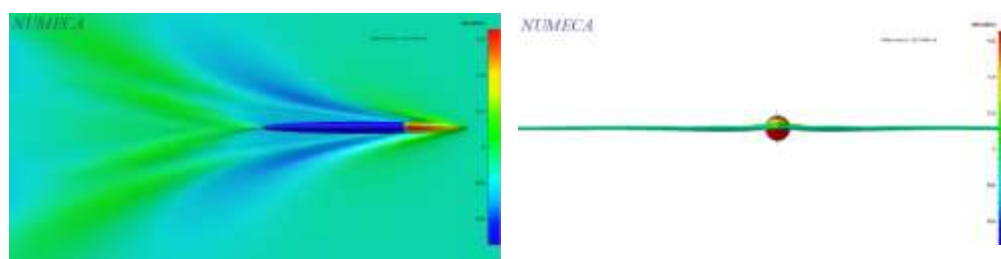


Рис. 6. Примеры построенной расчетной сетки для эллипсоида L=7,3 м

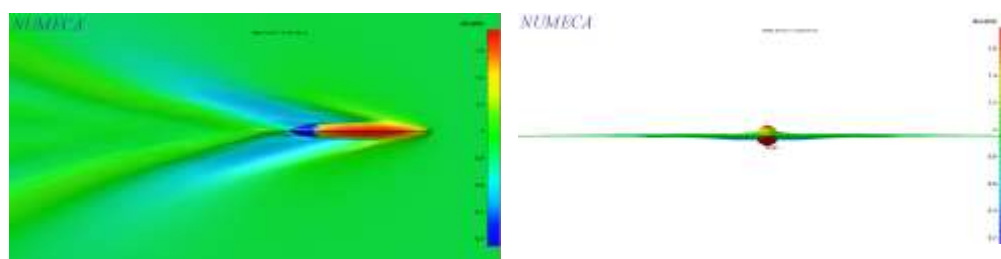
В результате моделирования были получены двумерные и трехмерные волновые профили (например, для скорости 9,17 м/с приведены на рис.7-10). Обобщённые результаты по высотам волн в зависимости от скорости приведены на рис. 11.



а)

б)

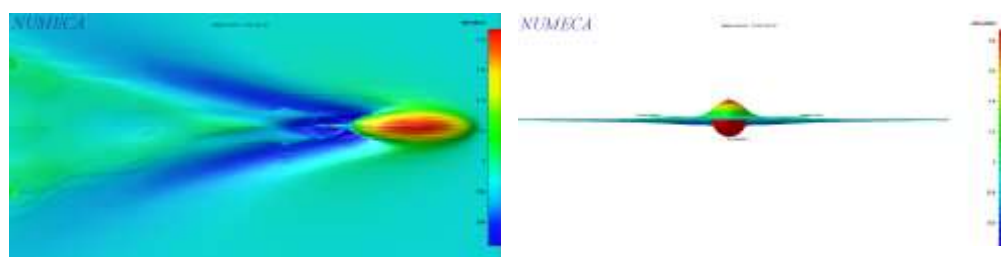
Рис. 7. Волновая поверхность эллипсоида длиной 29,2 м при  $v=9,17$  м/с вид а) сверху; б) с носа.



а)

б)

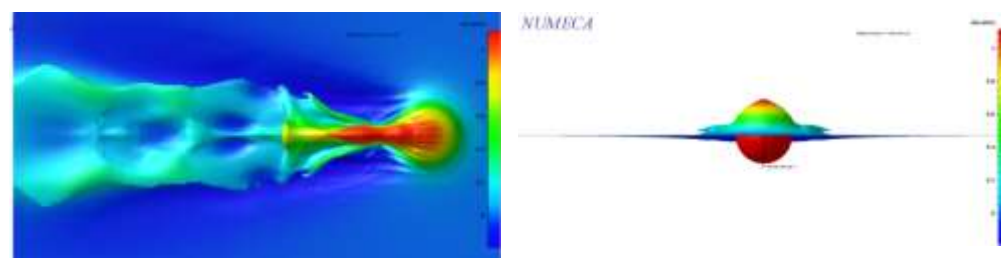
Рис. 8. Волновая поверхность эллипсоида длиной 14,6 м при  $v=9,17$  м/с вид а) сверху; б) с носа.



а)

б)

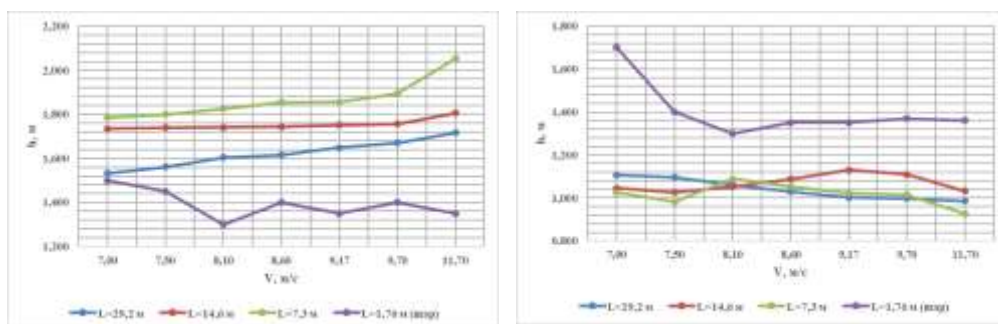
Рис. 9. Волновая поверхность эллипсоида длиной 7,2 м при  $v=9,17$  м/с вид а) сверху; б) с носа.



а)

б)

Рис. 10. Волновая поверхность шара при  $v=9,17$  м/с вид а) сверху; б) с носа.



а)

б)

Рис. 11. Зависимости высоты волны от скорости движения тел а) в носу; б) в корме

Из рассмотрения рис.7а видно, что высоты волн в носу, образуемые при движении поплавков, для шара имеют наименьшие значения во всем исследуемом диапазоне скоростей, а в ряду трех эллипсоидов наименьшие высоты наблюдаются у эллипсоида длиной 29,2 метра. Графики, показанные на рис.7б, свидетельствует об обратной картине высот волн в корме тел, максимальные значения которых наблюдаются во всем диапазоне скоростей у шара, причем при начальной скорости 7 м/с высота волны наибольшая. Наименьшим средним значением обладает эллипсоид длиной 7,3 метра. Также стоит отметить, что при скорости 8,10 м/с значения высот волн для всех трех эллипсоидов практически одинаковые.

В то же время, при осадке  $1/2D$ , рассмотренной в работе А. Mandru и F. Pasaru [1], практически во всех случаях наблюдается «замывание» поверхности как эллипсоидов, так и шара, что влияет на форму волновой поверхности и соответственно на интерференцию волн. В результате высоты волн в носу для эллипсоидов длиной 29,2 и 14,6 м высоты носовых волн мало зависят от скорости, а для шара высоты волн вообще уменьшаются с ростом скорости. Кроме того, с учетом угла  $\alpha=38^{\circ}56'$  и затухания волн, поплавки в форме эллипсоида необходимо выносить далеко в нос катамарана, что увеличит габаритные размерения судна и ухудшит его эксплуатационные характеристики. Это требует дополнительной проработки в части уточнения возможной осадки поплавков-эллипсоидов и рассмотрения других возможных форм.

### 3. Заключение

В настоящей статье выполнен обзор некоторых исследований, посвященных использованию бульба, установленного между корпусами катамарана, для снижения волнового сопротивления судна. Сделаны выводы о возможности создания благоприятной интерференции и снижении волнового сопротивления при использовании дополнительного поплавка-бульба. Рассмотрены особенности волнового сопротивления катамарана с дополнительными поплавками. Приведены расчетные формулы для оценки влияния на волновое сопротивление катамарана расположения поплавка по длине судна, а также соотношений размеров корпусов и поплавка.

Отмечена недостаточная изученность вопроса использования поплавков-бульбов для речных катамаранов длиной от 100 до 150 метров в диапазоне движения, соответствующем числам Фруда от 0,2 до 0,3, в котором коэффициент остаточного сопротивления изменяется в широких пределах (до 40%). Предполагается, что большая амплитуда колебаний коэффициента остаточного сопротивления в основном обусловлена изменениями распределения давлений и соответственно нестабильность высот и длин волн между корпусами катамарана.

Приведены результаты работ по численному моделированию движения речного катамарана и некоторых тел простой формы, которые могут быть использованы в качестве поплавков. Сделан вывод о возможности использования полученных волновых профилей, генерируемых телами различной формы, для определения параметров катамаранов и поплавков-бульбов, а также о необходимости дальнейших исследований волнообразования поплавков различной формы.

#### Список литературы

1. Mandru A., Pacuraru F. Experimental study on catamaran hydrodynamics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2020. - Vol. 916. - P. 012060. (DOI: 10.1088/1757-899X/916/1/012060).
2. Чебан Е.Ю., Лукина Е.А., Митрошин С.Г., Мартемьянова О.В., Никущенко Д.В., Исследование волнообразования большегрузного катамарана для внутренних водных путей численными методами // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 3 часть 1. С 210-219. URL: [http://morintex.ru/wp-content/files\\_mf/1694073166mit3part12023.pdf?ysclid=lqw8zshb2e558013615](http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1694073166mit3part12023.pdf?ysclid=lqw8zshb2e558013615) (дата обращения 15.12.2023)
3. Saha G.K., Suzuki K., Kai H. Hydrodynamic optimization of a catamaran hull with large bow and stern bulbs installed on the center plane of the catamaran // Marine Science and Technology. - 2005. - Vol. 10. - No. 1. - P. 32-40. (DOI: 10.1007/s00773-004-0186-6).
4. Danisman D.B. Numerical and experimental investigation of the effect of bow flare angle on the resistance and seakeeping performance of catamarans // Ocean Engineering. - 2014. - Vol. 91. - P. 227-234.
5. Малова С.В. Исследование влияния соединительного моста на волновое сопротивление катамарана: Дис. ... канд. техн. наук / С.В. Малова. – Горький, 1969. – 156 с.
6. Малова С.В. Отчет по научно-исследовательской работе (госбюджетной) Исследование волнового сопротивления катамаранных судов с мостом обтекаемого типа. / Малова С.В. – Горький, 1975. – 49 с.
7. Малова С.В. О расчете волнового сопротивления катамарана с соединительным мостом, входящим в воду // Труды ГИИВТа. 1972 Вып. 108, С. 58-69.
8. Чебан Е.Ю., Лукина Е.А., Митрошин С.Г., Мартемьянова О.В., Никущенко Д.В., Исследование волнообразования большегрузного катамарана для внутренних водных путей численными методами // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 3 часть 1. С 210-219. URL: [http://morintex.ru/wp-content/files\\_mf/1694073166mit3part12023.pdf?ysclid=lqw8zshb2e558013615](http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1694073166mit3part12023.pdf?ysclid=lqw8zshb2e558013615) (дата обращения 15.12.2023)
9. Зотова, Н. Е. Оценка воолнообразования катамаранных и однокорпусных судов / Н. Е. Зотова, О. В. Мартемьянова, Е. Ю. Чебан // Проблемы экологии Волжского бассейна : Труды 5-й всероссийской научной конференции, Нижний Новгород, 24–25 ноября 2020 года. Том Выпуск 3. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. – С. 11. – EDN FTFOOV.
10. Оценка волнообразования большегрузного катамарана с различными формами внутреннего борта / Е. Ю. Чебан, О. В. Мартемьянова, С. Г. Митрошин [и др.] // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 63. – С. 109-120. – DOI 10.37890/jwt.vi63.82. – EDN AXBAQK.
11. Чебан Е.Ю., Кожевников А.И., Бушков С.В. Особенности волнообразования некоторых тел простой формы при больших числах Фруда. // Транспорт. Горизонты развития. 2023: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2023. – URL: [http://vf-река-море.рф/2023/3\\_15.pdf](http://vf-река-море.рф/2023/3_15.pdf) (дата обращения 19.12.2023).
12. User Manual FINET<sup>TM</sup>/Marine v7.1, Documentation v7.1a NUMECA International, 187-189, Chaussee de la Hulpe 1170 Brussels, Belgium.
13. Garo R., Imas L. Hydrodynamic Performance of a Submerged Lifting Surface Operating at High Speed, [4th High Performance Yacht Design Conference], 2012.

### References

1. Mandru A., Pacuraru F. Experimental study on catamaran hydrodynamics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2020. - Vol. 916. - P. 012060. (DOI: 10.1088/1757-899X/916/1/012060).
2. Cheban E. Yu., Lukina E.A., Mitroshin S.G., Martemyanova O.V., Nikushchenko D.V., Investigation of wave formation of a heavy-duty catamaran for inland waterways by numerical methods // Marine intelligent technologies. 2023. No. 3 part 1. From 210-219. URL: [http://morintex.ru/wp-content/files\\_mf/1694073166mit3part12023.pdf?ysclid=lqw8zshb2e558013615](http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1694073166mit3part12023.pdf?ysclid=lqw8zshb2e558013615) (accessed 12/15/2023).
3. Saha G.K., Suzuki K., Kai H. Hydrodynamic optimization of a catamaran hull with large bow and stern bulbs installed on the center plane of the catamaran // Marine Science and Technology. - 2005. - Vol. 10. - No. 1. - P. 32-40. (DOI: 10.1007/s00773-004-0186-6).
4. Danisman D.B. Numerical and experimental investigation of the effect of bow flare angle on the resistance and seakeeping performance of catamarans // Ocean Engineering. - 2014. - Vol. 91. - P. 227-234.
5. Malova S.V. Investigation of the effect of a connecting bridge on the wave resistance of a catamaran: Dis. ... candidate of Technical Sciences / S.V. Malova. – Gorky, 1969. – 156 p.
6. Malova S.V. Report on scientific research (state budget) Study of wave resistance of catamaran vessels with a streamlined bridge. / Malova S.V. – Gorky, 1975. – 49 p.
7. Malova S.V. On the calculation of wave resistance of a catamaran with a connecting bridge entering the water. 1972 Ed. 108, pp. 58-69.
8. Cheban E.Yu., Lukina E.A., Mitroshin S.G., Martemyanova O.V., Nikushchenko D.V., Study of wave formation of a heavy-duty catamaran for inland waterways using numerical methods // Marine intelligent technologies. 2023. No. 3 part 1. From 210-219. URL: [http://morintex.ru/wp-content/files\\_mf/1694073166mit3part12023.pdf?ysclid=lqw8zshb2e558013615](http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1694073166mit3part12023.pdf?ysclid=lqw8zshb2e558013615) (accessed 12/15/2023)
9. Zotova, N. E. Assessment of wave formation of catamaran and single-hull ships / N. E. Zotova, O. V. Martemyanova, E. Yu. Cheban // Problems of ecology of the Volga basin: Proceedings of the 5th All-Russian Scientific Conference, Nizhny Novgorod, 24– November 25, 2020. Volume Issue 3. – Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2020. – P. 11. – EDN FTFOOV.
10. Assessment of wave formation of a heavy-duty catamaran with different shapes of the inner side / E. Yu. Cheban, O. V. Martemyanova, S. G. Mitroshin [etc.] // Scientific problems of water transport. – 2020. – No. 63. – P. 109-120. – DOI 10.37890/jwt.vi63.82. – EDN AXBAQK.
11. Cheban E.Yu., Kozhevnikov A.I., Bushkov S.V. Features of wave formation of some bodies of simple shape at large froude numbers.//Transport. Horizons of development. 2023: Proceedings of the International Scientific and Practical Forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2023. – URL: [http://вф-река-море .RF/2023/3\\_15.pdf](http://вф-река-море .RF/2023/3_15.pdf) (accessed 12.19.2023).
12. User Manual FINE™/Marine v7.1, Documentation v3.1a NUMECA International, 187-189, Chaussee de la Hulpe 1170 Brussels, Belgium.
13. Garo R., Imas L. Hydrodynamic Performance of a Submerged Lifting Surface Operating at High Speed, [4th High Performance Yacht Design Conference], 2012.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Чебан Егор Юрьевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603905, Нижний Новгород, Нестерова, 5, e-mail: [egor.cheban.2@gmail.com](mailto:egor.cheban.2@gmail.com)

**Egor Yu. Cheban**, doctor of Technical Sciences, Professor, professor of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, Nesterova 5, e-mail: [egor.cheban.2@gmail.com](mailto:egor.cheban.2@gmail.com)

**Кожевников Артур Игоревич**, аспирант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [nkolonget@ro.ru](mailto:nkolonget@ro.ru)

**Artur I. Kozhevnikov**, postgraduate student Hydrodynamics, ship theory and ship's ecological safety department, Volga State University of Water Transport 603950, Nizhniy Novgorod, Nesterova, 5, e-mail: [nkolonget@ro.ru](mailto:nkolonget@ro.ru)

Статья поступила в редакцию 24.01.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 24.01.2023; published online 20.03.2024



## **СУДОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

### **SHIP POWER EQUIPMENT**

УДК 621.43.018.7:536.8

DOI: 10.37890/jwt.vi78.418

#### **Проектная оценка диапазона допустимых режимов эксплуатации судового двухтактного дизеля**

**В.Л. Колюков**

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

**Аннотация.** В практике эксплуатации судовых дизелей в качестве ограничительной характеристики по механической напряженности используют характеристику, соответствующую постоянному эффективному моменту, который пропорционален среднему эффективному давлению. Относительно ограничительных характеристик по тепловой напряженности такой однозначности не существует. Ограничения по тепловой напряженности дизеля зависят от его конструктивных особенностей и эффективности системы охлаждения цилиндропоршневой группы. На стадии проектирования дизеля важно заблаговременно оценить соответствие эксплуатационных характеристик техническому заданию.

В работе выполнены расчетно-теоретические исследования эксплуатационных параметров главного судового двухтактного дизеля, работающего по винтовой характеристике, которые влияют на его механическую и тепловую напряженность, определены предполагаемые ограничительные характеристики механической и тепловой напряженности. Исследования выполнены для широких диапазонов изменения коэффициента утяжеления винтовой характеристики и относительной мощности дизеля. Приведены предполагаемые проектные диапазоны режимов эксплуатации дизеля, исключающие его механическую и тепловую перегрузку, дана оценка допустимого утяжеления винтовой характеристики. Выполнены сравнения полученных результатов с характеристиками судового четырехтактного дизеля.

**Ключевые слова:** дизель, эксплуатационные параметры, нагрузка, винтовая характеристика, ограничительная характеристика, тепловая напряженность, механическая напряженность.

#### **Design assessment of the range of permissible operation modes of a marine two-stroke diesel engine**

**Viacheslav L. Konyukov**

*Kerch State Marine Technological University, Kerch, Russia*

**Abstract.** In the practice of operating marine diesel engines, as a limiting characteristic for mechanical stress, a characteristic corresponding to a constant effective torque, which is proportional to the average effective pressure, is used. There is no such unambiguity regarding the restrictive characteristics of thermal intensity. Limitations on the thermal stress of a diesel engine depend on its design features and the efficiency of the cooling system of the cylinder-piston group. At the diesel engine design stage, it is important to assess in advance whether the operational characteristics correspond to the technical specifications.

The work carried out computational and theoretical studies of the operational parameters of the main marine two-stroke diesel engine operating according to the screw characteristic, which affect its mechanical and thermal stress, and determined the expected limiting characteristics of the mechanical and thermal stress. The studies were carried out for wide ranges of changes in the weight coefficient of the screw characteristics and the relative power

of the diesel engine. The estimated design ranges of diesel operating modes are given, excluding its mechanical and thermal overload, and an assessment of the permissible weighting of the screw characteristics is provided. The results obtained were compared with the characteristics of a marine four-stroke diesel engine.

**Keywords:** diesel, operational parameters, load, screw characteristic, limiting characteristic, thermal stress, mechanical stress.

### **Введение**

Главные двигатели транспортных судов должны обеспечивать все спецификационные режимы эксплуатации при любых воздействиях внешних факторов на пропульсивный комплекс [1]. К таким внешним факторам относятся: повышенное волнение моря, обрастание корпуса судна, буксирование веза, увеличение шероховатости лопастей гребного винта и др., изменение которых сопровождается изменением винтовой характеристики, что оценивается коэффициентом ее утяжеления [2], [3]. При утяжелении винтовой характеристики изменяется соотношение расходов топлива и воздуха дизеля, что вызывает уменьшение коэффициента избытка воздуха при горении. При этом изменяются максимальная температура сгорания топлива и максимальное давление цикла, что приводит к повышению тепловой и механической напряженности элементов цилиндропоршневой группы дизеля [4]. Для исключения перегрузки дизеля при утяжелении винтовой характеристики снижают частоту вращения, что дополнительно уменьшает расход воздуха и, следовательно, коэффициент избытка воздуха при горении. Допустимые нагрузки главного дизеля, работающего на винт фиксированного шага, в диапазоне винтовых характеристик от швартовой до свободного хода в балласте, ограничены рядом эксплуатационных показателей, определяющих ограничительные характеристики, за пределами которых эксплуатация дизеля не допускается [5].

Инструкции на эксплуатацию судовых дизелей содержат результаты тестовых заводских испытаний, которые получены для винтовой характеристики номинального режима эксплуатации, а также рекомендации по использованию диапазона допустимых нагрузок, исключающих его перегрузку [6]. Фирмы, выпускающие судовые дизели, не считают возможным делиться информацией относительно назначения ограничительных характеристик даже с персоналом, обслуживающим дизели. При этом возникают проблемы в обобщении материалов по эксплуатации дизеля и принятия решений, особенно для внештатной ситуации. Различные дизельные фирмы по-разному подходят к установлению ограничительных характеристик, определяющих допустимые режимы эксплуатации, особенно в отношении тепловой напряженности [2]. Следует отметить, что каждый двигатель по-своему реагирует на изменение внешних и внутренних факторов на пропульсивный комплекс.

Судовой дизель – сложное дорогостоящее сооружение, поэтому основным методом исследований является расчетно-теоретический. Установление несоответствия расчетных диапазонов допустимых режимов эксплуатации дизеля техническому заданию при проектировании позволит своевременно внести соответствующие корректировки, сократив расходы на создание нового двигателя.

**Целью работы** является проектная оценка диапазона допустимых эксплуатационных нагрузок судового двухтактного дизеля, работающего на винт фиксированного шага для широкого интервала изменения коэффициента утяжеления винтовой характеристики по результатам тепловых расчетов.

**Материалы и методы исследования**

Объектом исследования в предлагаемой работе является судовой двухтактный дизель с газотурбинным наддувом 7S50MC, который используется в качестве главного двигателя на морских судах с прямой передачей механической энергии на винт фиксированного шага. Характеристики двигателя приведены в работе [7].

Исследования проводились расчетно-теоретическим способом, в основу алгоритма которого положен широко известный теоретический метод анализа рабочего процесса на основе физической сути явлений в цилиндре дизеля, получивший название «метод Гриневецкого-Мазина». По алгоритму была составлена программа для ЭВМ [8]. Настройка программы проводилась по результатам тестовых заводских испытаний, которые принимались за эталонные.

Методика проведения исследований и обработки полученных результатов приведена в работе [9].

Коэффициент утяжеления винтовой характеристики принимался в диапазоне  $0,25 \leq C \leq 3,6$ , а относительная мощность дизеля для каждой винтовой характеристики изменялась в диапазоне  $0,25 \leq N_e \leq 1,0$ . Режим для  $C=3,6$  соответствовал характеристике швартовых испытаний.

Анализ эксплуатационных параметров проводился для относительных значений, которые находились из соотношений

$$\bar{B} = \frac{B}{B_0}, \quad \bar{n} = \frac{n}{n_0}, \tag{1}$$

где  $B$  – значение параметра или критерия, соответствующего частоте вращения  $n$  конкретной винтовой характеристики;

$B_0, n_0$  – значения параметра и частоты вращения, соответствующие стопроцентной мощности номинальной винтовой характеристики.

Давление наддува при переходе на утяжеленную винтовую характеристику определялось методом последовательных приближений с использованием гидравлической характеристики турбины турбокомпрессора, полученной для номинальной винтовой характеристики. Гидравлическая характеристика представляет зависимость степени понижения давления в турбине  $e_T$  от расхода газа через турбину  $G_T$ , графическое изображение которой представлено на рис.1. На поле диаграммы показана аппроксимационная зависимость  $e_T = f(G_T)$  и достоверность аппроксимации.

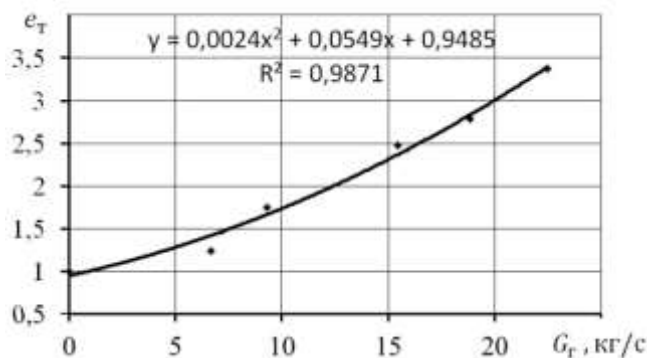


Рис. 1. Гидравлическая характеристика турбины турбокомпрессора

Изменение параметров рабочего тела по циклу дизеля при переходе на утяжеленную винтовую характеристику влияет на состояние деталей цилиндропоршневой группы, определяющих надежность двигателя, особенно в

режиме приработки [10]. Надежность дизеля косвенно оценивается показателями тепловой и механической напряженности.

Механическую напряженность дизеля рекомендуют оценивать максимальным давлением по циклу  $p_z$ , превышение значения которого, установленного для номинального режима эксплуатации не допускается, средним эффективным давлением  $p_e$ , средним давлением за время цикла, максимальной скоростью нарастания давления  $\frac{dp}{d\varphi}$  [5]. Первые три параметра можно отнести к статическим показателям, последний к динамическим. Практика эксплуатации судовых дизелей показала, что определяющими показателями механической напряженности являются  $p_z$  и  $p_e$  [2].

Для оценки теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы при изменении режима работы дизеля рекомендуют использовать параметры и критерии: температуру отработавших в цилиндрах газов  $T_t$ ; средний тепловой поток от газов к охлаждающей воде  $q_c$ ; критерий теплонапряженности поршня  $K_p$ ; критерий теплонапряженности втулки цилиндров  $K_c$  [11], [12]. В связи с тем, что производители дизелей не считают возможным делиться экспериментальными результатами, полученными для ряда эксплуатационных параметров и ограничительных характеристик, даже с персоналом, обслуживающим двигатели, в последнее время для оценки теплонапряженности дизелей стали использовать температуру газов в конце расширения в цилиндре  $T_b$ , влияющую на тепловое состояние выпускного клапана [3]. Какие из перечисленных параметров являются определяющими при назначении ограничительной характеристики дизельные фирмы не указывают.

Для проведения сравнительного анализа диапазона допустимых нагрузок дизеля за предельно допустимые значения перечисленных показателей приняты величины, соответствующие режиму полной мощности номинальной винтовой характеристики и согласованные с результатами тестовых испытаний.

Построению ограничительных характеристик предшествовала аппроксимация зависимостей относительной частоты вращения от относительных значений перечисленных параметров и критериев для ряда коэффициентов утяжеления винтовой характеристики. Следует отметить, что в данном случае отношение текущих параметров выполнялось относительно значений, соответствующих  $\bar{N}_e=1,0$  для конкретной винтовой характеристики с коэффициентом утяжеления  $\bar{C}$ . В качестве примера на рис.2 показана зависимость относительной частоты вращения от средней относительной температуры газа за цилиндром с учетом перемешивания с продувочным воздухом для винтовой характеристики с коэффициентом утяжеления  $\bar{C}=2$ . На поле диаграммы приведена соответствующая регрессионная зависимость, по которой вычислялась относительная частота вращения для предельно допустимого значения  $T_t$ .

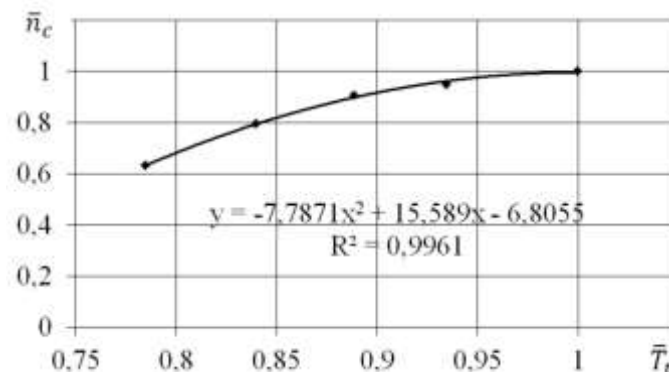


Рис. 2. Зависимость относительной частоты вращения от средней относительной температуры газа за цилиндром для винтовой характеристики с коэффициентом утяжеления  $\bar{C}=2$

Для представления ограничительных характеристик на итоговой диаграмме, соответствующей номинальной винтовой характеристике определялось новое значение относительной частоты по формуле

$$\bar{n} = \bar{n}_c \sqrt[3]{\frac{1}{\bar{C}}}. \quad (2)$$

Мощность, соответствующая предельно допустимому параметру ограничительной характеристики для конкретного  $\bar{C}$ , определялась по выражению

$$\bar{N}_e = \bar{C} \bar{n}^3. \quad (3)$$

### Результаты исследования и их обсуждение

Итоговая диаграмма предполагаемых ограничительных характеристик, полученных расчетно-теоретическим способом для различных режимов работы дизеля представлена на рис.3. Зона возможных режимов работы дизеля находится между швартовной винтовой характеристикой (крайняя левая среди утяжеленных винтовых характеристик 2 с коэффициентом утяжеления  $\bar{C}=3,6$ ) и облегченной характеристикой (нижняя из облегченных характеристик 3, с коэффициентом утяжеления  $\bar{C}=0,25$ ). Номинальная винтовая характеристика 1 проходит через точку А, соответствующую номинальному режиму эксплуатации. Не все участки указанной зоны допускают длительную эксплуатацию, когда показатели механической и тепловой напряженности не превышают предельных значений.

Исследования и опыт эксплуатации дизелей показали, что определяющими факторами механической напряженности являются максимальное давление сгорания  $p_z$ , превышение значения которого, установленного для номинального режима, не допускается и крутящий момент дизеля  $M_e$ , пропорциональный среднему эффективному давлению  $p_e$ . На диаграмме ограничительная характеристика  $M_e = const$  (позиция 8) расположена ниже ограничительной характеристики  $p_z = const$  (позиция 12), поэтому режимы между этими характеристиками будут соответствовать превышению предельно-допустимого значения  $M_e$ . Выше отмечалось, что оценка влияния динамического показателя механической напряженности - максимальной скорости нарастания давления  $\frac{dp}{d\varphi}$  на надежность дизеля требует проведения дополнительных исследований. Ограничительная характеристика  $\frac{dp}{d\varphi} = const$  (позиция 13) близка к ограничительной характеристики  $p_z = const$ , в связи с этим на режимах эксплуатации, расположенных на диаграмме ниже ограничительной характеристики  $M_e = const$  значения  $p_z$  и  $\frac{dp}{d\varphi}$  будут ниже предельно допустимых.

В процессе исследований мощных дизелей с турбонаддувом было подтверждено, что характеристика  $M_e = const$  не удовлетворяет в полной мере условию работы дизелей без тепловой перегрузки [2]. Ограничительная характеристика по тепловой напряженности, предусматривающая ограничения по конкретным эксплуатационным параметрам, зависит от конструктивных решений охлаждения деталей цилиндропоршневой группы. В связи с этим ограничительная характеристика по тепловой напряженности для каждого типа дизеля определяется экспериментальным путем в процессе длительных и всесторонних испытаний, что является дорогостоящим мероприятием. Дизельные фирмы «МАН» и «Бурмейстер и Вайн» в отличие от фирмы «Зульцер» разрешают длительную эксплуатацию дизеля по

характеристике  $M_e = const$  в диапазоне частоты вращения (0,95-1,03)  $n$ . Фирма «Зульцер» расширила этот диапазон до (0,9-1,03)  $n$ .

Максимальную температуру цикла  $T_z$  не считают определяющим параметром тепловой напряженности. Это связано с тем, что  $T_z$  в процессе эксплуатации не контролируется, изменяется циклично и за время цикла имеет короткую продолжительность. Однако она влияет на температуру газа в характерных точках цикла и, соответственно, на факторы, определяющие тепловую напряженность дизеля. На рис.3. приведена характеристика  $T_z = const$  (позиция 4). Крутопадающий характер изменения характеристики свидетельствует о существенном повышении  $T_z$  с утяжелением винтовой характеристики.

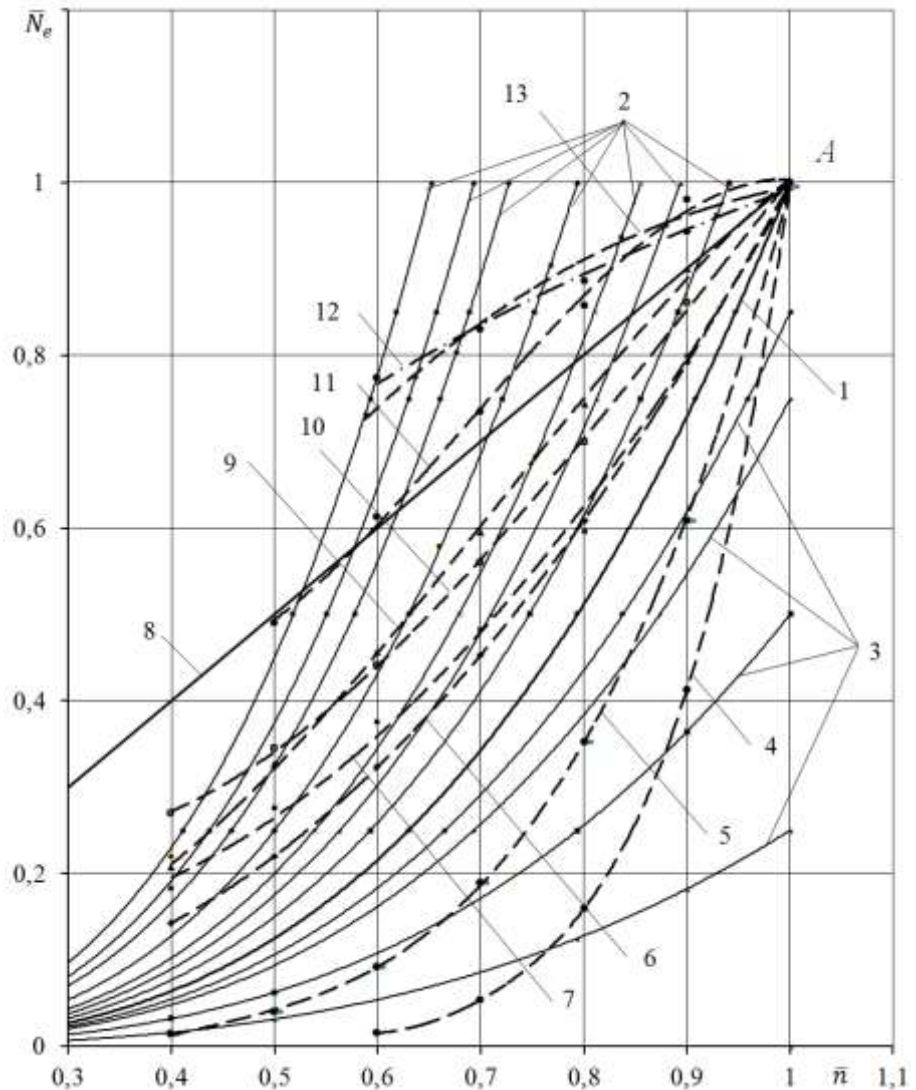


Рис. 3. Диаграмма анализа допустимых режимов работы двухтактного дизеля

В ряде случаев теплонпряженность дизеля рекомендуют оценивать средним удельным тепловым потоком от газов к охлаждающей воде  $q_c$ , который зависит от средней температуры рабочего тела за время цикла  $T_{cp}$  [11]. Характеристика  $T_{cp} =$

$const$  (позиция 5) также, как и  $T_z = const$  соответствует интенсивному снижению мощности дизеля с уменьшением частоты вращения, что свидетельствует о существенном увеличении  $T_{cp}$  с утяжелением винтовой характеристики. Тепловой поток  $q_c$  имеет меньшую интенсивность изменения, о чем свидетельствует более пологая характеристика  $q_c = const$  (позиция 10). Это можно объяснить снижением коэффициента теплоотдачи от газов к стенке цилиндра при замедлении рабочих процессов двигателя с уменьшением частоты вращения при утяжелении винтовой характеристики.

Предельно допустимое тепловое состояние поршня может быть оценено критерием  $K_{п}$ , предложенным А.К. Костиным [5]. Ограничительная характеристика  $K_{п} = const$  (позиция 9), по интенсивности изменения, практически, соответствует  $q_c = const$ . Следует отметить, что  $K_{п}$  имеет линейную взаимосвязь с температурами отдельных точек поршня и по характеру его изменения можно судить об изменении температуры поршня.

Теплонапряженность втулки цилиндра С.В. Камкин рекомендует оценивать критерием  $K_c$  [12]. Характер изменения ограничительной характеристики  $K_c = const$  (позиция 13) свидетельствует о слабой зависимости этого критерия от коэффициента утяжеления винтовой характеристики.

Наиболее доступным и наглядным параметром, косвенно оценивающим теплонапряженность цилиндропоршневой группы дизеля, является температура отработавших в цилиндре газов  $T_t$  [12]. Ограничительная характеристика  $T_t = const$  (позиция 6) является достаточно круто падающей, что означает существенное увеличение  $T_t$  при утяжелении винтовой характеристики. Ограничительная характеристика  $T_b = const$  (позиция 7), практически, изменяется аналогично  $T_t = const$ , следовательно при утяжелении винтовой характеристики интенсивность изменения температуры газа в конце процесса расширения в цилиндре соответствует интенсивности изменения  $T_t$ .

Сопоставляя полученные характеристики по параметрам и критериям механической и тепловой напряженности можно сделать вывод, что для данного дизеля определяющей по тепловой напряженности является характеристика  $T_t = const$ .

На основании расчетно-теоретических исследований, с учетом рекомендаций дизельной фирмы «МАН» определена зона режимов работы дизеля, допускающих длительную эксплуатацию, которая представлена на рис.4. Эта зона ограничена фигурой  $ABCDE$ . Следует отметить, что ограничительная характеристика по тепловой напряженности (кривая 2) построена из условия плавного перехода из точки  $B$  к ограничительной характеристике  $T_t = const$ . Дизельная фирма «МАН» разрешает длительную эксплуатацию дизеля по характеристике  $M_e = const$  в диапазоне частоты вращения  $(0,95-1,03) \bar{n}$  (участок  $AB$ ).

Аналогичные исследования, выполненные для четырехтактного дизеля марки 8L 58/64 фирмы «МАН», показали, что определяющей для тепловой напряженности является характеристика  $T_b = const$  [9]. Это указывает на тот факт, что диапазон режимов длительной эксплуатации зависит от конструктивных особенностей дизеля и организации системы охлаждения цилиндропоршневой группы.

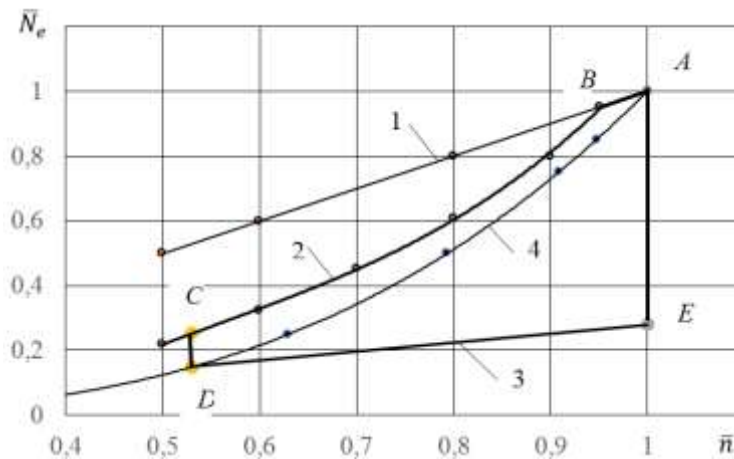


Рис. 4. Зона режимов работы дизеля, допускающих длительную эксплуатацию:

1 – ограничительная характеристика  $M_e = const$ ; 2 – ограничительная характеристика по тепловой напряженности; 3 – характеристика холостого хода; 4 – номинальная винтовая характеристика.

### Выводы

Выполненные расчетно-теоретические исследования позволили определить предполагаемый диапазон режимов, допускающий длительную эксплуатацию дизеля. Использование аналогичного исследования на стадии проектирования дизелей позволит заблаговременно оценить соответствие предлагаемого проекта техническому заданию и, при необходимости, внести соответствующие корректировки.

Сравнение расчетных ограничительных характеристик построенным по рекомендуемым параметрам и критериям тепловой напряженности показали, что для данного дизеля определяющей является характеристика  $T_t = const$ .

При нормальных условиях эксплуатации, соответствующих номинальной винтовой характеристике, дизель будет работать без перегрузок по механической и тепловой напряженности для диапазона частот вращения от минимально устойчивых до номинальных. Аналогичные условия эксплуатации сохранятся при утяжелении винтовой характеристики на 40%.

### Список литературы

1. Конюков В.Л. Сравнение показателей напряженности главного двигателя буксиратора при работе в режимах буксировки и толкания. Научные проблемы водного транспорта. Нижний Новгород 2023, №75 (2) С. 118-126 DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi75/373>
2. Кацман Ф.М. Эксплуатация пропульсивного комплекса морского судна. М.: Транспорт, 1987 – 223 с.
3. 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
4. Васькевич 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. <https://dx.doi.org/10.17213/0321-2653-2018-3-83-94>
5. Возницкий И.В., Иванов Л.А. Предотвращение аварий судовых двигателей внутреннего сгорания. – М.: Транспорт, 1971. – 191 с.



6. Diesel Facts. A Technical Customer Magazine of MAN Diesel & Turbo. 3/2013, P. 12.
7. Конюков В.Л. Влияние коэффициента избытка воздуха при горении на показатели напряженности двухтактного дизеля в широком диапазоне режимов. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Морская техника и технология. Астрахань, 2020. №3. – С, 54-61. DOI: 10/24143/2073-1574-2020-3-54-63.
8. 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.
9. Конюков В.Л. Анализ эксплуатационных параметров судового четырехтактного дизеля при изменении винтовой характеристики. // Вестник керченского государственного морского технологического университета. Керчь 2023. Вып.2 С.54-63 DOI: 10.26296/2619-060552023.2.2.005
10. Матвеев Ю.И., Храмов М.Ю., Колыванов В.В., Курицын С.Ю. Повышение работоспособности деталей цилиндропоршневой группы судовых дизелей. Научные проблемы водного транспорта. Нижний-Новгород 2023, №76 (3) С. 99-110. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi76/400>
11. 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.
12. Олейников Б. Н. Техническая эксплуатация дизелей судов флота рыбной промышленности. М.: Агропромиздат, 1986. 269 с.

#### References

1. Konyukov V.L. Sravnenie pokazatelei napryazhennosti glavnogo dvigatelya buksira-tolkacha pri rabote v rezhimakh buksirovki i tolkaniya. [Comparison of tension indicators of the main engine of a pusher tug when operating in towing and pushing modes]. Nauchnye problemy vodnogo transporta. [Scientific problems of water transport]. Nizhnii-Novgorod 2023, №75 (2) P. 118-126 DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi75/373> (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. 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)
4. Vaskevich F.A., Zubko S.S. Otsenka parametrov rabocheho 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. <https://dx.doi.org/10.17213/0321-2653-2018-3-83-94> (In Russian)
5. Voznitskiy I.V., Ivanov L.A. Predotvrashcheniye avariyy sudovykh dvigateley vnutrennego sgoraniya. [Prevention of accidents of marine internal combustion engines]. – M.: Transport. 1971. – 191 s. (In Russian)
6. Diesel Facts. A Technical Customer Magazine of MAN Diesel & Turbo. 3/2013, P. 12.
7. Koniukov V. L. Vliianie koeffitsienta izbytkha vozdukha pri gorenii na pokazateli napriazhennosti dvukhtaktnogo dizelia v shirokom diapazone rezhimov [Influence of excess air ratio during combustion on tension indicators of two-stroke diesel engine in wide range of modes]. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya, [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Ser.: Marine engineering and technology] 2020, no. 3, pp. 54-61. DOI: 10/24143/2073-1574-2020-3-54-63 (In Russian)
8. Svidetelstvo RU2022685277 Rossiyskaya Federatsiya. Programma rascheta parametrov rabocheho protsessa dizelya s nadduvom «Diesel K»: programma dlya EVM Certificate RU2022685277 Russian Federation. [The program for calculating the parameters of the working process of a supercharged diesel "Diesel K": computer program] / A.N. Gorbenko. – Opubl. 22.12.2022. Byul. №1. (In Russian)
9. Konyukov V.L. Analiz ekspluatatsionnykh parametrov sudovogo chetyrehtaktnogo dizelya pri izmenenii vintovoi kharakteristiki. [Analysis of the operational parameters of a marine

- four-stroke diesel engine when changing the propeller characteristics] Vestnik kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta. [Bulletin of the Kerch State Marine Technological University] Kerch 2023. Vyp.2 P.54-63 DOI: 10.26296/2619-060552023.2.2.005 (In Russian)
10. Matveev YU.I., Khramov M.YU., Kolyvanov V.V., Kuricyn S.YU. Povyshenie rabotosposobnosti detalej cilindroporshnevoj gruppy sudovykh dizelej [Improving the performance of parts of the cylinder-piston group of marine diesel engines] Nauchnye problemy vodnogo transporta. [Scientific problems of water transport] Nizhnij-Novgorod 2023, №76 (3) P. 99-110. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi76/400> (In Russian)
  11. 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.
  12. Oleinikov B. N. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya dizelei sudov flota rybnoi promyshlennosti [Technical operation of diesel engines on fishing vessels]. Moscow, Agropromizdat, 1986. 269 p.

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

**Конюков Вячеслав Леонтьевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок. Керченский государственный морской технологический университет. 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, e-mail: [seykgmtu@mail.ru](mailto:seykgmtu@mail.ru)

**Viacheslav L. Konyukov**, Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the department of ship power plants. Kerch State Maritime Technological University. 298309, Republic of Crime, Kerch, Ordzhonikidze str., 82, e-mail: [seykgmtu@mail.ru](mailto:seykgmtu@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 07.11.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 07.11.2023; published online 20.03.2024

УДК 621.314

DOI: 10.37890/jwt.vi78.420

## **Система двойного рода тока с обратимым валогенератором в составе судовой энергетической установки**

**Ю.С. Мальшев**

*ORCID: 0000-0001-9008-1198*

**О.А. Бурмакин**

**С.В. Попов**

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

**Аннотация.** В статье проведен анализ судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) с валогенераторными установками (ВГУ) переменной и постоянной частоты вращения с механическим и электрическим регулированием параметров. Рассмотрена работа ВГУ в генераторном и двигательном режимах. Выявлены основные достоинства и недостатки существующих СЭЭС с ВГУ. Приведена функциональная однолинейная схема СЭЭС со встроенной сетью постоянного тока и рассмотрен возможный состав такой системы. Указана возможность применения возобновляемых источников при использовании встроенной сети постоянного тока. Рассмотрена целесообразность применения возобновляемых источников в зависимости от района плавания судна. Предложены структуры комбинированной СЭЭС с встроенной сетью постоянного тока и обратимым валогенератором. Обоснованы предлагаемые схемные решения интегрирования в СЭЭС обратимого валогенератора и их экономическая целесообразность.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, двойной род тока, судовая электростанция, встроенная сеть постоянного тока, обратимый валогенератор.

## **Dual current system with a reversible shaft generator as part of a ship's power plant**

**Yuriy S. Malyshev**

*ORCID: 0000-0001-9008-1198*

**Oleg A. Burmakin**

**Sergey V. Popov**

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

**Abstract.** The article analyzes shipboard electric power systems (SEPS) with shaft-generator units (SGU) of variable and constant speed with mechanical and electrical regulation of parameters. The operation of the SGU in the generator and propulsion modes is considered. The main advantages and disadvantages of the existing SEPS with SGU are revealed. A functional single-line diagram of SEPS with a built-in DC network is given and a possible composition of such a system is considered. The possibility of using renewable sources when applying the built-in DC network is indicated. The feasibility of employing renewable sources depending on the area of navigation of the vessel is considered. Structures of a combined SEPS with a built-in DC network and a reversible shaft generator are proposed. The proposed circuit solutions for integrating a reversible shaft generator into the SEPS and their economic feasibility are substantiated.

**Keywords:** electric power system, dual current, ship power plant, built-in DC network, reversible shaft generator.

**Введение**

Валогенераторные установки (ВГУ) применяются на судах для снижения себестоимости электроэнергии и экономии топлива. Изначально в ВГУ использовались нерегулируемые генераторы, работающие с допустимыми параметрами вырабатываемой электроэнергии в узком диапазоне изменения частот вращения валопровода (рис. 1, а, б, в) [1]. Поэтому на речных судах, работающих в условиях затрудненного судоходства, отказывались от использования нерегулируемых ВГУ. Регулируемые ВГУ работают в широком диапазоне частот вращения валопровода, при этом стабилизация параметров вырабатываемой электроэнергии происходит либо с помощью различных механических устройств, либо электрических преобразователей (см. рис. 2 – рис. 4). Примером механического регулирования частоты вращения валогенератора являются установки с мультипликатором (см. рис. 1, г, д). Для поддержания частоты вращения вала генератора, в случаях остановки или значительного снижения числа оборотов ГД, устанавливался вспомогательный дизель 5, подключаемый к ВГУ через соединительно-разобщительную муфту 6 (см. рис. 1, г, д). Такие системы имели повышенные массо-габаритные показатели и сложную механическую систему передач.

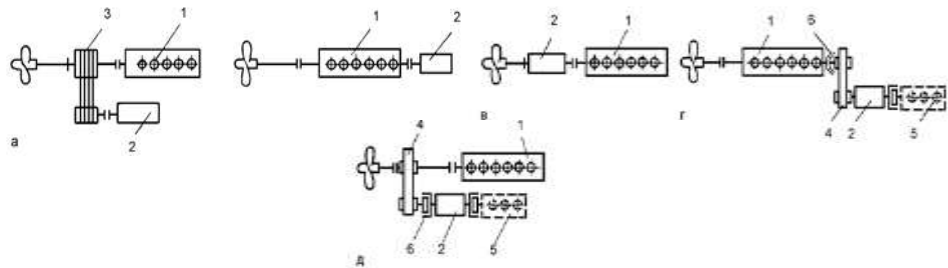


Рис. 1. Схемы привода валогенератора с прямой передачей:

- а - с клиноременной (или цепной) передачей; б - с передачей от свободного конца ГД;
- в - с ВГУ, встроенным в линию вала; г - с мультипликатором от свободного конца ГД;
- д - с мультипликатором от валопровода.

1 - ГД, 2 - ВГУ, 3 - текстурная (клиноременная или цепная) передача, 4 - мультипликатор, 5 - вспомогательный дизель; 6 – соединительно-разобщительная муфта.

Системы ВГУ с электрическим регулированием параметров построены на базе полупроводниковых преобразователей и являются наиболее популярными в настоящее время [2 - 4]. На рис. 2 приведена известная силовая схема ВГУ фирмы Siemens, выполненная на базе тиристорного управляемого выпрямителя UZ2 и инвертора UZ3. Для снижения индуктивной нагрузки на генератор в схеме использован синхронный компенсатор G2. Такая схема отличается сложной системой управления и генерирует высшие гармонические составляющие напряжения в судовую сеть.

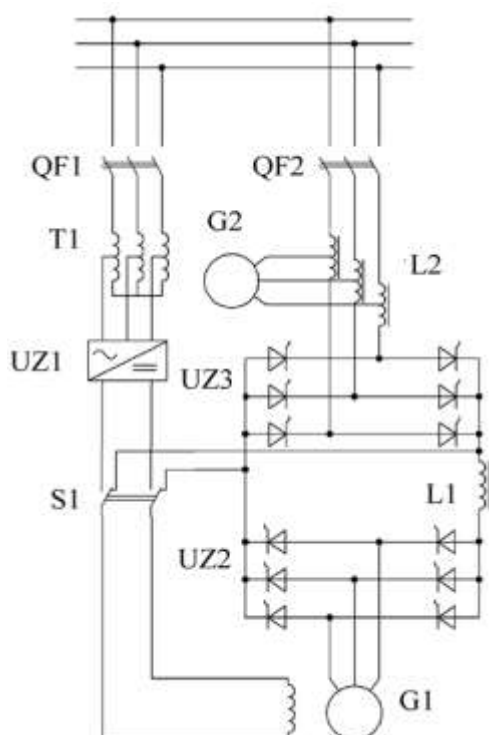


Рис. 2. Силовая схема ВГУ

G1 – синхронный валогенератор; G2 – синхронный компенсатор; UZ1, UZ2 – тиристорный управляемый выпрямитель; UZ3 – инвертор; T1– автотрансформатор; L1 – дроссель; L2 – сглаживающий дроссель; S1 – переключатель; QF1, QF2 - автоматические выключатели

Основным режимом работы ВГУ является автономный генераторный режим, который используется при относительном постоянстве частоты вращения валопровода. При больших отклонениях частоты вращения необходимо перевести электрическую нагрузку на основную электростанцию, путем кратковременного включения на параллельную работу с ней. Длительная параллельная работа ВГУ и основной электростанции, из-за сложности регулирования в динамических режимах, затруднена. Также ВГУ могут использоваться в двигательном режиме работы для обеспечения малого хода судна. Такие ВГУ называются обратимыми. На рис. 3 приведена структурная схема обратимой ВГУ [Патент РФ на полезную модель №130295 опубл. 20.07.2013] авторов Григорьева А. В., Глеклер Е. А., Кулагина Ю. А. и Зайнуллина Р. Р.

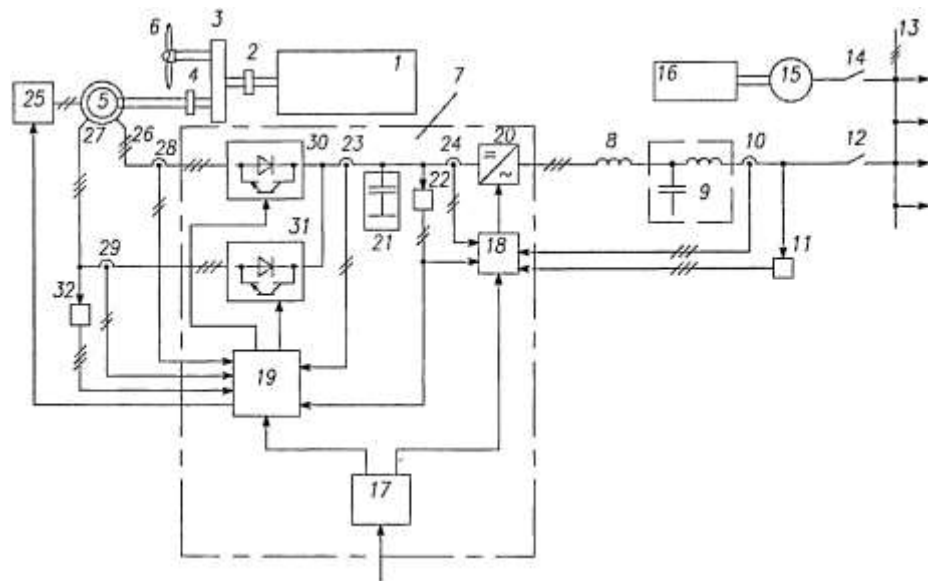


Рис. 3. Функциональная схема обратимой ВГУ:

1 - двигатель приводного вала; 2,4 - разъединительные муфты; 3 – редуктор; 5 - валогенератор; 6 - гребной винт фиксированного шага; 7 - преобразователь частоты; 8 - дроссель; 9 - LC-фильтр; 10, 23, 24, 28, 29 - датчики тока; 11, 22, 32 - датчики напряжения; 12, 14 - автоматические выключатели; 13 - шины судовых электропотребителей; 15 - вспомогательный генератор; 16 - вспомогательный двигатель; 17 - задатчик режимов; 18, 19 - блоки управления; 20 – электрически обратимый инвертор; 21 - конденсаторный накопитель звена постоянного тока; 25 - возбудитель; 26, 27 - выходы первой и второй трехфазных статорных обмоток; 30, 31 - выпрямительные мосты.

В качестве валогенератора данной установки применен вентильно-индукторный обратимый валогенератор 5, к которому подключен возбудитель 25. Напряжение с валогенератора поступает на преобразователь частоты 7, в котором установлены два выпрямительных трехфазных моста 30 и 31. К каждому диоду каждого моста подсоединен управляемый шунтирующий ключ с проводимостью, противоположной проводимости диода. Цепи управления ключей соединены с блоком управления 19. На выходе преобразователя частоты установлен электрически обратимый инвертор 20 со своим блоком управления 18. Для питания потребителей при снижении скорости вращения или остановке вала гребного винта используется вспомогательный генератор 15 со своим вспомогательным двигателем 16 [5].

К недостаткам такой установки является наличие избыточного числа механических (муфты, редуктор) и электрических (управляемые шунтирующие ключи с системой управления, вспомогательный генератор) устройств, усложняющих систему ВГУ и снижающих ее надежность. Кроме того, такая схема содержит три инвертора, обеспечивающие генераторный и двигательный режим ВГУ и сложную систему управления для обеспечения совместного режима работы инверторов [6]. Рассмотренные ВГУ, содержащие преобразовательные устройства, могут обеспечить длительный параллельный режим работы с основной электростанцией судна, однако необходимо решать вопросы, связанные с синхронизацией. Учитывая вышесказанное, основными целями работы являются: Обеспечение длительной параллельной работы валогенератора с сетью, повышение надежности электроснабжения и живучести судна.

### Методы

Более простым, по сравнению с вышеописанными СЭЭС, вариантом обеспечения параллельной работы генераторов является их подключение через звено постоянного тока [7-10]. СЭЭС со встроенной сетью постоянного тока позволяет снизить себестоимость судовой электроэнергетики, экономить топливо, включать в состав преобразовательные устройства - возобновляемые источники, работающие от альтернативных источников энергии. Возобновляемые источники экологичны, но их применение ограничено природными условиями и конструктивными особенностями судна.

Согласно карте распределения среднегодовой скорости ветра по территории России (рис.4) наиболее частые и сильные ветра наблюдаются в северных и восточных регионах страны, а так же районы черного и каспийского морей. Наибольшая интенсивность солнечной радиации (рис.5) наблюдается в южных районах России. Поэтому суда, эксплуатируемые в северных районах плавания, целесообразно снабжать ветрогенераторами, а суда, предназначенные для плавания в южных широтах солнечными батареями.



Рис. 4. Карта распределения розы ветров по территории России

Для судов, район плавания которых расположен в акватории черного и каспийского морей, применимы, как солнечные батареи, так и ветрогенераторы, возможность применения которых на судах рассмотрена в [7-12]. Учитывая зависимость рекомендуемого типа возобновляемого источника от района плавания судна, является актуальным вопрос о оперативной смене типа источника при изменении района плавания. Встроенная сеть постоянного тока позволяет выполнить смену типа источника без существенных изменений основной части СЭЭС.

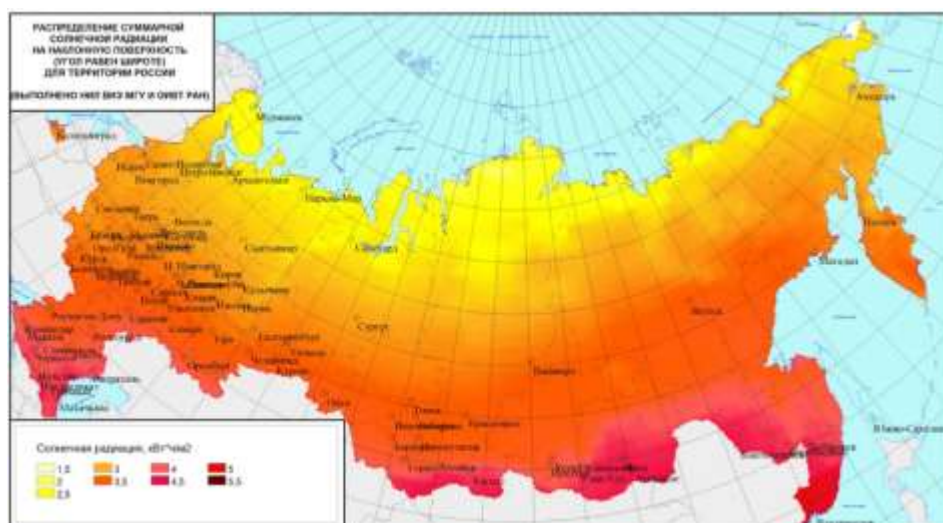


Рис. 5. Распределение суммарной солнечной радиации на территории России

Функциональная однолинейная схема СЭЭС со встроенной сетью постоянного тока показана на рисунке 6.

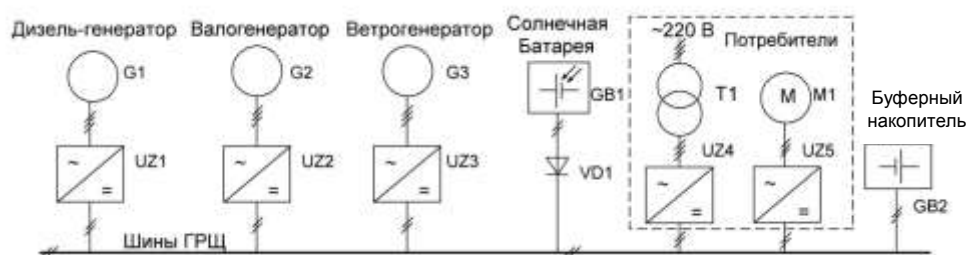


Рис. 6. Функциональная однолинейная схема СЭЭС со встроенной сетью постоянного тока

Схема содержит комбинацию источников, которые в различных условиях могут быть установлены на судно в зависимости от природных условий и его типа. Например, для наливных судов целесообразно применение солнечных батарей в связи с наличием значительных площадей, неиспользуемых поверхностей. Валогенераторы не имеют ограничений, связанных с природными условиями, поэтому целесообразны к применению на большинстве типов судов с СЭЭС со встроенной сетью постоянного тока.

### Результаты

Встроенная сеть постоянного тока позволяет устанавливать валогенераторы без использования сложных передаточных устройств и использовать при этом любой тип генератора, как переменного, так и постоянного тока [7-9]. Наиболее предпочтительно применение асинхронных генераторов в составе ВГУ. Использование более простого и надежного, относительно синхронного, асинхронного генератора (АГ с КЗ ротором) снижает массогабаритные показатели ВГУ и, вместе с тем, ее стоимость. Возбуждение АГ может обеспечиваться либо активным выпрямителем (см. рисунок 7, а), либо конденсаторными установками (см. рисунок 7, б), что подтверждается имитационным моделированием [12].



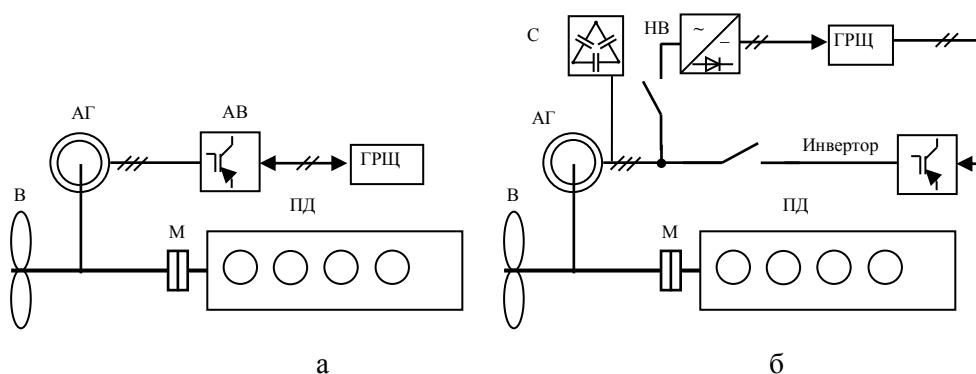


Рис.7. Функциональная схема обратимой ВГУ с инвертором а) и активным выпрямителем б)

Предложенная встроенная сеть постоянного тока позволяет осуществить как генераторный, так и двигательный режим. Применение активного выпрямителя требует наличия в схеме более сложной системы управления с большим числом датчиков для контроля активных и реактивных составляющих тока. Поэтому в судовой электростанции желательно устанавливать преобразователи с более простыми системами управления (см. рисунок 7, б). В генераторном режиме неуправляемый выпрямитель не допускает появления обратной мощности, а в двигательном режиме система управления инвертором значительно проще, чем в случае с активным выпрямителем. Двигательный режим ВГУ осуществляется путем отсоединения ГД от вала гребного винта с помощью соединительно-разобщительной муфты и подачи на нее питания от основных генераторов СЭЭС. Как правило, установленная мощность валогенератора составляет около 10 %, а на некоторых судах специального назначения до 20% от мощности ГД. Этой мощности ВГУ, работающей в двигательном режиме, достаточно для сохранения управляемости судна. Регулирование частоты напряжения на выходе инвертора при этом не требуется, что дополнительно упрощает схему управления инвертором. Однако, целесообразно обеспечить режим плавного пуска гребного электродвигателя для предотвращения провалов напряжения судовой сети. Наличие в сети постоянного тока буферного накопителя в виде аккумуляторной батареи (см. рис. 6) позволяет решить эту задачу, а увеличении ее емкости позволит обеспечить временное движение судна.

В штатном режиме работы электростанции электроэнергия поступает от основных генераторов на шины ГРЦ, обеспечивая заряд АКБ, выполняющей роль буферного накопителя и аварийного источника. При отключении основных источников питания, происходит автоматическое переключение питания ВГУ на аккумуляторную батарею.

### Заключение

Таким образом, использование предложенной схемы реализации обратимой ВГУ, при наличии встроенной сети постоянного тока, позволит: обеспечить надежную работу ВГУ, как в генераторном, так и в двигательном режимах, повысить живучесть судна, обеспечить движение судна с малой скоростью без использования ГД в аварийных и специальных режимах.

### Список литературы

1. Григорьев А.В.; Петухов В.А. Современные и перспективные судовые валогенераторные установки: монография. - СПб.: Изд-во ГМА им. Адм. С.О. Макарова, 2009. - 176с.

2. Basirov R.C., Ismayilov S.S. Avar vintinin addimi tenzim olunan gamilarin val generatoru qurgularinin is rejimlarinin arasdirilmesi. ADDA, Elmi asarlari. - № 1. - Baki. - 2015. - sah. 78- 83.
3. Патент WO 02/100716, Marine propulsion system with reduced on-board network distortion factor / Iden Stefan, Vaupel Gustav, приоритет 11.06.2001, патентообладатель Siemens AG.
4. Мехтиев Г.А., Исмаилов С. С. Двигательный режим работы асинхронизированных синхронных валогенераторов на судах с ВРШ.: Вестник государственного морского университета им. адм. Ф.Ф. Ушакова.- 2017.- №2 (19).- С.27-32.
5. «Судовая гибридная пропульсивная установка» Патент РФ на полезную модель №130295 опубл. 20.07.2013.
6. Соловьёв, А. В., & Поселенов, Е. Н. (2021). Обзор современных систем управления двигателями внутреннего сгорания. Научные проблемы водного транспорта, (67), 42-52. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi67.192>
7. Бурмакин О.А., Попов С.В., Гуляев В.В., Малышев Ю.С. Исследование режимов работы судовой электроэнергетической системы двойного рода тока // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. №. 1. С. 97-104. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2019-1-97-104> (дата обращения: 25.05.2023)
8. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В., Гуляев В.В. Исследование параллельной работы генераторов в системе двойного рода тока (тезисы) Труды 20-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2018». Труды конгресса. - Н.Новгород: ФБОУ ВПО "ВГАВТ", 2018.- Т.2.
9. Малышев Ю.С., Бурмакин О.А., Попов С.В., Гуляев В.В., Луконичев Н.И. Разработка экспериментальной установки для исследования систем двойного рода тока (тезисы) Труды 21-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2019». Труды конгресса. - Н.Новгород: ФБОУ ВПО "ВГАВТ", 2018.- Т.2.
10. Попов, С. В., Бурмакин, О. А., & Малышев, Ю. С. (2022). Особенности параллельной работы дизель-генераторных агрегатов судовой электростанции. Научные проблемы водного транспорта, (73), 67-78. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.313>
11. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Варечкин Ю.В. Современные тенденции использования энергии ветра на судах // Труды 15-го Межд. науч.-пром. форума "Великие реки - 2013". Н. Новгород, Россия. 2013. Т. 2. С. 388-392.
12. Моделирование судовой электростанции со встроенной сетью постоянного тока в среде MatLab / О. А. Бурмакин, В. В. Гуляев, Ю. С. Малышев, С. В. Попов // Интеллектуальная электротехника. – 2021. – № 3(15). – С. 75-84. – DOI 10.46960/2658-6754\_2021\_3\_75. – EDN ZMEUSS.

#### References

1. Grigor'ev A.V.; Petukhov V.A. Sovremennye i perspektivnye sudovye valogeneratornye ustanovki [Modern and promising ship shaft generator installations]: monografiya. SPb.: Izd-vo GMA im. adm. S.O. Makarova, Publ, 2009. - 176p (In Russ).
2. Basirov R.C., Ismayilov S.S. Avar vintinin addimi tenzim olunan gamilarin val generatoru qurgularinin is rejimlarinin arasdirilmesi. ADDA, Elmi asarlari. - № 1. - Baki. - 2015. - sah. 78- 83.
3. Patent WO 02/100716, Marine propulsion system with reduced on-board network distortion factor / Iden Stefan, Vaupel Gustav, prioritet 11.06.2001, patentoobladatel' Siemens AG.
4. Mekhtiev G.A., Ismailov S. S. Dvigatel'nyi rezhim raboty asinkhronizirovannykh sinkhronnykh valogeneratorov na sudakh s VRSH [Motor rejime operation of assjuchrone through synchrone for shoft generators on ships with propeller step regulating valve].: Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. adm. F.F. Ushakova. - 2017.- №2 (19).- P.27-32.
5. «Sudovaya gibridnaya propul'sivnaya ustanovka» [Ship hybrid blading installation] Patent RU na poleznuyu model' №130295 opubl. 20.07.2013.
6. Solov'ev, A. V., & Poselenov, E. N. (2021). Obzor sovremennykh sistem upravleniya dvigatelyami vnutrennego sgoraniya [Overview of modern control systems for internal combustion engines]. Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], (67), P. 42-52. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi67.192>

7. Burmakin O.A., Malyshev YU.S., Popov S.V., Gulyaev V.V. Issledovanie rezhimov raboty sudovoi ehlektroenergeticheskoi sistemy dvoynogo roda toka [Study of the operation modes of the court electric power system of double current type]. Morskaya tekhnika i tekhnologiya. Nauchnyi zhurnal 1 fevralya 2019. – Izd-vo AGTU, Astrakhan', 2019 – P. 97-104.
8. Burmakin O.A., Malyshev YU.S., Popov S.V., Gulyaev V.V. Issledovanie parallelnoi raboty generatorov v sisteme dvoynogo roda toka [Study of parallel operation of generators in a double current kind system] (tezisy) Trudy 20-go Mezhdunarod-nogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki - 2018». Trudy kongressa. - N.Novgorod: FBOU VPO "VGAVT", 2018.- T.2.
9. Malyshev YU.S., Burmakin O.A., Popov S.V., Gulyaev V.V., Lukonichev N.I. Razrabotka ehksperimental'noi ustanovki dlya issledovaniya sistem dvoynogo roda toka [Development of an experimental installation for studying double current kind system] (tezisy) Trudy 21-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki - 2019». Trudy kongressa. - N.Novgorod: FBOU VPO "VGAVT", 2018.- T.2.
10. Popov, S. V., Burmakin, O. A., & Malyshev, YU. S. (2022). Osobennosti parallelnoi raboty dizel'-generatornykh agregatov sudovoi ehlektrostantsii [Peculiarities of parallel operation of diesel-generator units of a ship power plant]. Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], (73), P. 67-78. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.313>
11. Burmakin O.A., Maly'shev Yu.S., Varechkin Yu.V. Sovremennyye tendentsii ispol'zovaniya e`nergii vetra na sudax [Current trends in using wind energy on ships] // Trudy` 15-go Mezhd. nauch.-prom. foruma "Velikie reki - 2013". N. Novgorod, Rossiya. 2013. T. 2. S. 388-392.
12. Modelirovanie sudovoj e`lektrostantsii so vstroennoj set`yu postoyannogo toka v srede MatLab [Simulation of ship power plant with built-in dc network in MatLab] / O. A. Burmakin, V. V. Gulyaev, Yu. S. Maly'shev, S. V. Popov // Intellektual'naya e`lektrotexnika [Smart Electrical Engineering]. – 2021. – № 3(15). – S. 75-84. – DOI 10.46960/2658-6754\_2021\_3\_75. – EDN ZMEUSS

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

**Малышев Юрий Сергеевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: elektrikasp@mail.ru

**Yuriy S. Malyshev**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

**Бурмакин Олег Анатольевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: boa\_71@mail.ru

**Oleg A. Burmakin**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

**Попов Сергей Васильевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: Popovsev3@ya.ru

**Sergey V. Popov**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: Popovsev3@ya.ru

Статья поступила в редакцию 25.07.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 25.07.2023; published online 20.03.2024

УДК 621.432.542.5

DOI: 10.37890/jwt.vi78.462

## **Анализ эксплуатации и отказов энергетической установки на скоростных судах с полупогружными винтами**

**В.Р. Сaitгареев**

*Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия*

**Аннотация.** Последнее столетие судостроение тесно связано с решением острейшей проблемы повышения скорости движения судов. Строители быстроходных судов привычно обосновывают эту борьбу за скорость в связи с требованиями современного рынка. В России, как и во всем мире, есть потребность в современных, скоростных, манёвренных и экономичных судах. Для реализации указанной потребности ЦМКБ «Алмаз» разработал, Рыбинский завод «Вымпел» запустил в серию скоростное судно с полупогружными винтами проекта 12150 «Мангуст». В настоящее время выпущено около 75 судов [1]. В данной статье проведен анализ работы зарубежных и отечественных двигателей, накопленный при эксплуатации высокооборотных двигателей MTU 10V2000M93 (производство - Германия), ЗВЕЗДА М470МК-М3 (производство - Россия) установленных на скоростных судах проекта 12150. В частности, сведения о наиболее характерных отказах деталей элементов главных энергетических установок и пропульсивного комплекса в целом, а также о возможных причинах возникновения и развития типичных неисправностей двигателей, установленных на указанных скоростных судах, которые позволяют оценить преимущества и недостатки используемой энергетической установки.

**Ключевые слова:** двигатель, привод Арнесона, скоростные суда, полупогружные винты, проект 12150, MTU 10V2000M93, М470МК-М3, пропульсивный комплекс, импортозамещение.

## **The analysis of operation and failures of a power plant on high-speed vessels with semi-submersible propellers**

**Vadim R. Saitgareev**

*Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia*

**Abstract.** For the last century shipbuilding has been closely connected with the solution of the acute problem of increasing the speed of ships. Builders of high-speed vessels habitually justify this struggle for speed in connection with the requirements of the modern market. In Russia, as well as all over the world, there is a need for modern, high-speed, maneuverable and economical vessels. To meet this need, Almaz Central Design Bureau has developed and Rybinsk Vimpel Plant has launched a high-speed vessel with semi-submersible propellers of project 12150 "Mongoose". Currently, about 75 ships have been launched [1]. This article analyzes the work of foreign and domestic engines accumulated during the operation of high-speed engines MTU 10V2000M93 (manufactured in Germany), ZVEZDA M470MK-M3 (manufactured in Russia) installed on high-speed vessels of the project 12150. In particular, information about the most characteristic failures of the components of the main power plant elements and the propulsion system as a whole, as well as possible causes of the occurrence and development of typical engine failures installed on these high-speed vessels, which allow to evaluate the advantages and disadvantages of the used power plant.

**Keywords:** engine, Arneson drive, high-speed vessels, semi-submersible propellers, project 12150, MTU 10V 2000 M 93, M470MK-M3, propulsive complex, import substitution.

### Введение

Высокоскоростные глиссирующие суда прибрежной зоны проекта 12150 «Мангуст» (рис. 1) предназначены для использования в МЧС, таможенной службе, рыбоохране и т.д.



Рис. 1. Скоростное судно «Мангуст» проекта 12150

Данные суда развивают скорость до 48 узлов при водоизмещении 28 тонн. Максимальная дальность плавания 410 миль при скорости 36 узлов. Двухвальная энергетическая установка таких судов (рис. 2) состоит из двух высокооборотных двигателей суммарной мощностью до 2400 кВт, реверс-редукторов, торсионных валов и приводов Арнесона с полупогруженными винтами фиксированного шага (рис. 3). Основные режимы движения такого типа судов: водоизмещающий и глиссирующий.

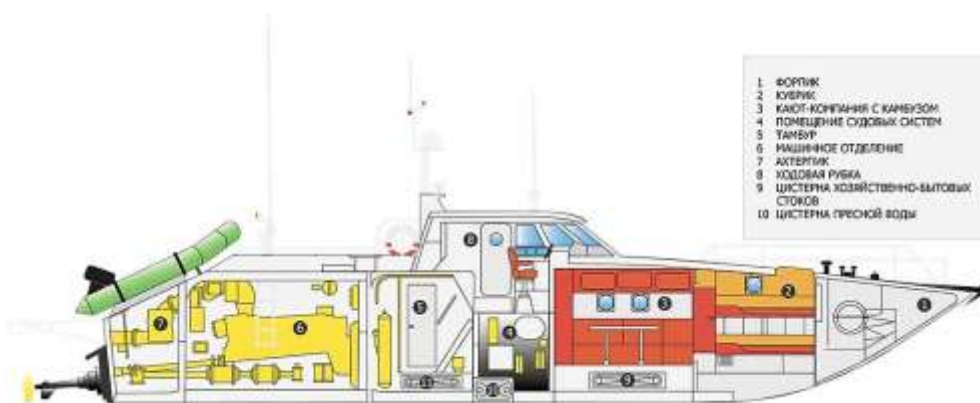


Рис. 2. Разрез судна проекта 12150 [2]

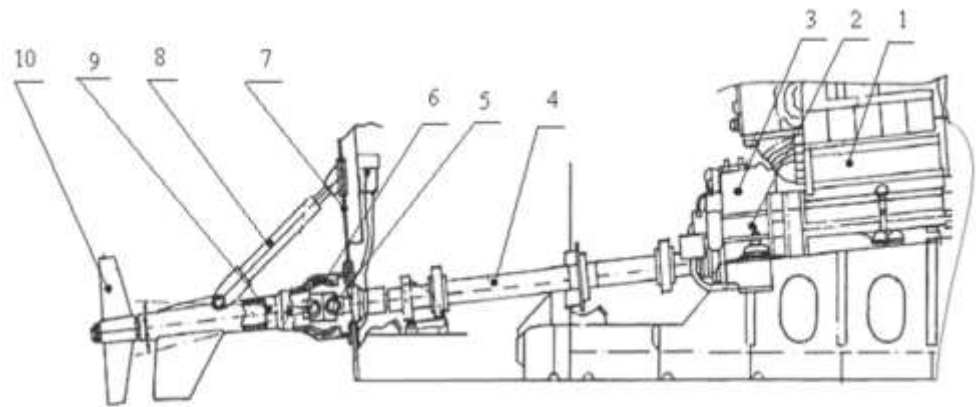


Рис. 3. Пропульсивный комплекс скоростного судна проекта 12150:  
 1 – главный двигатель; 2 – реверс-редуктор; 3 – эластичная муфта; 4 – торсионный вал;  
 5 – карданная муфта; 6 – сферический шарнир; 7 – корпус (транец судна); 8 – гидроцилиндр;  
 9 – гребной вал; 10 – гребной винт [3]

### Результаты анализа

Проведен анализ интенсивности использования судов проекта 12150 эксплуатируемых в Азово-Черноморском бассейне РФ. В качестве главных двигателей (далее - ГД) установлены: M470МК-М3 (РФ), MTU 10V2000M93 (Германия). Судно может переходить в глиссирующий режим при работе только двух двигателей.

Данный анализ показал, что средняя наработка главной энергетической установки не превышает 12 % от годового фонда рабочего времени (рис. 4). Это вызвано подъемом в зимний период судов на слип, низкой мореходностью и существующей сложностью в организации сервисного обслуживания импортного оборудования.

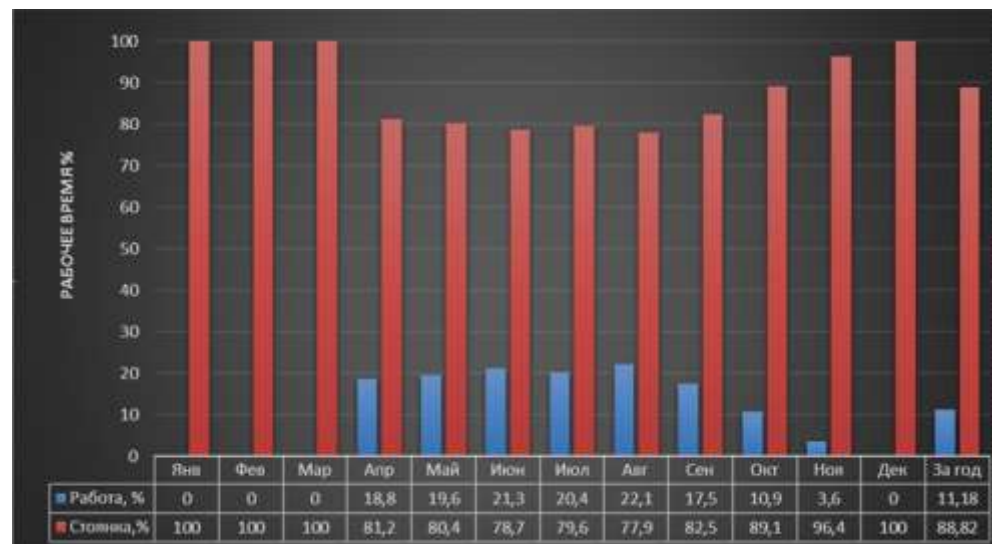


Рис. 4. Среднегодовые наработки ГД в эксплуатации

Данные по времени работы ГД на различных режимах приводятся на круговой диаграмме (рис. 5, 6). Основные режимы работы ГД MTU 10V2000M93 от 2100 до 2400 мин<sup>-1</sup> составляют около 55 % от общего количества времени работы двигателей.

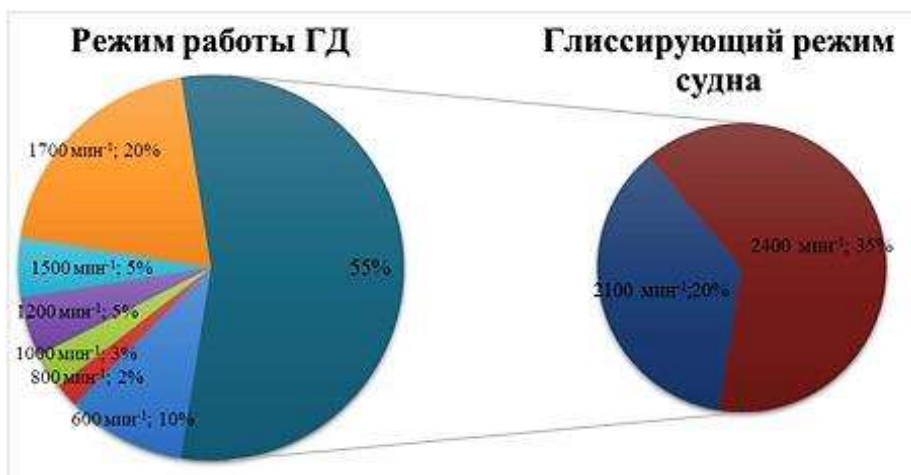


Рис. 5. Время эксплуатации ГД MTU на различных режимах работы.

Основные режимы работы ГД M470MK-M3 от 1300 до 1600 мин<sup>-1</sup> составляют около 60 % от общего количества времени работы двигателей.

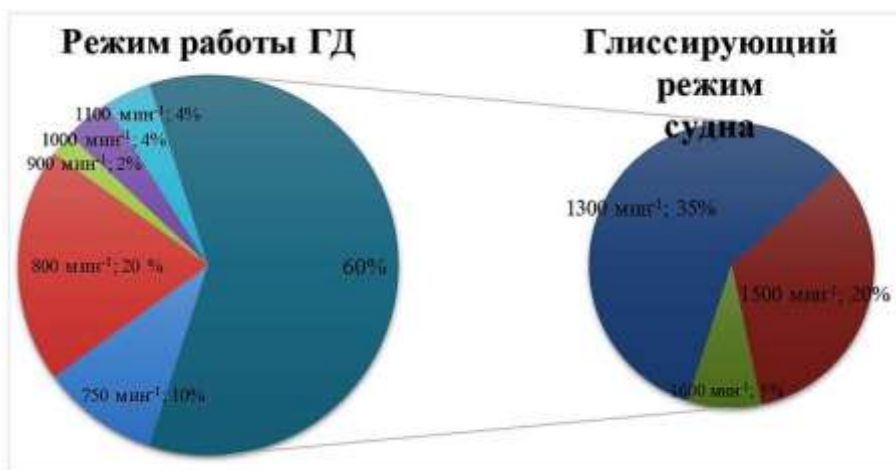


Рис. 6. Время эксплуатации ГД M470 на различных режимах работы

Средняя наработка ГД составляет около 250 часов в год из 1000 часов, рассчитанных производителем.

В целях установления наибольшего количества отказов технических средств энергетической установки скоростных судов проекта 12150 проведен анализ выходов из строя узлов всего пропульсивного комплекса (далее - ПК). Выделены основные элементы: корпус судна (1); ГД (2); реверс-редуктор (3); эластичная муфта (4); торсионный вал (5); опорно-упорный подшипник (6); гребной винт (7); привод Арнесона (8).

В таблице 1 приведены характерные отказы, дефекты и повреждения основных элементов ПК скоростных судов за 10 лет эксплуатации в Азово-Черноморском

бассейне РФ. Источникам информации послужили: формуляры судов и технических средств ПК.

Таблица 1

**Отказы, дефекты и повреждения основных элементов ПК**

№ п/п	Основные узлы	Неисправности, %	Номера судов										Всего	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Корпус судна	2		1								1		2
2	ГД	43	1		2	2	1	1	10	8	5	7		37
3	Реверс-редуктор	3,5	1	1			1							3
4	Эластичная муфта	3,5		1		1		1						3
5	Торсионный вал	8	1	1	1	1	2	1						7
6	Опорно-упорный подшипник	3,5		1	1		1							3
7	Гребной винт	5,5	1	1		2		1						5
8	Привод Арнесона	31	4	2	4	3	5	4	1	1	1	1		27
Общее количество:		100	8	8	8	9	10	8	11	9	7	8		87

Из таблицы 1 видно, что наибольшее количество отказов и повреждений при эксплуатации допускается в узлах ПК: ГД (2) и привод Арнесона (8).

Таблица 2

**Данные по отказам двигателей MTU 10V2000M93**

Наименование, год выпуска	Количество двигателей, шт	В эксплуатации, лет	Средняя наработка ГД, часы	Общее количество отказов, шт.	По характеру отказов		
					производственные	эксплуатационные	конструктивные
судно 2008 года выпуска	2	16	2362	1	0	1	0
судно 2009 года выпуска	2	15	1654		0	0	0
судно 2009 года выпуска	2	15	2701	2	2	0	0
судно 2011 года выпуска	2	13	1041	2	2	0	0
судно 2011 года выпуска	2	13	1751	1	1	0	0
судно 2011 года выпуска	2	12	3194	1	1	0	0
Итого	12	Среднее 14	Средняя 2117	7	6	1	0



Данные по отказам двигателей MTU 10V2000M93 за время эксплуатации представлены в таблице 2.

Анализ рекламационной работы, отчетной и эксплуатационной документации, актов дефектации и материалов технической экспертизы по данным судам показал, что выходы из строя двигателей MTU 10V2000M93 носят производственный отказ, связанный с единичным производством некачественных узлов двигателя (рис. 7).

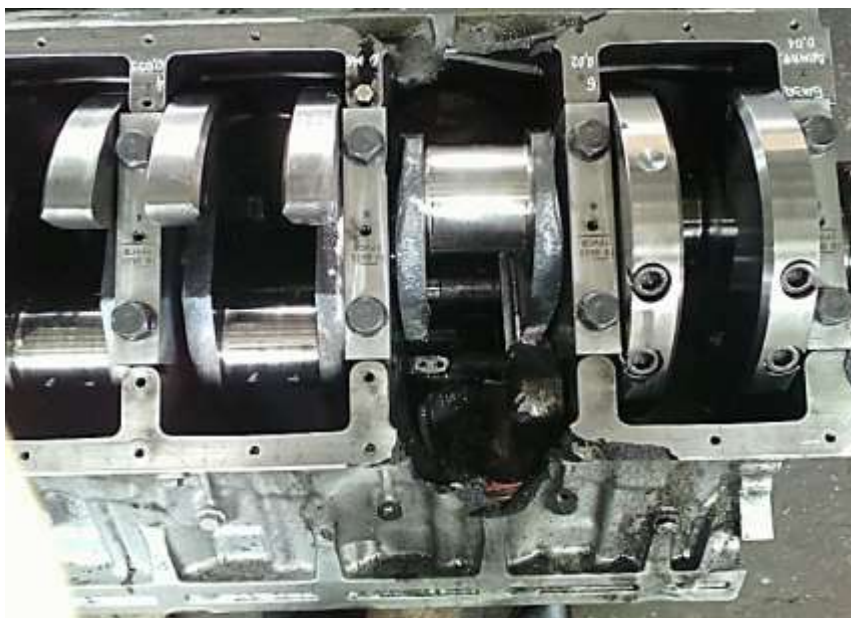


Рис. 7. Разрушение нижней части гильзы цилиндра А5 двигателя MTU 10V2000M93.

Данные по отказам двигателей М-470-01-МЗ за время эксплуатации представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Данные по отказам двигателей М-470-01-МЗ**

Наименование, год выпуска	Количество двигателей, шт	В эксплуатации, лет	Средняя наработка ГД, часы	Общее количество отказов, шт.	По характеру отказов		
					производственные	эксплуатационные	конструктивные
судно 2016 года выпуска	2	8	1290	10	5	0	5
судно 2016 года выпуска	2	8	1250	7	5	0	2
судно 2016 года выпуска	2	8	690	8	3	0	5
судно 2016 года выпуска	2	8	1470	5	3	0	2
Итого	8	Среднее 8	Средняя 1175	30	16	0	14

Анализ отчетной и эксплуатационной документации, актов дефектации и материалов технической экспертизы, а также данные из таблицы 3 подтверждают низкое качество производства двигателей М-470-01-МЗ (рис. 8).

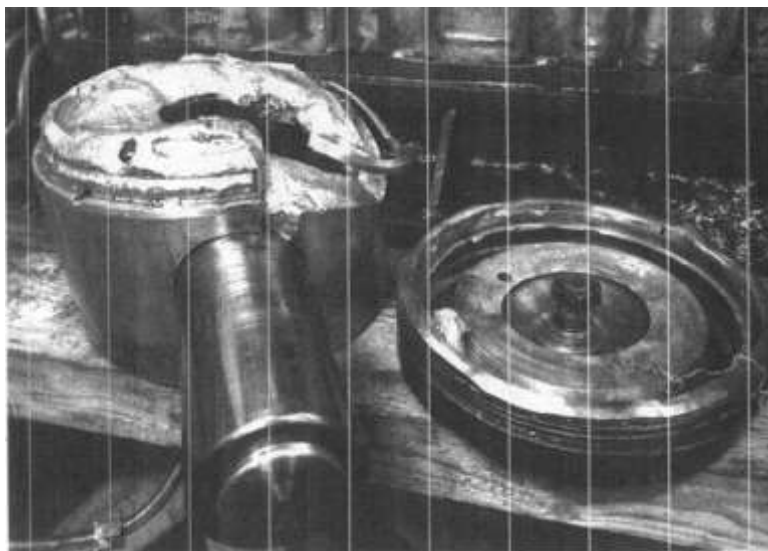


Рис. 8. Разрушения поршня, вызванные микротрещиной на поверхности тронка поршня двигателя М-470

В период эксплуатации скоростных судов на двигателях М-470 выявлено - 30 отказов, в том числе:

- в период гарантийного обслуживания - 21;
- в послегарантийный период - 9.
- По статистическим данным отказы классифицированы:
- производственный отказ - 16;
- конструктивный отказ - 14.

За 10 лет эксплуатации скоростных судов с двигателем М-470 эксплуатационных отказов не выявлено.

В ряде случаев прослеживается закономерность возникновения отказов, косвенно указывающая на наличие систематических отказов двигателей М-470:

- разрушение шестерней и корпуса редуктора электростартера – 9;
- образование микротрещин масляного трубопровода в районе штуцерного соединения реверс-муфты (возникновение вследствие вибрации, с последующим образование свищей и падение давления моторного масла в системе) – 4;
- течь масла из-под всережимного регулятора частоты вращения коленчатого вала, по стыку соединения ТНВД и регулятора – 5;
- беспричинное срабатывание сигнализатора наличия стружки в двигателе (происходит срабатывание индикации «Стружка», в т.ч. при неработающем дизеле) – 5;
- не корректная работа системы управления двигателем «Ливень-12150» (при запуске системы на дисплее в машинном отделении нет индикации, при этом на дисплее в ходовой рубке индикация есть. При отключении и повторном включении системы показания восстанавливаются) – 4;

– течь пресной воды из насоса системы охлаждения двигателя (разрушение крыльчатки насоса по причине низкой надежности) – 3.

Во время приемо-сдаточных испытаний скоростных судов в 2016 году было допущено 6 отказов связанных с дефектом вкладышей коленчатого вала двигателей, которые привели к их выгрузке и капитальному ремонту [4]. В период эксплуатации допущено 8 отказов по причине, связанной с несовершенством конструкций узлов двигателя.

Наиболее характерными неисправностями дизелей М-470 являются неисправности масляной системы и системы автоматики, а также системы охлаждения двигателя, при этом наиболее критическими являются отказы масляной системы, которые приводят к наибольшим разрушениям двигателя (34% от общего количества отказов по всем сданным двигателям).

### **Выводы**

Сравнительный анализ эксплуатации двигателей М470МК-МЗ, MTU 10V2000M93 показал (таблица 2,3), что наилучшие двигатели в качестве ГД для скоростных судов проекта 12150 являются двигатели MTU 10V2000M93, при этом данные двигатели обладают следующими недостатками, которые не позволяют оборудовать ими скоростные суда Российского производства:

1. Санкционный запрет на покупку и обслуживание данных двигателей, дорогое техническое обслуживание по параллельному импорту и уменьшение ресурса эксплуатации двигателя предприятием изготовителем (справочно: заявленный ресурс при поставке двигателя на замену форсунок – 6000 часов, через 2 года эксплуатации производитель вносит изменение в техническую документацию, где изменяет ресурс работы форсунок с 6000 часов до 2000 часов. При этом стоимость замены форсунок на двигатель MTU составляет 80 % стоимости двигателя) [5].

2. Упор и вращающий момент, развиваемые полупогружными винтами скоростных судов проекта 12150, в большой степени зависят от погружения лопастей винта в воду, которые изменяются в зависимости от изменений подъемной силы, возникающей на корпусе скоростного судна при выходе судна на глиссирующий режим. Полупогружные винты эффективны при определенном заглублении, поэтому, когда винт судна на стоянке полностью погружен в воду, требуется большой крутящий момент двигателя, чтобы раскрутить винт до полных оборотов и придать ускорение скоростному судну для выхода в глиссирующий режим [6]. Крутящий момент двигателя MTU 10V2000M93 при номинальной частоте вращения равен 4366 Нм, а двигателя М470 равен 6565 Нм. На рисунке 9 видно, что благодаря большому крутящему моменту судно с двигателем М470 быстрее выходит на глиссирующий режим [7,8].

Двигатель и карданная муфта привода Арнесона (рис. 10) испытывает перегрузку при швартовке судна и выходе его из акватории пункта базирования (на малых скоростях), а также при переходе его в глиссирующий режим. Вследствие отсутствия автоматической системы согласования заглубления полупогружных винтов между двигателями MTU 10V2000M93 и приводами Арнесона при переходе судна из водоизмещающего режима в глиссирующий приводит к разрушению (отказу) привода Арнесона [9].

Из статистических данных аварийности (таблица 1) выявлено 27 отказов приводов Арнесона (рис. 11) у скоростных судов с двигателями MTU, что свидетельствует о систематическом отказе (рис. 12) приводов Арнесона с данными двигателями.



Рис. 9. Винтовая характеристика ГД скоростного судна проекта 12150.

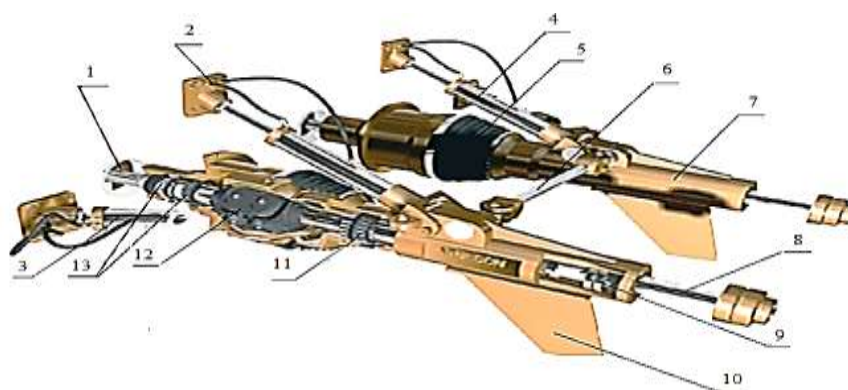


Рис. 10. Конструкция привода Арнесона [10]: 1 – входной вал; 2 – упорный шарнир гидроцилиндра; 3 – гидроцилиндр поворота; 4 – входной вал; 2 – упорный шарнир гидроцилиндра; 3 – гидроцилиндр поворота; 4 – гидроцилиндр наклона; 5 – защитный чехол; 6 – поперечина; 7 – поворотная дейдвудная труба; 8 – гребной вал; 9 – опорный подшипник; 10 – плавник; 11, 13 – опорный подшипник; 12 – карданная муфта.



Рис. 11. Привод Арнесона.



Рис. 12. Фото разрушения карданной муфты привода Арнесона.

Все вышеуказанное говорит о том, что эксплуатация и техническое обслуживание судов проекта 12150 до сегодняшнего дня не отработано. Это связано с введенными санкциями и особенностями ПК судов с полупогружными винтами.

В связи с этим, тема по научно-обоснованному техническому решению по замене ГД на скоростных судах с полупогружными винтами является особенно актуальной в наше время.

#### Список литературы

1. Патрульный катер проекта 12150 [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://ru.wikipedia/wiki/Патрульный\\_катер\\_проекта\\_12150.html](http://ru.wikipedia/wiki/Патрульный_катер_проекта_12150.html) (дата обращения 16.02.2024).
2. Патрульный катер «Мангуст» [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://sparklogic.ru/pic3/2023/11> (дата обращения 16.02.2024).
3. Скоростной патрульный катер «Мангуст», Проект 12150/АО «Судостроительный завод «Вымпел». [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.vympel-gybinsk.ru/mangust-12150.html> (дата обращения 16.02.2024).
4. Bmpd.livejournal.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bmpd.livejournal.com/1905346.html> (дата обращения 16.02.2024).

5. Korabel.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.korabel.ru/news/comments/oboshlis\\_bez\\_germanii.html](https://www.korabel.ru/news/comments/oboshlis_bez_germanii.html) (дата обращения 16.02.2024).
6. Басин А. М., Ляховицкий А.М. Исследование работы частично погруженных гребных винтов. // Труды ЛИВТ. – 1966.– № 14 – 10 с.
7. Слижевский Н.Б., Король Ю.М., Соколик М.Г., Тимошенко В.Ф. Расчет ходкости надводных водоизмещающих судов: Учебное пособие. – Николаев, НУК, 2004, 192с.
8. Тимошенко В.Ф. Моделирование гидродинамики судов и приводов аппаратов с использованием комплекса FLOWVISION И ПРОГРАММЫ FREE!SHIP PLUS – Николаев, НУК, 2010, с 10.
9. Жильцов, А.С. Влияние положения привода «Арнесона» на эксплуатационные характеристики главного двигателя «MTU» 10V2000 M93// Морской вестник, 2016. – № 1(57). – С. 77.
10. Привод Арнесона [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://yandex.ru/images/search> (дата обращения 16.02.2024).

#### References

1. Patrol boat of project 12150 [Electronic resource]//Access mode: [http://ru.wikipedia/wiki/Патрульный\\_катер\\_проекта\\_12150.html](http://ru.wikipedia/wiki/Патрульный_катер_проекта_12150.html) (accessed 02/16/2024).
2. Patrol boat "Mongoose" [Electronic resource]// Access mode: <https://sparklogic.ru/pic3/2023/11> (accessed 02/16/2024).
3. High-speed patrol boat "Mongoose", Project 12150/JSC "Vimpel Shipbuilding Plant". [Electronic resource] // Access mode: <http://www.vympel-rybinsk.ru/mangust-12150.html> (accessed 02/16/2024).
4. Bmpd.livejournal.com [Electronic resource]. – Access mode: <https://bmpd.livejournal.com/1905346.html> (accessed 02/16/2024).
5. Korabel.ru [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.korabel.ru/news/comments/oboshlis\\_bez\\_germanii.html](https://www.korabel.ru/news/comments/oboshlis_bez_germanii.html) (accessed 02/16/2024).
6. Basin A.M., Lyakhovitsky A.M. Investigation of the operation of partially submerged propellers. // Proceedings of the LIVT. – 1966. – No. 14 – 10 p.
7. Slizhevsky N.B., Korol Y.M., Sokolik M.G., Timoshenko V.F. Calculation of the seaworthiness of surface displacement vessels: A textbook. – Nikolaev, NUK, 2004, 192s.
8. Timoshenko V.F. Modeling of hydrodynamics of ships and drives of vehicles using the FLOWVISION complex AND the FREE PROGRAM!SHIP PLUS – Nikolaev, NUK, 2010, from 10.
9. Zhiltsov, A.S. Influence of the position of the Arneson drive on the performance characteristics of the main engine "MTU" 10V2000 M93// Marine Bulletin, 2016. – № 1(57). – P.77.
10. Arneson drive [Electronic resource] – Access mode: <http://yandex.ru/images/search> (accessed 02/16/2024).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Сайтгареев Вадим Раульевич**, соискатель при кафедре «Эксплуатация судовых механических установок», Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия, 353924, Краснодарский край, г. Новороссийск, проспект Ленина, 93, e-mail: [vadim\\_saitgareev@mail.ru](mailto:vadim_saitgareev@mail.ru)

**Vadim R. Saitgareev**, applicant at the Department «Operation of Marine mechanical Installations», Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia, 353924, Krasnodar Territory, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93, e-mail: [vadim\\_saitgareev@mail.ru](mailto:vadim_saitgareev@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 15.01.2024; published online 20.03.2024

## **ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА ТРАНСПОРТЕ**

### **ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT**

УДК 338.242.2

DOI: 10.37890/jwt.vi78.461

#### **Новый мировой порядок в безопасности транспортных перевозок грузов**

**А.И. Гаврилов<sup>1</sup>**

**У Сяньюй<sup>2</sup>**

**Чжан Чжэнь<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Нижегородский институт управления Российской академии государственной службы при Президенте РФ, Нижний Новгород, Российская Федерация*

<sup>2</sup>*Чжоукоуский педагогический институт, г. Чжоукоу, Китайская народная республика*

**Аннотация.** В статье анализируются новые организационные процессы использования транспорта при перемещении грузов между странами ЕАЭС и КНР. Сегодня организация перевозок грузов на Российские, Европейские и Азиатские рынки связаны с высокими рисками. Растущая межгосударственная конфронтация стран участниц евро-азиатского рынка губительно влияет на транспортный организационный механизм автомобильных, железнодорожных и морских грузоперевозок. Авторы исследования выступают аналитиками процессов формирования нового экономического порядка в безопасности транспортных параметров перемещения ресурсов в пространстве и времени, определяющих эффективность и конкурентоспособность производственного звена регионов на основе расширения организационных торговых связей субъектов экономики. Сегодня ресурсы, уровень их территориальной разбросанности и разрозненности, наряду с фактическим положением размещения производительных сил и мощностей, во многом являются определяющими в развитии бизнеса и конкурентоспособности экономик национальных государств. Особое внимание при этом уделяется развитию как внешних межгосударственных, так и внутренних национальных линейных транспортных сетей включая железнодорожный, автомобильный и водный транспорт. Объединение потенциалов ряда государств континентального размещения, а также организация технического и технологического взаимодействия стран участниц-корпоративного использования ресурсов, дает неоспоримое преимущество в достижении экономической и социальной эффективности развития национальных государств. Это требует комплексной социально-экономической авторской оценки прямых и косвенных преимуществ и потерь экономической конъюнктуры стран ЕАЭС России и КНР, как основных участников и организаторов создания условий для нового экономического порядка. Новый экономический порядок в развитии транспортных коммуникаций предопределяет реализацию более эффективного механизма использования континентальных производственных ресурсов КНР, Индии, Ирана и России, которые концентрируются на основе межстрановой корпоративизации их использования и объективного выгодного размещения национальных производительных сил и потребительских рынков.

**Ключевые слова:** Корпоративно - кластерная экономика; Новый организационный механизм хозяйственного взаимодействия; Транспортная интеграция; Экономическая безопасность; Новые транспортные коридоры; Эффективность транспортно-производственного комплекса; Внутренний инфраструктурный потенциал; Международное экономическое сотрудничество стран БРИКС; Инновационные

проекты на транспорте; Развитие нового мирового порядка; Стратегия КНР: «Один пояс-Один путь»; Северный морской транспортный кластер; Новый драйвер роста мировой экономики.

## **The new world order in the safety of cargo transportation**

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

**Wu Xiangyu<sup>2</sup>**

**Zhang Zhen<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Nizhny Novgorod Institute of Management of the Russian Academy of Public Administration under the President of the Russian Federation*

<sup>2</sup>*Zhoukou Normal University Zhoukou, People's Republic of China*

**Abstract.** This article analyzes new organizational processes of transport use in cargo movement between the Economic Union countries and China. Nowadays the organization of cargo transportation to the Russian, European and Asian markets is associated with high risks. Growing interstate confrontation of the countries participating in the Euro-Asian market has a devastating effect on the transport organizational mechanism of road, rail and sea cargo transportation. The authors of the study act as analysts of the processes of formation of a new economic order in the security of transport parameters of resource movement in space and time, which determine the efficiency and competitiveness of the production link of regions on the basis of expanding organizational trade relations of economic entities. Today resources, the level of their territorial dispersion and fragmentation, along with the actual location of productive forces and capacities, in many respects are determinants in the development of business and competitiveness of the economies of national states. Particular attention is paid to the development of both external interstate and internal national linear transportation networks, including rail, road and water transport. Combining the potentials of a number of continental countries, as well as the organization of technical and technological interaction between the participating countries with corporate use of resources, gives an undeniable advantage in achieving economic and social efficiency in the development of national states. This requires a comprehensive socio-economic author's assessment of the direct and indirect advantages and losses of the economic conjuncture of the Economic Union countries, Russia and China, as the main participants and organizers of creating conditions for a new economic order. The new economic order in the development of transport communications determines the implementation of a more effective mechanism for using the continental production resources of China, India, Iran and Russia, which are concentrated on the basis of inter-country corporatization of their use and objective advantageous location of national productive forces and consumer markets.

**Keywords:** Corporate cluster economy; new organizational mechanism of economic interaction; transport integration; Economic security; new transport corridors; efficiency of the transport and production complex; internal infrastructure potential; international economic cooperation of BRICS countries; innovative transport projects; development of a new world order; China's strategy: "One Belt-One Road"; the Northern Sea Transport Cluster; new growth driver of the world economy.

### **Введение**

Современные тенденции развития межгосударственных экономических отношений характеризуется несколькими направлениями, главными из которых являются:

- превалирование инновационных изменений, как в производстве, так и в сфере обращения;
- расширение экономического кризиса и рост нестабильности международных отношений, в связи с расширением объемов торговых санкций;
- поиск и реализация новых подходов в пространственной организации межхозяйственных и межгосударственных связей, а также бизнес-процессов



ориентированных на расширение международных торговых связей с Западом на Восток.

Развивающиеся новые тенденции трансформации отношений, объективно требуют необходимости научного осмысления механизмов и инструментов реструктуризации экономического пространства, пересмотра организационных связей субъектов торговли и путей товародвижения.

**Актуальность** исследования базируется на глобальных изменениях интересов национальных государств обладающих возможностью более эффективного использования имеющихся потенциалов развития. Это настоятельно требует институциональных изменений исторически сложившихся связей эпохи колониального товарообмена. Новые тенденции развития определяют формирование новых интеграционных организационных систем, позволяющих получить перспективный рост объёмов товародвижения, на основе интенсификации межрегиональных взаимосвязей. Переориентация внешнеторговых отношений требует обоснования новых подходов к организации межстрановых инновационных проводящих систем и формированию корпоративных хозяйственных структур нового типа на основе принципов интеграции, корпоратизации, изменения сырьевых и товарных потоков с минимизацией временных и финансовых издержек.

Научная потребность в исследовании интеграционных проблем возникающих в новых складывающихся условиях обуславливает необходимость изучения следующих объективных факторов:

- во-первых, влияние процесса пространственного переустройства центров экономического влияния на организацию торговых приоритетов и развитие коммуникационных и транспортных путей взаимодействия этих центров;
- во-вторых, формирование новых механизмов разностороннего товарообмена;
- в-третьих, возникающие потребности развития транспортных систем и логистики как основы интеграционных связей;
- в-четвертых, развивающиеся и формирующиеся новые связи стран БРИКС и проблемы влияния экономических санкций на развитие взаимодействия КНР и России.

Вышесказанное несомненно свидетельствует об актуальности данного исследования, что определяет необходимость разработки механизмов безопасного развития межстрановой интеграции и перехода в новый экономический порядок с определением нового экономического пространства с новыми центрами экономического влияния в мире.

**Изученность проблемы.** Исследование различных аспектов пространственной организации экономического пространства нашло отражение в работах ряда зарубежных учёных изданных в разное время, что подробно исследовано и описано в авторском учебнике профессора Гаврилова А.И. Региональная экономика и управление. [1]

В современных зарубежных авторских научных и аналитических исследованиях, отводится значительная роль развитию интеграционной транспортной составляющей, определяющей условия роста экономик ряда Азиатских и Европейских стран. Увеличивающийся товарооборот между Азией и Европой остро ставит вопрос о различных проектах строительства новых трансконтинентальных наземных транспортных путей, а также об улучшении эффективности функционирования модернизации и расширении прежних транспортных коридоров. Резко обострившаяся конкурентная борьба за реализацию транспортных проектов между США, Китаем и Европой привносит воинствующие отношения между заинтересованными конкурирующими странами. На этом фоне научный мир изучает экономическую значимость, и возможные последствия Западного введения санкции на транспортные услуги для России и транзит через ее территории. [2]

Ученые аналитики Евросоюза делают прогнозы роста ВВП на период с 2023 по 2028 годы для Китая, Индии и АСЕАН. Обсуждают пути строительства транспортных путей минуя Россию, через Турцию и Израиль, показывают значительный потенциал, с ежегодными прогнозами роста в диапазоне от 5,2% в 2023 году до 3,4% в 2028 году для Китая и от 5,9% до 6% для Индии. Десятке экономик АСЕАН прогнозируется средний рост на уровне от 4,2% в 2023 году до 4,5% в 2028 году. [3]

Научные теории, касающиеся факторов размещения производительных сил и транспортной составляющей в производстве, определяющей эффективность воспроизводства, в достаточной мере были сформулированы отечественными учеными, определившими критерии эффективности территориальной организации экономического пространства и регионального взаимодействия. Ими определены некоторые научные позиции интеграционных процессов и корпоратизации экономик национальных государств, что обосновано работами современных российских учёных: А.Б. Гранберга, Д.С. Львова, А.Г. Поршнева, С.С. Шабалина. [4]

Большинство авторов рассматривают теоретические вопросы эффективного размещения производительных сил в условиях становления и развития рыночных экономик (А.Б. Гранберг). Наряду с этим, некоторые специфические проблемы, связанные с глобальными процессами трансформации экономических систем, рассматриваются с точки зрения формирования механизмов и моделей глобального переустройства мировой экономики. Некоторыми учеными глобалистами предлагаются механизмы встраивания в глобальные процессы экономики России. Однако современные особенности развития корпоративных экономических отношений в новых условиях санкционного давления на Россию, Китай, Иран и другие страны, остаются недоисследованными. Сегодня возникла реальная потребность выявления потенциальных путей развития континентальных государств имеющих ресурсы развития, дающие возможность повышения эффективности их использования путем реализации интеграционных основ корпоративного освоения новых механизмов взаимодействия. Корпоратизация путей развития экономик и получение максимального эффекта, в данном случае, является новым организационным научным подходом определяющим, как возможности использования новых межстрановых механизмов инвестиционной деятельности, так и основой сглаживания противоречий между инерционностью освоения и пользования природных ресурсов. Данный подход, определяет пути развития транспортных и коммуникативных систем и эффективного формирования инновационного национального производственного потенциала. Корпоратизация экономических интересов России и Китайской народной республики, как и концентрация имеющихся потенциалов, диктует возрастающую динамичность развития логистических систем и рыночных потребительских возможностей народонаселения, стран – участниц.

**Научная новизна** исследования заключается в том, что интеграционные процессы направленные на концентрацию ресурсов и корпоратизацию путей их использования, на данном этапе развития экономик континентальных государств, являются универсальным противовесом или контрсанкционным механизмом противостояния внешнему давлению на Россию, Иран и КНР, а также выступает условием формирования нового экономического порядка, отвечающего за эффективность развития стран КНР, России, Ирана и Индии.

В данном случае, концентрация ресурсов на основе корпоратизации интересов их использования является новым организационным научным подходом определяющим, как возможности использования новых межстрановых механизмов инвестиционной деятельности, так и основой сглаживания противоречий между инерционностью их освоения и эффективного использования имеющихся сырьевых и производственных ресурсов.

**Цель исследования** состоит в реализации методологических основ и организационных методов, способствующих концентрации межнациональных ресурсов, определяющих возможности интеграционных механизмов совместного хозяйствования России и КНР и других заинтересованных стран, а также оценить процессы формирования новых условий экономического взаимодействия континентальных стран и регионов на основе корпоратизации интересов. Также в качестве цели выступает оценка степени важности организационного и экономического становления и развития инновационных коммуникационных и транспортных процессов, как основы формирования новых центров безопасности и нового экономического порядка.

**В соответствии с целями поставлены следующие задачи:**

- Провести комплексный анализ процессов современной трансформации отношений коммуникативного и транспортного взаимодействия, как основы развития интеграционных корпоративных систем хозяйствования и новой территориальной организации межстранового экономического порядка (НЭМ). Рассмотреть современные тенденции развития континентального размещения производственных и рыночных систем и определить особенности современного процесса корпоратизации отношений в новое экономическое пространство в условиях трансформации товарных рынков.
- Обобщить новые организационно-экономические факторы и динамику развития межгосударственного торгового сотрудничества, на примере развития российско-китайских и российско-ирано-индийских отношений и обосновать организационно-экономические предпосылки перспективного развития зон экономического сотрудничества;
- Оценить возможности новой организационно-экономической модели транспортной Арктической зоны РФ на основе формирования перспективной организации транспортно-логистической инфраструктуры (ТЛИ) при использовании принципов проектирования межгосударственных корпоративных партнёрств (МКП);
- Определить экономические перспективы развития внешних связей в системе транспортных коридоров «Восток – Запад – Восток». Дать оценку социально-экономической эффективности использования Северного морского пути (СМП) в развитии Арктической зоны РФ в новых условиях санкционного давления западных стран.

**Теоретическая значимость исследования** связана с дальнейшим развитием применения современных интеграционных подходов хозяйствования, на основе корпоратизации экономических интересов. Процесс исследования обусловил необходимость использования определённого методологического инструментария: методов анализа и синтеза; сравнения и обобщения; экспертных оценок; организационного проектирования и др.

В качестве информационной базы исследования использованы современные информационные материалы средств массовой коммуникации, данные международной статистики, нормативно-правовые акты, межгосударственные проекты и федеральные целевые программы развития, материалы сети Интернет. Кроме того, использовались материалы Китайских, Российских других зарубежных периодических изданий.

**Практическая значимость исследования** заключается в доведении результатов исследования до реальной степени их использования. Предложена концепция создания конкретных механизмов реализации интеграционных задач, связанная с

организационным проектированием новых межнациональных корпоративных структур, с учётом изменения экономических взаимосвязей, на базе интеграционных процессов. Проведена сравнительная оценка эффективности движения товарных потоков по новым транспортным путям и маршрутам, которые могут стать надёжной научной базой и методологической основой для решения перспективных задач в региональном экономическом развитии. Выявлены современные тенденции и особенности процесса экономической интеграции и кластеризации национальных экономик и регионов, которые будут определять поле нового экономического мирохозяйствования. Предложено авторское определение экономической категории: «корпоративная интеграционная структура «КИС». КИС- авторами определяется как международная хозяйственная корпорация, экономическая суть которой - *корпоративное объединение потенциалов регионов и государств определяющих новое мирохозяйствование в современных условиях*».

**Основная часть исследования.** Современное санкционное состояние международных отношений требует формирования нового более эффективного порядка корпоративного использования истощающихся мировых ресурсов. Определяющими из них являются трудовые, энергетические и сырьевые ресурсы. При этом численность квалифицированной рабочей силы, а также ее удельный вес в структуре работников определенных для замещения вакантных рабочих мест в общем числе рабочих мест в последние годы по данным Росстата (rosstat.gov.ru) имеет пикирующую тенденцию изменений. [5].

Анализ показывает, что общая потребность как в сырьевых, технологических и кадровых ресурсах в исследуемых странах огромна. Так средний удельный вес потребности рабочих мест составляет более 3,8%. При этом самая высокая потребность в квалифицированных рабочих кадрах наблюдается в промышленной сфере (в частности, в области машиностроения и металло-обработки), строительства и транспорта, что определяют удельный вес потребности в общем количестве рабочих мест около 5.0%. Статистические данные подтверждают проблемы кадрового дисбаланса в России, касающегося территориального несоответствия производственных мощностей в обеспечении трудовыми ресурсами, что приводит к недозагруженности производительных сил и мощностей, что оказывает колоссальное воздействие на снижение темпов развития территорий за счет низкой производительности труда. Стратегическая оценка возможности создания нового транспортно-производственного порядка с привлечением инвестиционных и трудовых ресурсов, а также возможного создания комплексного транс Азиатско-Иранско - Каспийского комплексного транспортного канала, позволит включить как межстрановой миграционный процесс обмена трудовыми ресурсами, так и эффективно задействовать сырьевой потенциал через восточную и западную транспортно-ресурсные ветки, что даст основу значительного подъема конкурентоспособности страновых экономик и регионов на основе освоения всех видов ресурсов, и за счет развития скорости доставки и увеличения объемов транспортных перевозок в макроэкономическом пространстве. При этом западная ветка через Иранско-Азербайджанский вектор предусматривает включение плеча перевозок автомобильным транспортом через г. Решат. Вектор транспортной системы восточного направления включает маршрутный канал из КНР и Индии через Казахстан и Туркмению. При этом в данный комплекс будет включен железнодорожный транспорт, который в системе логистики предусматривает перевозки водным транспортом из России в Иран. Такой маршрут логистики, включающий иранскую составляющую пути, задействует порт Бендер-Аббас.

В современных условиях развивающегося переустройства мирового порядка ограничивающего доминирование Евро-Американских отношений, данный маршрут может стать важнейшей составляющей грузоперевозок из Европы. Данный путь -

более короткий при конкурировании перевозок грузов из Индии и Латинской Америки в Европейскую часть. [6].

В Стратегии развития транспорта Российской Федерации на период до 2030 г. предусматриваются мероприятия способствующие повышению динамики развития единой транспортной системы европейской части Российской Федерации. Инновационные организационные решения и мероприятия по повышению производительности труда, составляющие основу интенсивного развития транспорта, реализация которых привела бы к увеличению объемов перевозок в европейских бассейнах к 2030 году в 2,2 раза по сравнению с 2010 годом. Важное значение определяется транспортной системе транзитных грузов по МТК «Север-Юг». Сегодня в условиях санкций объем перевозок грузов и объем их переработки в логистических центрах обработки грузов и портах водного транспорта после 2010 года, как показывает анализ, имеет тенденцию к снижению. К примеру, его удельный вес в общем объеме перевозок на 01.01. 2023 году составил лишь 1,7 % . [7]

Научное обоснование необходимости реструктуризации связей в использовании экономических возможностей стран российско-азиатского пространства, в новых подсанкционных условиях, заключается в необходимости применения корпоративных мер хозяйствования на пути создания и развития, как производственных, так и транспортных мощностей переработки наличных страновых ресурсов и организации взаимовыгодного товарообмена. При этом, целевым фактором выступает кластеризация или корпоратизация характера социально-экономических отношений, при трансформации встречных товаропотоков. Данный подход, требует пересмотра территориальных взаимосвязей и условий формирования новых производственных и транспортных систем интенсивного типа.

Существующие научные представления отечественных и зарубежных учёных о современной пространственной организации хозяйства, не касаются возможностей межстрановой корпоратизации интересов. Объективно развивающиеся интеграционные мировые процессы, диктуют необходимость объединения ресурсных возможностей разных стран и регионов на основе корпоратизации новых подходов хозяйствования и территориального размещения и использования производственных и сырьевых ресурсов. В условиях формирования нового мирового порядка и перехода от национальных к межгосударственным корпоративным территориальным принципам хозяйствования, авторами предложена новая корпоративно-кластерная концепция организации транспортно-логистической системы, обеспечивающая эффективное применение и использование имеющихся наличных ресурсов стран участниц. Схема новых транспортных возможностей перемещения ресурсов демонстрирует сокращение времени и расстояния грузоперевозок в 3.5 и 2.0. раза (соответственно) в существующей и вновь формируемой системе международных транспортных коридоров стран - участниц ЕАЭС. Рис 1. [7-8].



Рис. 1. Схема новых транспортных возможностей сокращающих время и расстояние грузоперевозок в 3.5 и 2.0. раза (соответственно) в существующей и вновь формируемой системе международных транспортных коридоров стран - участниц ЕАЭС [7-8]

Авторами, оценены с точки зрения экономической безопасности, проекты по прокладке новых транспортных континентальных транспортных путей стран Азиатского и Российско-Европейского регионов. Формируемые континентальные пути сообщения и транспортировки грузов, по нашей экспертной оценке, позволит сократить транспортные издержки в континентальной межстрановой торговле в 1,5-2.0 раза за счет исключения использования страховых затрат на прохождение проливов и судоходных каналов. Рис 2.



Рис. 2 Схема формирования новых международных транзитных транспортных коридоров предлагаемых Ираном [8]

К тому же перспективная, предлагаемая ранее Ираном инициатива прокладки новых путей перевозок рассматривала возможность разработки (Рис 2) совместного межстранового корпоративного транспортного проекта. Так, в девяностые годы, иранскими специалистами был изучен обширный российский опыт в области гидротехнического строения. В 1998 году созданная международная экспертная

группа разработала технико-экономическое обоснование комплексного автомобильно-водно-железнодорожного проекта, которое затем было одобрено правительством Ирана. Сегодня данное направление, приобрело особую актуальность для реализации [8].

Авторами, на основе опоры на основные экономические законы развития экономических систем, обобщаются, систематизируются, дополняются и расширяются возникающие методологические положения, касающиеся оценки экономической эффективности формирования современных кластерно-корпоративных транспортных систем. Особенность современного этапа интенсивного развития экономик ведущих стран, связана с освоением перспективных современных мировых ресурсов, а именно углеводородных, урановых руд и редкоземельных металлов (лантаноидов) являющихся основой современной энергетики и микроэлектроники. Монополистами этих ресурсов на сегодня выступают КНР, Россия, Вьетнам, Казахстан и Афганистан. В частности освоения новых перспективных ресурсов и их транспортировки, авторами оценены социально-экономические параметры и возможности использования новых проектируемых и строящихся транспортных коридоров [9]. В этой связи уточнены ряд основных понятий касающихся определения «Новый экономический миропорядок» (НЭМ), который авторами определяется как: *«Новый организационный механизм взаимодействия стран-участниц, основанный на создании корпоративно-кластерной инфраструктуры межгосударственных производственно-транспортных комплексов, опирающихся на использование имеющихся собственных финансовых и перспективных ресурсных возможностей путем корпоратизации отношений в производстве и оптимизации логистических издержек»*. Данный механизм предопределяет обеспечение высокой конкурентоспособности создаваемой международной корпоративно-кластерной системы, как основы создания нового мирового порядка, основанного на монополизации владения и использования стратегических редкоземельных ресурсов (лантаноидов), что будет беспечивать минимизацию влияния США и доллара, как основного конкурента определяющего существующий миропорядок диктуемый долларовой эмиссионной монополией США.

На основе комплексного анализа динамики торгово-экономического сотрудничества двух стран (Россия и КНР) авторами установлена тенденция перемещения вектора торгово-экономического сотрудничества с Запада на Восток. Выявлены темпы устойчивого роста равноценного товарообмена в реализации импортно-экспортных операций и обмена продукции перерабатывающих отраслей и сельского хозяйства. На этой основе установлена зависимость устойчивого развития внешнеторгового сотрудничества РФ и КНР, Индии, Ирана по ряду направлений научного, ресурсного и товарного секторов, за счет реализации приоритетов в развитии сферы транспортно-логистического комплекса и экономико-коммуникационных систем, формирующихся транспортных коридоров на линии Китай – Россия –Иран- Европа.

Авторами проведена сравнительная оценка времени доставки грузов из КНР в Европу морским и железнодорожным транспортом, которые разнятся в 3-4 раза по времени доставки и на 30-38% по экономическим затратам. Экспертная оценка организационной транспортной модели освоения Арктической зоны, сокращает временные горизонты и транспортные издержки на 50% от существующих транспортных путей доставки грузов из Азии в Европу. Новый мировой транспортный порядок, предусматривает формирование и развитие сети новой более эффективной транспортно-логистической инфраструктуры (ТЛИ) из КНР, Ирана, Индии в Россию.

Авторами также проведена экспертная оценка стратегического проекта развития внешнеэкономических связей в системе транспортных коридоров «Восток – Запад – Восток». Рассмотрена роль существующих и реконструируемых транспортных магистралей: «БАМ, Южный морской путь, Транссиб, развивающийся экономический пояс Шёлкового пути; Северный морской путь (СМП), Международный транспортный коридор (МТК); Север – Юг – Европа». В результате комплексного анализа конкурентных преимуществ, были установлены как наиболее перспективные маршруты Россия-КНР сухопутный через транспортные коридоры Север-Юг и водный – «Северный морской путь» (СМП), обладающих существенными конкурентными преимуществами в современных условиях.

Система созданных железнодорожных и речных коридоров в сочетании морского транспортного сообщения, позволят России и Китаю выстроить механизм безопасного решения проблем интенсификации развития, как собственных экономик, так и значительно обезопасить торгово-коммерческую деятельность с другими странами Азии. Важным становится и развитие отношений предприятий ближнего востока, Африки и Южной Америки России с КНР. Уже сегодня РЖД скооперировалась с железнодорожными сетями стран Средней Азии и КНР и запустила одно - и двупольный поезд под названием «Китайско-европейский железнодорожный экспресс», который проходит через Сучжоу, Иу, Шэньчжень, Чжэньчжоу, Чэнду и другие китайские города и связывает их с крупными европейскими мегаполисами. Линии экспресса подразделяются на прямые и транзитные. На первых осуществляются рейсы непосредственно из основных зон производства товаров и главных портов внутри Китая в иностранные города. На вторых - из крупных транспортных узлов, где происходит накопление продукции, в места ее назначения. Данные линии связывают Китай не только с Европой и прилегающими странами, но и с Восточной, Юго-Восточной Азией и другими регионами; это не просто железнодорожный коридор, а канал комплексных перевозок. [10-11].

Соотнося удельный рост веса водных (морских и речных), железнодорожных и автомобильных перевозок Азиатско - Российского транспортного комплекса можно выделить определяющие факторы формирующие безопасность перевозок.

Это исключение влияния сезонных факторов. На железнодорожную и автомобильную транспортировку. Данный фактор будет оказывать стимулирующее и мотивационное действие развития интеграционных кооперационных связей и исключит незначительное, возникающее порой политическое, влияние. Время доставки относительно стабильно, поэтому его загрузка можно использовать для дорогих и тяжелых грузов. В 2023 г. доля автомобилей и механического оборудования в общем объеме товаров, перевозимых по железнодорожному маршруту Китай - Европа, составила более 70 % и более 60% соответственно, металлов и металлоконструкций -18% и 13% [12].

Безопасность сохранности грузов связана с тем, что по железной дороге можно доставлять товары с ограниченным сроком годности, такие как молочная и мясная продукция, саженцы и т.д. При исследовании структуры экспорта и импорта Китая и России нами обнаружено, что доля сельскохозяйственной продукции в нем наращивается из года в год. Для России как страны с развитым агросектором это направление может стать новой точкой развития.[13]

Особая роль сегодня отводится развитию транспортной системы стран БРИКС, число участниц которого в ближайшее время планируется значительно увеличить. Рис 3.





Рис. 3. Схема развития системы участников БРИКС

По данным некоторых аналитиков, перевод взаиморасчетов по перевозкам между странами ЕАЭС (в 2022-23 гг.) в национальные валюты», исключает применение вторичных санкций Запада, а также позволяет развивать тенденцию наращивания объемов торговли между странами БРИКС. При этом, совокупный грузооборот участвующих в БРИКС стран на 01.12.2023 года составил 7 трлн тонно-км: это 60% от уровня общемирового грузооборота. По оценке эксперта, присоединение Аргентины, Египта, Ирана, ОАЭ, Саудовской Аравии и Эфиопии к БРИКС в 2024-м существенно увеличит эту цифру. [14]

Объем совокупных грузовых перевозок между странами ЕАЭС и БРИКС за январь-август возрос на 15% в сравнении с тем же периодом 2022 г. При том, что за весь прошлый год рост этого показателя составил только 4%. [15]

### Заключение

Учитывая возникающие стратегические возможности освоения новых современных стратегических ресурсов, которые оценены как основные разведанные мировые запасы редкоземельных металлов в объемах 9-12 триллионов долларов (Россия, КНР, Афганистан). А это оценивается как основные ресурсы планеты. Новый мировой транспортный порядок, будет определяться диктатом реализации возможностей освоения и использования этих новых ресурсов. В развитии эти ресурсы - основа современных технологий микроэлектроники и энергетики, искусственного интеллекта и автоматизации. Представленный данный аналитический исследовательский материал, обосновывает механизм стратегического решения межгосударственных задач в развитии сотрудничества и бизнеса на основе корпоративно-кластерной модели новых производственных и транспортных систем России и стран Азиатско-Тихоокеанского, Индо-Пакистанского регионов. Интеграционный механизм КИС - обосновывает возможность освоения и финансирования проектов по формированию корпоративно-кластерных систем, путем включения могучего экономического и производственного потенциалов России, КНР,

Ирана и Индии. Такой подход создаст основу безопасного становления нового мирового порядка и создания центров экономического роста государств – участников данного политико-экономического блока государств – лидеров, организаторов нового экономического порядка. Новый экономический порядок в развитии транспортных коммуникаций предопределяет реализацию более эффективного механизма использования континентальных производственных и трудовых ресурсов КНР, Индии, Ирана и России. Именно эти страны, в ближайшем будущем, смогут концентрировать, на основе межстрановой корпоратизации (МКП) возможность использовать и выгодно размещать инновационный производственно-экономический потенциал межнациональных производительно-потребительских рынков. Стратегическое видение направлений развития современной энергетики, электроники и искусственного интеллекта будет основываться на добыче и реализации инновационных ресурсов, какими в предстоящем 100-летию, будет выступать редкоземельный потенциал лантаноидов. [16].

Современная обстановка показывает, что стратегические перспективы развития мировой инновационной экономики лежит в поле формирования нового корпоративного хозяйствования и экономического порядка, который в основном будет обеспечиваться развитием перспективных скоростных видов транспорта и использования северного морского пути, как основы становления высокоэффективных инфраструктурных транспортных международных систем. [17]

Объективно сложившееся монопольное владение рядом стратегических ресурсов азиатскими странами и Россией, с ее стратегическими территориальными и энергетическими возможностями, будут определять в перспективе роль КНР, России и стран Азии, при формировании новых транспортных и логистических коридоров и систем, как основного мирового центра формирования нового коммуникационного и экономического порядка. [18-19].

#### Список литературы

1. Гаврилов А.И. Региональная экономика и управление (учебник). Н. Новгород: Изд-во НИУ РАНХиГС, 2014. 572с.
2. Авдаков И. Ю. Евразийские транспортные коридоры: угрозы и возможности для России // Транспорт стран Востока. М., 2022, с. 1-369.
3. Перспективы развития коридора Азия-Европа 2023г. <https://index1520.com/analytics/perspektivy-razvitiya-koridora-aziya-evropa-2023/> (дата обращения 01.02.2024)
4. Управление социально-экономическим развитием России: концепции, модели, механизмы / рук. авт. кол. Д.С. Львов, А.Г. Поршнева. М. Экономика. 2002. С. 12-64.
5. М.А. Мирошниченко, А.В. Ковтун, К.А. Кузнецова. Менеджмент качества и управление человеческим капиталом на основе бережливых инноваций. Естественно-гуманитарные исследования №26(4), 2019, С. 142 – 147.
6. Цзюй Ин. Международные транспортные коридоры ЕАЭС -КНР: формирование, развитие и вызовы //Наука и инновации. 2020. №11. С. 47-53. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2020-11-47-53> (дата обращения 10.01 2023)
7. Гаврилов А. И., Дробинин А.А. Формирование эффективного механизма управления сферой транспортных услуг региона. Н.Новгород. Монография: Издательский дом «Диалог Культур». 2017. 284 с.
8. Анализ торгового оборота КНР и России. Электронное периодическое издание РОССИЙСКО-КИТАЙСКИЙ ПОРТАЛ («RUSCHINA»). Бюллетень CIS: ECONOMICS & FOREIGN TRADE (СНГ: Экономика и внешняя торговля). № 11. 2022.г. <https://findsmi.ru/12833>. С. 24-25. (дата обращения 10.01.2024)
9. Мировые запасы новой стратегической энергетики. <https://kolgota.ru/tpost/zk4erly2y1-redkozemelnie-elementi-gde-sosredotochen>. 2022г. С. 14-18. (дата обращения 09.01 2024)

10. Анализ существующих международных транспортных коридоров, проходящих через территории государств-членов: Аналитический доклад // Департамент транспорта и инфраструктуры. - М., 2019. С.16
11. Транспортные коридоры Шелкового пути: потенциал роста грузопотоков через ЕАЭС. - СПб., 2018. С.18
12. A Caspian Canal? Not So Fast. Written by Andrew KORYBKO on 11/04/2016. Источник: <http://orientalreview.org/2016/04/11/a-caspian-canal-not-so-fast/>. (дата обращения 18.02.2023)
13. А.И. Гаврилов, И.И. Стрельцов, У. Сяньюй . Модернизация транспортной системы в азиатско- секторе как основа безопасности глобальной экономической реструктуризации ... Научные проблемы водного транспорта: N 75( 2), 2023. С.156.
14. Глазьев С. Обеспечение экономической безопасности страны. \Российский экономический журнал.1997. №1,2. С.4-12.
15. Развиваются трансконтинентальные коридоры между странами БРИКС и ЕАЭ. [Chttps://www.ritmeurasia.ru/news--2023-09-21--razvivajutsja-transkontinentalnye-koridory-mezhdu-stranami-briks-i-eaes-68782](https://www.ritmeurasia.ru/news--2023-09-21--razvivajutsja-transkontinentalnye-koridory-mezhdu-stranami-briks-i-eaes-68782) (Дата обращения 20.01.2024).
16. Развиваются трансконтинентальные коридоры между странами БРИКС и ЕАЭС.// <https://www.ritmeurasia.ru/news--2023-09-21--razvivajutsja-transkontinentalnye-koridory-mezhdu-stranami-briks-i-eaes-68782> (Дата обращения 25.01.2024)
17. Стратегия и проблемы устойчивого развития России в XXI веке: опыт ред.колл. А.Г. Гранберг и др. М.: Экономика, 2002. 285 с.
18. Между Азией и Европой проложат новый транспортный коридор.// <https://cabar.asia/ru/initsiativy-royas-i-put-i-globalnye-vorota-perspektivy-i-vozmozhnosti-dlya-stran-tsentralnoj-azii> (дата обращения 08.01.2024).
19. Инициативы «Пояс и Путь» и «Глобальные Ворота»: Перспективы и возможности для стран Центральной Азии. // <https://cabar.asia/ru/initsiativy-royas-i-put-i-globalnye-vorota-perspektivy-i-vozmozhnosti-dlya-stran-tsentralnoj-azii> (дата обращения 07.01.2024)

#### References

1. Gavrilov A.I. Regional economics and management (textbook). N. Novgorod: Publishing House of the National Research University of the Russian Academy of Sciences, 2014. – 572s.
2. Avdakov I. Yu. Eurasia Transport Corridors: Threats and Prospects. Transport of Oriental countries // Moscow, 2022, pp. 1-369].
3. Prospects for the development of the Asia-Europe corridor 2023 \\  
<https://index1520.com/analytics/perspektivy-razvitiya-koridora-aziya-evropa-2023/> / (accessed 02/01/2024)
4. Management of socio-economic development of Russia: concepts, models, mechanisms\hands. author. col. D.S. Lvov, A.G.Porshnev. M.Ekonomika.2002. p. 285
5. M.A. Miroshnichenko, A.V. Kovtun, K.A. Kuznetsova. Quality management and human capital management based on lean innovations. Natural Sciences and Humanities Research No.26(4), 2019, pp. 142 - 147.
6. Ju Ying. International transport corridors of the EAEU –China: formation, development and challenges //Science and innovation. 2020. No.11. pp. 47-53. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2020-11-47-53> (Accessed 10.01 2023)
7. Gavrilov A. I., Drobinin A.A. Formation of an effective mechanism for managing the sphere of transport services in the region. N.Novgorod. Monograph: Publishing house "Dialogue of Cultures" 2017. 284 p.
8. Analysis of the trade turnover of China and Russia. Electronic periodical RUSSIAN-CHINESE PORTAL" (RUSCHINA). CIS Bulletin: ECONOMICS & FOREIGN TRADE (CIS: Economy and Foreign Trade). No. 11. 2022.g. <https://findsmi.ru/12833> . Pp. 24-30. (accessed 10.01.2024)
9. Global reserves of new strategic energy <https://kolgota.r> Electronic periodical RUSSIAN-CHINESE PORTAL (RUSCHINA) Bulletin CIS: ECONOMICS & FOREIGN TRADE (CIS: Economy and Foreign Trade). // <https://findsmi.ru/12833> (Accessed 10.01.2024)
10. Analysis of existing international transport corridors passing through the territories of the Member States: Analytical report // Department of Transport and Infrastructure. - М., 2019. p.16

11. 11 Silk Road transport corridors: the potential for growth of cargo flows through the EAEU. - St. Petersburg, 2018. p.18
12. A Caspian Canal? Not So Fast. Written by Andrew KORYBKO on 11/04/2016. Source: <http://orientalreview.org/2016/04/11/a-caspian-canal-not-so-fast/>. (Accessed 02.18.2023)
13. A.I. Gavrilov, I.I. Streltsov, U. Xiangyu . Modernization of the transport system in the Asian-Russian sector as a basis for the security of global economic restructuring... Scientific problems of water transport: N 75(2), 2023. p.156.
14. 14.Glazyev .S. ensuring the economic security of the country. \ The Russian Economic Journal.1997. No.1,2. p.4-12
15. Transcontinental corridors between the BRICS and EAE countries are developing.<https://www.ritmeurasia.ru/news--2023-09-21--razvivajutsja-transkontinentalnye-koridory-mezhdu-stranami-briks-i-eaes-68782>. (Accessed 20.01.2024)
16. Transcontinental corridors between the BRICS and EAE countries are developing.<https://www.ritmeurasia.ru/news--2023-09-21--razvivajutsja-transkontinentalnye-koridory-mezhdu-stranami-briks-i-eaes-68782>. (Accessed 25.01.2024)
17. Strategy and problems of sustainable development of Russia in the XXI century : the experience of ed. Col. A.G. Granberg et al. M.: Economics, 2002. 285 p.
18. A new transport corridor will be laid between Asia and Europe. <https://cabar.asia/ru/initsiativy-poyas-i-put-i-globalnye-vorota-perspektivy-i-vozmozhnosti-dlya-stran-tsentralnoj-azii>. (Accessed 01.8.2024).
19. Belt and Road and Global Gateway Initiatives: prospects and opportunities for the Central Asian countries. <https://cabar.asia/ru/initsiativy-poyas-i-put-i-globalnye-vorota-perspektivy-i-vozmozhnosti-dlya-stran-tsentralnoj-azii>. (Accessed 07.01.2024)

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

**Гаврилов Александр Иванович**, д-р экономических наук, академик РАН, Советник Минобрнауки РФ, профессор кафедры государственного управления и менеджмента, Нижегородский институт управления Российской академии государственной службы при Президенте РФ Нижний Новгород, Российская Федерация. Пр. Гагарина 46. к. 204. [Gai53@list.ru](mailto:Gai53@list.ru)

**У Сяньюй** соискатель кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта. Преподаватель Чжоукоуского педагогического института, г. Чжоукоу Китайская народная республика. [Wuyitong2012@yandex.ru](mailto:Wuyitong2012@yandex.ru)

**Чжан Чжэнь** соискатель кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта. Преподаватель Чжоукоуского педагогического института. г. Чжоукоу Китайская народная республика. [Zhangzhen91123@vip.qq.com](mailto:Zhangzhen91123@vip.qq.com)

**Alexander I. Gavrilov**, Doctor of Economics, Professor of the Department of Public Administration and Management of the Nizhny Novgorod Institute of Management of the Russian Academy of Public Administration under the President of the Russian Federation, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Counselor of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, [Gai53@list.ru](mailto:Gai53@list.ru)

**Wu Xiangyu**, Competitor of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport. Lecturer at Zhoukou Normal University, Zhoukou, People's Republic of China. [Wuyitong2012@yandex.ru](mailto:Wuyitong2012@yandex.ru).

**Zhang Zhen**, Competitor of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport. Lecturer at Zhoukou Normal University Zhoukou, People's Republic of China. [Zhangzhen91123@vip.qq.com](mailto:Zhangzhen91123@vip.qq.com)

Статья поступила в редакцию 07.02.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 07.02.2023; published online 20.03.2024

УДК 331.1

DOI: 10.37890/jwt.vi78.459

## **Факторы повышения эффективности использования рабочего времени работников умственного труда на водном транспорте**

**Р.И. Каравашкина<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-7263-9001*

**Ю.Р. Гуро-Фролова<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-6048-8576*

**Е.М. Федотова<sup>2</sup>**

*ORCID: 0000-0003-0692-7432*

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

<sup>2</sup>*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород*

**Аннотация.** Рабочее время представляет собой самый ценный ресурс в сфере производства и труда. Не является исключением и такая важная для национальной экономики отрасль как водный транспорт. Эффективности использования рабочего времени всегда уделялось особое внимание не только экономистами, управленцами, но также социологами и психологами. Согласно трудовому законодательству, рабочее время – это время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности, а также иные периоды времени, относимые к рабочему. Таким образом, к рабочему времени относят не только время основной, но и вспомогательной работы, время регламентированных перерывов и некоторые другие виды затрат рабочего дня.

Согласно исследованиям, потери рабочего времени на отечественных предприятиях достаточно велики, так на водном транспорте они незначительно отклоняются от среднестатистического показателя, что является недоиспользованным ресурсом роста производительности труда. Неэффективное использование может приводить к невосполнимым потерям в товарообороте, недополучении прибыли, доходов, в снижении объёмов перевозок грузов и пассажиров, снижении выпуска товаров и услуг. Причинами как правило являются: низкий уровень организация труда, нарушения трудовой дисциплины и не зависящие от работника обстоятельства, например, низкое качество реализации управленческой функции руководством организаций. Устранение хотя бы необоснованных потерь рабочего времени, при существующем уровне организации труда, способно повысить эффективность отечественных предприятий более чем на 10% [1].

**Ключевые слова:** интеллектуальный труд, управление трудом, эффективность труда, условия труда, производительность труда.

## **Factors for increasing the efficiency of using working time for knowledge workers in water transport**

**Renata I. Karavashkina<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-7263-9001*

**Yulya R. Guro-Frolova<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-6048-8576*

**Elena M. Fedotova<sup>2</sup>**

*ORCID: 0000-0003-0692-7432*

<sup>1</sup>*Volga State University of Water Transport*

<sup>2</sup>*Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering*

**Abstract.** Working time is the most valuable resource in the field of production and labor. The effectiveness of its use has always been given special attention not only by economists, but also by sociologists and psychologists. According to labor legislation, working time is the time during which an employee, in accordance with the rules of the internal labor regulations and the terms of the employment contract, must perform labor duties, as well as other periods of time related to the working time. Thus, working time includes not only the time of the main work, but also auxiliary work, the time of regulated breaks and some other types of use of the working hours. According to research, the loss of working time at domestic enterprises is quite large, since in water transport they deviate slightly from the average indicator, which is an underutilized resource for labor productivity growth. Ineffective use can lead to irreparable losses in trade turnover, loss of profit and income, a decrease in the volume of cargo and passenger transportation, and a decrease in the output of goods and services. The reasons are usually: a low level of labor organization, violations of labor discipline and circumstances beyond the control of the employee, for example, the poor quality of the implementation of the managerial function by the management of organizations. The elimination of at least unjustified losses of working time, at the existing level of labor organization, can increase the efficiency of domestic enterprises by more than 10% [1].

**Keywords:** intellectual labor, labor management, labor efficiency, working conditions, labor productivity.

### **Введение**

Вопросы обеспечения экономического роста, повышения уровня и качества жизни остаются приоритетными. Современные условия дальнейшего развития национальной экономической системы неразрывно связано с повышением эффективности использования трудовых ресурсов. Тенденции развития национальных экономик демонстрируют два основных направления [2]. Первое - нацеленность на повышение объёма совокупного общественного продукта путем интенсификации использования имеющихся ресурсов (использования инноваций, цифровых технологий и т.п.). Второе – стремление к повышению уровня и качества жизни людей, а значит к улучшению качества трудовой жизни работников, что в современных тенденциях все чаще проявляется в возможном сокращении нормативной продолжительности рабочего дня или недели [3].

Взаимосвязь названных направлений достаточно прозрачна. Повышение эффективности сферы материального производства неразрывно связано с интенсификацией использования ресурсов, внедрением инноваций, цифровых технологий, повышением качества трудовой жизни.

Говоря об эффективности использования рабочего времени и повышении производительности работников умственного труда (далее – РУТ), в частности профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений, уместно акцентировать вопросы выбора оптимальных методов управления данной категорией работников, учета ключевых факторов производительности труда РУТ, а также условий, способствующих её снижению, что в конечном итоге направлено на устойчивое развитие организаций в целом.

### **Методы**

Процесс умственного труда специфичен и предполагает активные когнитивные процессы, сосредоточение, концентрацию и поддержание внимания, межличностное взаимодействие, связанное с обработкой, приемом, анализом и передачей информации, эмоциональную включенность, при этом длительная мобилизация внимания РУТ нагружает нервную систему, генерируя нервное и эмоциональное напряжение. Как показывает практика, продуктивное управление трудовой активностью РУТ, предполагающей умственные операции, ориентированные на анализ, размышление, сопоставление, выработку и формулирование альтернативных

вариантов и т.п., невозможно поместить в шаблонные рамки, применимые к управлению работниками других категорий [4].

Можно отметить сложность жесткого временного нормирования трудовой активности РУТ, а также неэффективность жесткого администрирования деятельности, предполагающей дифференциацию способностей к генерации идей, разницу в скорости мыслительных операций, что может привести к ухудшению ожидаемого результата и получение, в конечном итоге, не оптимального решения, а минимально допустимого в сложившихся обстоятельствах с доминированием принципа «как смогли, так и сделали в ограниченных временных рамках».

Стратегия грамотного руководителя - не прибегать к излишнему командованию работниками, будучи озабоченным решением проблемы оптимизации условий для продуктивной трудовой деятельности в рамках решения обозначенных задач [5].

В то же время, актуальной является проблема уменьшения временных потерь РУТ в рамках эффективного использования рабочего времени, что связано с элиминацией или сведением к минимуму лишних операций, обучением РУТ эффективному тайм-менеджменту, оптимизацией процессов, устранением излишней «бумажной работы», которую может выполнить вспомогательный персонал.

### Результаты

К ключевым факторам, способствующим повышению эффективности использования рабочего времени РУТ в высшем учебном заведении, и, как результат, повышению производительности труда РУТ, мы относим следующие, представленные на рисунке 1.



Рис. 1. Факторы повышения эффективности использования рабочего времени РУМ в вузе

На повышение производительности РУМ оказывает непосредственное влияние позиция руководства вуза, относящегося к РУМ либо как к «издержкам», либо как к «капиталу», в последнем случае производительность повышается за счет генерации

желания РУМ работать именно в этой организации, формирования устойчивой мотивации профессиональной деятельности [6, 7].

Представляет интерес мини-опрос РУМ, относящихся к категории ППС, проведенный выборочно на кафедрах ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», где одним из вопросов к опрашиваемым был «Что вам мешает в работе?»

В качестве ответов были зафиксированы следующие варианты, представленные на рисунке 2. При этом все дезорганизующие моменты, снижающие производительность, эффективность использования рабочего времени, концентрацию ППС на основной работе, могут быть сведены к минимуму за счет привлечения сотрудников из числа вспомогательного персонала.

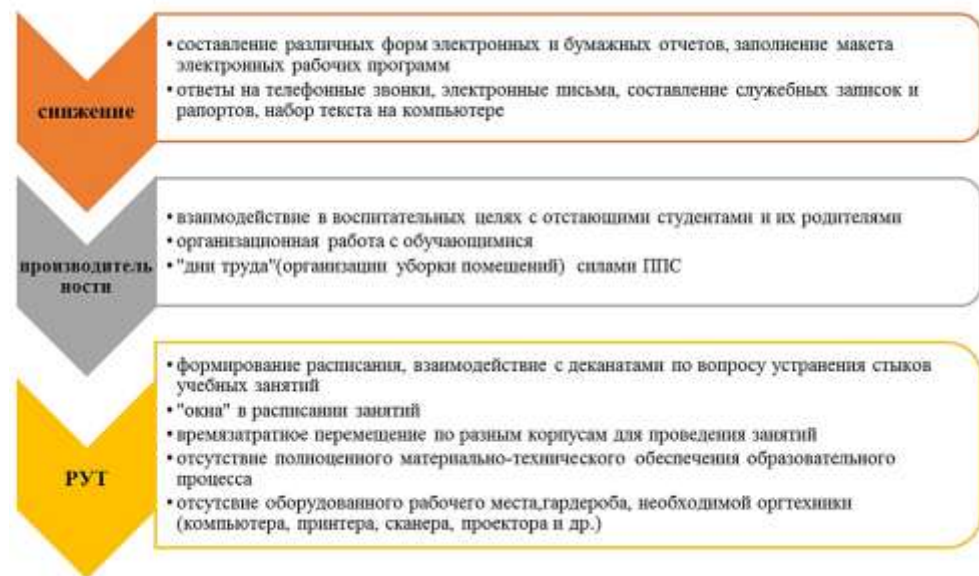


Рис. 2. Факторы, затрудняющие работу РУТ вуза

### Обсуждение

К факторам, повышающим производительность труда РУТ мы можем отнести: Определенность и четкость формулировки задания, что обеспечивает полную концентрацию на выполняемой работе.

Автономия, при этом РУТ предварительно должен сосредоточиться на следующих акцент-вопросах и получить на них ответы – «Каково мое задание?», «Каков должен быть итоговый результат?», «Что мне необходимо для успешного выполнения задания?», «Что мне мешает его выполнить?»

Инновационная деятельность и регулярное повышение квалификации. Фокусировка на качестве выполняемой работы, а не на количестве или объеме.

Отношение руководства организации к РУТ как к «капиталу», а не как к «издержкам».

Элиминация стрессовых факторов, как психологических, так и организационных, к которым мы относим жесткий доминирующий административный контроль, отсутствие технической, организационной, социальной поддержки в ходе реализации профессиональной деятельности РУМ, напряженный



психологический климат в трудовом коллективе (конфликты, буллинг и т.п.), проблемное финансирование труда [6, 7, 8, 9].

Таким образом, в области совершенствования организации труда РУТ и сокращения потерь рабочего времени мы обозначим следующие актуальные направления:

- снижение напряжённости труда и излишней эмоциональной нагрузки;
- оптимизация режимов труда и отдыха при ненормируемом рабочем дне;
- оптимизация численности РУТ в зависимости от квалификации, возраста;
- совершенствование организации рабочего места РУТ, его оснащение всем необходимым;
- совершенствование приемов и методов труда, освоение необходимых профессиональных компетенций;
- устранение излишних, устаревших, дублирующих и низкоквалифицированных видов работ;
- организация труда вспомогательных работников, которым передается работы не требующая наличие ученой степени и звания РУТ;
- оптимизация подготовительно-заключительной работы, путем формирования качественных УММ и рабочих программ;
- совершенствование оплаты труда РУТ, путем обеспечения достойной оплаты высококвалифицированного труда;
- введение научно обоснованных норм подготовительно-заключительной работы РУТ;
- формирование условий и стимулов для осуществления НИР;
- формирование престижа труда РУТ вуза и признания его социальной значимости и др.

### **Заключение**

Представляется важной необходимость возрождения в нашей стране прежнего научного интереса к организации труда работников как физического, так и умственного труда [10]. Первоочередным направлением в данной области нам представляется изучение затрат рабочего времени, формирования рациональных режимов труда и отдыха, способов устранения устаревших приемов и методов труда,

Наполнение рынка необходимыми потребительскими товарами и услугами, при значительно возросшей общественной производительности труда, сможет высвободить дополнительное время работнику для личной реализации вне трудовой сферы, способствуя развитию человека в творчестве, социальной жизни, в семье и воспитании детей. Тенденции современного развития общества подчеркивают значимость не столько экономического, сколько социального развития, указывают на возрастающую значимость нравственной, воспитательной, гуманизационной и творческой функций труда, утверждая, что: «человек трудится не для того, чтобы хорошо функционировала экономика, а экономическая система создана для того, чтобы хорошо жил человек» [11].

Многие национальные системы управления трудом, которые, как известно, формируются под воздействием местной культуры, традиций и принятого в обществе мировоззрения, доказывают, что качественная жизнь работника вне производственной деятельности положительно влияет на эффективность выполнения им трудовых задач [12].

**Список литературы**

1. Горелов Н.А., Никитина В.В. Интенсивность и производительность труда в контексте сокращения рабочей недели в России // Экономика труда. – 2019. – Том 6. – № 4. – С. 1285-1298. – doi: 10.18334/et.6.4.41341.
2. Аганбегян А. Г. Новая Россия: 30 лет без экономического роста // Научные труды вольного экономического общества России. – 2021. – Том 232. - № 6. С. 34-81
3. Медведев Д.А. назвал плюсы четырехдневной рабочей недели. РИА-новости. <https://ria.ru/20210429/rabota-1730467597.html>.
4. Практический менеджмент / Под ред. Э. М. Короткова– М.: ИНФРА-М, 2010. – 330 с.
5. Шепель, В. М. Человеческая компетентность менеджера. Управленческая антропология. – М.: Дом педагогики, 2000. – 542 с.
6. Каравашкина Р.И., Гуро-Фролова Ю.Р., Федотова Е.М. Снижение последствий влияния синдрома эмоционального выгорания на результативность работы преподавателя и вуза в целом // Экономика труда. – 2022. – Том 9. – № 9. – doi: 10.18334/et.9.9.116207.
7. Каравашкина Р.И., Гуро-Фролова Ю.Р., Киселёва Е.В. Заработная плата и благоприятные условия труда как факторы совершенствования труда интеллектуальных работников (на примере преподавателей вуза) // Экономика труда. – 2022. – Том 9. – № 10. – doi: 10.18334/et.9.10.116260.
8. Bickford, M. (2005). Stress in the Workplace: A General Overview of the Causes, the Effects, and the Solutions. Canadian Mental Health Association, Newfoundland and Labrador Division.
9. Wichert, I. (2002). Job insecurity and work intensification: The effects on health and Wellbeing. Schultz, D.P., Schultz, S.E. (2005). Theories of Personality (8th ed.). Wadsworth: Thomson.
10. Бычин В.Б., Новикова Е.В. Нормирование труда как элемент эффективного внутрифирменного управления в современных условиях // Экономика труда. – 2018. – Том 5. – № 1. – С. 77-86. – doi: 10.18334/et.5.1.38710.
11. Бердяев Н.А. Смысл творчества. — М., 1916. — 358 с.
12. Попова Н.В. Опыт зарубежных стран в управлении занятостью и рынком труда // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12-3. – С. 592-595; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36157> (дата обращения: 26.11.2023).

**References**

1. Gorelov N.A., Nikitina V.V. Intensivnost' i proizvoditel'nost' truda v kontekste sokrashcheniya rabochej nedeli v Rossii // Ekonomika truda. – 2019. – Том 6. – № 4. – С. 1285-1298. – doi: 10.18334/et.6.4.41341.
2. Aganbegyan A. G. Novaya Rossiya: 30 let bez ekonomicheskogo rosta // Nauchnye trudy vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii. – 2021. – Том 232. - № 6. S. 34-81
3. Medvedev D.A. nazval plyusy chetyrekhdnevnoj rabochej nedeli. RIA-novosti. <https://ria.ru/20210429/rabota-1730467597.html>.
4. Prakticheskij menedzhment / Pod red. E. M. Korotkova– М.: INFRA-M, 2010. – 330 с.
5. SHepel', V. M. CHElovekovedcheskaya kompetentnost' menedzhera. Upravlencheskaya antropologiya. – М.: Dom pedagogiki, 2000. – 542 с.
6. Karavashkina R.I., Guro-Frolova YU.R., Fedotova E.M. Snizhenie posledstvij vliyaniya sindroma emocional'nogo vygoraniya na rezul'tativnost' raboty prepodavatelya i vuza v celom // Ekonomika truda. – 2022. – Том 9. – № 9. – doi: 10.18334/et.9.9.116207.
7. Karavashkina R.I., Guro-Frolova YU.R., Kiselyova E.V. Zarabotnaya plata i blagopriyatnye usloviya truda kak faktory sovershenstvovaniya truda intellektual'nyh rabotnikov (na primere prepodavatelej vuza) // Ekonomika truda. – 2022. – Том 9. – № 10. – doi: 10.18334/et.9.10.116260.
8. Bickford, M. (2005). Stress in the Workplace: A General Overview of the Causes, the Effects, and the Solutions. Canadian Mental Health Association, Newfoundland and Labrador Division.
9. Wichert, I. (2002). Job insecurity and work intensification: The effects on health and Wellbeing. Schultz, D.P., Schultz, S.E. (2005). Theories of Personality (8th ed.). Wadsworth: Thomson.

10. Bychin V.B., Novikova E.V. Normirovanie truda kak element effektivnogo vnutrifirmennogo upravleniya v sovremennyh usloviyah // *Ekonomika truda*. – 2018. – Tom 5. – № 1. – S. 77-86. – doi: 10.18334/et.5.1.38710.
11. Berdyaev N.A. *Smysl tvorchestva*. — M., 1916. — 358 s.
12. Popova N.V. Opyt zarubezhnyh stran v upravlenii zanyatost'yu i rynkom truda // *Fundamental'nye issledovaniya*. – 2014. – № 12-3. – S. 592-595; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36157> (data obrashcheniya: 26.11.2023).

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

**Каравашкина Рената Ивановна**, к.э.н., доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [ren3004@mail.ru](mailto:ren3004@mail.ru)

**Renata I. Karavashkina**, Ph.D. in Economics, Associate Professor of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov str., Nizhny Novgorod, 603951

**Гуро-Фролова Юлия Романовна**, к.психол.н., доцент, заведующая кафедрой иностранных языков и конвенционной подготовки, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [business\\_box\\_2@mail.ru](mailto:business_box_2@mail.ru)

**Yulya R. Guro-Frolova**, Ph.D. in Psychology, Head of the Chair of Foreign Languages and Conventional Training, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov str., Nizhny Novgorod, 603951

**Федотова Елена Михайловна**, старший преподаватель кафедры иностранных языков, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. 603000, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д.65. e-mail: [fedotova28.31@gmail.com](mailto:fedotova28.31@gmail.com)

**Elena M. Fedotova**, Senior Lecturer of the Department of Foreign Languages, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. 65 Ilyinskaya str., Nizhny Novgorod, 603000, Russia. e-mail: [fedotova28.31@gmail.com](mailto:fedotova28.31@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 24.11.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 24.11.2023; published online 20.03.2024

УДК 338.47

DOI: 10.37890/jwt.vi78.467

## **Анализ тенденций функционирования водного и воздушного транспорта в регионах РФ на фоне возникающих кризисов**

**М.С. Колосова**

*ORCID: 0009-0000-7351-0333*

**Д.Ю. Фраймович**

*ORCID: 0000-0001-9702-9093*

*Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н.Г. Столетовых,  
Владимир, Российская*

**Аннотация:** В статье рассматриваются текущие тенденции в авиационной отрасли, факторы роста пассажиропотока и грузопотока, ключевые игроки в различных регионах мира, регулирующие требования и вызовы рынка в сравнении с одной из немаловажной отрасли России и мира – водного транспорта. Выполнен обзор новых концепций создания самолетов. Авторами констатируется возобновление производства отечественных воздушных судов в условиях реализации политики активного импортозамещения. В работе выявлены преимущества от использования среднемагистральных и дальнемагистральных самолетов российскими перевозчиками, представлена структура рыночных позиций крупнейших авиакомпаний России за последние годы. Также в исследовании оценивается влияние пандемии COVID – 19 на ситуацию в данной сфере и рассматриваются альтернативные стратегии для ее восстановления. В целях повышения безопасности полетов и обеспечения устойчивости экологических практик обосновывается необходимость развития отечественной авиационной отрасли и ее адаптации к произошедшим международным трансформациям, что предполагает безусловное применение новых технологий. В статье сопоставляются воздушный и водный транспорт, производится сравнение российских и зарубежных показателей функционирования данных отраслей. Анализ динамики развития авиационной отрасли и водного транспорта позволяет выявить преимущества и недостатки в каждой из сфер, оценить их влияние на мировую экономику.

**Ключевые слова:** авиационная отрасль, авиационная промышленность, пассажиропоток, грузопоток, IATA, водный транспорт, кораблестроение.

## **Analysis of trends in the functioning of water and air transport in the regions of the Russian Federation against the backdrop of emerging crises**

**Maria S. Kolosova**

*ORCID: 0009-0000-7351-0333*

**Denis Yu. Fraimovich**

*ORCID: 0000-0001-9702-9093*

*Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, Russian Federation*

**Abstract:** The article discusses current trends in the aviation industry, growth factors in passenger and cargo traffic, key players in various regions of the world, regulatory requirements and market challenges in comparison with one of the most important industries in Russia and the world - water transport. A review of new aircraft concepts has been completed. The authors state the resumption of production of domestic aircraft in the context of the implementation of a policy of active import substitution. The paper identifies the

advantages of using medium-haul and long-haul aircraft by Russian carriers, and presents the structure of the market positions of Russia's largest airlines in recent years. The study also assesses the impact of the COVID-19 pandemic on the situation in this area and examines alternative strategies for its recovery. In order to improve flight safety and ensure the sustainability of environmental practices, the need for the development of the domestic aviation industry and its adaptation to the ongoing international transformations is substantiated, which implies the unconditional use of new technologies. The article draws a parallel between air and water transport and compares Russian and foreign indicators of these industries. The analysis of the dynamics of the development of the aviation industry and water transport makes it possible to identify advantages and disadvantages in each of the spheres, to assess their impact on the global economy.

**Keywords:** aviation industry, aviation industry, passenger traffic, cargo traffic, IATA, water transport, shipbuilding.

### **Введение**

В процессе всемирной глобализации решающая роль в обеспечении перемещения людей и грузов между различными точками нашей планеты играет авиационный транспорт, так как является наиболее быстрым и эффективным средством для региональных, всероссийских и международных перевозок.

В настоящее время, несмотря на кризис, образовавшийся в структуре перевозок после 2019 года, авиационный транспорт обслуживает миллионы пассажиров. Так, за 2022 год только от российских авиакомпаний получили соответствующие услуги 95 млн человек. Авиация является неотъемлемой частью международной торговли, способствуя экспорту и импорту товаров в различных областях экономики. Таким образом, авиационная промышленность является одной из крупнейших точек инвестирования.

Так, в ходе поздравления работников воздушного транспорта роль авиации в жизни страны подчеркнул премьер-министр России Михаил Мишустин. По его словам, жизнь современного человека невозможно представить без авиации. Она играет важнейшую роль в развитии национальной экономики, а также является основным способом динамичного взаимодействия между регионами России и всем миром.

В развитии авиационной отрасли наблюдалась положительная динамика до начала активного распространения короновирусной инфекции. Пандемия сильно ударила по данной сфере, сведя «на нет» два десятилетия роста мирового пассажиропотока всего за несколько месяцев [5]. Строгие меры, принятые правительствами во всем мире для сдерживания пандемии, по данным IATA, привели к существенному сокращению спроса (на 65,9 процента) на воздушное перемещение.

Объективная и независимая оценка развития различных транспортных отраслей позволит выявить особенности, тенденции и различного рода трансформации, произошедшие в грузо- и пассажиропотоках в ковидный и постковидный периоды. Тем самым появляется возможность определить чувствительность той или иной сферы к возникающим социально-экономическим кризисам.

### **Материалы и методы**

Эмпирическую базу исследования составляют данные немецкой компании Statista, официального сайта Министерства транспорта Российской Федерации и статистической службы ЕС (Евростат), Федеральное агентство морского и речного транспорта.

## Результаты и обсуждение

Авиационная отрасль является одной из динамично развивающихся транспортных секторов в современной взаимосвязанной мировой экономике. С начала 21 века объем международных пассажиро- и грузоперевозок до 2019 года неуклонно возрастал практически во всех регионах мира.

Изначально мировая авиационная промышленность была сосредоточена на формировании отрасли военного характера, позднее отрасль стала выпускать самолеты гражданского назначения.

Начиная с середины прошлого века, развитие авиационной промышленности зависит от количества государственных заказов и возможностей экспорта техники за рубеж. Также стоит отметить, что производство авиа-судов отличается высокой степенью капиталоемкости [8].

Безусловными лидерами в авиомоделировании, гражданском и оборонном самолетостроении являются американская компания «Boeing» и европейская компания «Airbus», производящие военно-транспортные, грузовые и пассажирские самолеты.

Компания «Airbus» располагает около 12 тысячами самолетов, расположенных в авиапарках по всему миру. Помимо большого разнообразия имеющихся в эксплуатации воздушных машин, компания выпустила самый большой двухэтажный четырехдвигательный пассажирский самолет в мире – A380, превосходящий по параметрам двухэтажный Boeing -747.

Данная модель способна переносить до 555 пассажиров в стандартном виде и до 853 пассажиров в чартерной компоновке на расстояние до 15400 км.

Но выпуск перечисленных выше моделей пассажирских самолетов завершен обеими компаниями: A380 в 2021 году, а Boeing -747 – в 2023 году (последний покупатель – компания «Atlas Air»).

На сегодняшний день ведущие компании активно осуществляют разработку новых концепций создания самолетов. Так, «Airbus» занимается разработкой самолетов на водородном двигателе. Она представляет следующие инновационные виды самолетов:

- турбовинтовой (тягу обеспечивает два турбовинтовых двигателя на гибридном водороде);
- турбовентиляторный (комплектуется двумя турбовентиляторными двигателями);
- BWB (отличительная особенность – корпус со смешанным крылом);
- электрическая концепция (электрическая установка, работающая на топливных элементах).

Российская авиационная промышленность не имеет столь выдающихся успехов в самолетостроении, но в условиях активного импортозамещения начала восстановление и разработку лайнеров по типу советских концепций. В основном произошло возобновление производства ТУ-214 на Казанском авиастроительном заводе. Серия предполагает выпуск 20 самолетов. Причем первую часть готовой техники планировалось выпустить в 2023 году, после чего данный этап был перенесен на конец 2024 года.

В целом, активное производство самолетов в мире объясняется значительным спросом на авиаперевозки. На протяжении с 2000 по 2019 год количество выполняемых рейсов неуклонно росло. Так количество рейсов по всему миру к 2019 году достигло 39 миллионов, однако к 2020 году сократилось примерно на 23 миллиона. Согласно прогнозам, в 2023 году их количество составит около 32 миллионов, что свидетельствует о еще довольно нестабильной, но уже положительной динамике в отрасли.

В период до 2019 года и в пост-ковидное время по оборотам и пассажиропотоку лидирующие позиции занимает ряд североамериканских и европейских авиакомпаний.

В прогнозе, составленном компанией IATA, акцентируется внимание на ожиданиях самого высокого роста на рынках Латинской Америки, Азии и Африки. Данный прогноз составлен на основе зафиксированной тенденции увеличения внутреннего количества трудоспособного населения, так и притока из-за рубежа [1].

Государственные ограничения, связанные с частичным приостановлением авиасообщения в период с конца 2019 по 2021 гг., обусловили сокращение пассажиропотоков крупнейших авиакомпаний мира, что, в свою очередь, повлекло за собой огромное падение показателей выручки. Данные по изменению пассажиропотока представлены в таблице 1.

*Таблица 1.*

**Изменение пассажиропотока крупнейших авиакомпаний в 2019-2020 гг. [9]**

Название	American	Delta	United	Southwest	China Southern	China Eastern	Ryanair	Air China	Аэрофлот	Turkish Airlines
Падение пассажиропотока в 2019-2020 гг. (%)	-23	-43	-35,9	-39,1	-35	-39,3	-52,5	-40	-24,5	-39,7

В таблице 1 наглядно видно, что самое большое падение пришлось на авиакомпанию Китая, Турции и северной Европы. Активное падение пассажиропотока Китая связано с самым ранним закрытием границ и введением ограничений на внутренние авиаперевозки. Турецкие авиакомпании также быстро ощутили активный отток туристов из различных регионов мира.

Одна из самых популярных авиакомпаний «Turkish Airlines», перевозящая огромное количество пассажиров на курорты Турции и являющаяся практически самой удобной и комфортной по данным опроса пассажиров, потерпела значительный спад объемов выручки, что повлекло за собой активное повышение цен на авиаперелёты в пост-ковидный период.

Но уже к началу 2021 года авиационная отрасль мира начала демонстрировать постепенное восстановление, не исключая и российских авиаперевозчиков. Последние, в свою очередь, не успев выбраться из фазы ковидных ограничений, подверглись различным санкциям, связанным с обострением российско-украинского конфликта.

Так, в конце февраля 2022 года из полетной программы авиакомпаний выпало 11 направлений, ориентированных на перевозку пассажиров на юг России. В данный список попали следующие города: Анапа, Белгород, Курск, Липецк, Симферополь, Краснодар и другие. К январю 2023 года движение возобновилось.

Наиболее полное восстановление отрасли можно наблюдать с середины 2022 года. По сравнению с началом 2020 года произошло увеличение пассажиро-километров на 70 %.

Для того, чтобы корректно оценить динамику развития транспорта, а, в частности, авиационной отрасли, представляется целесообразным произвести исследования еще одного средства перемещения грузов и пассажиров – водного.

В таблице 2 рассмотрены изменения пассажиропотока крупнейших круизных компаний, так как именно на данную деятельность приходится наибольшее количество перевозок людей. Кроме того, именно туристическая деятельность является наиболее прибыльной, но и чувствительной к внешним факторам, например, пандемии COVID-19.

Таблица 2

**Изменение пассажиропотока крупнейших круизных компаний в 2019-2020 гг., в % [11]**

Название	Costa	MSC	Royal Caribbean, Celebrity	Norwegian	Princess	Celebrity Cruises	TUI Cruises
Изменение пассажиропотока в 2019-2020 гг. (%)	-18	-25	-20	-27	-15	-35	-38,2

По аналогии с таблицей 1, в таблице 2 четко прослеживается тенденция снижения пассажиропотока крупнейших компаний мира от 15 до 38 %. Круизные компании России продемонстрировали максимальное сокращение пассажиропотока на фоне европейских и американских перевозчиков.

Так, компания «Черноморские круизы» и «Посейдон» представила данные о снижении пассажиропотока более чем на 45%. Представленные выше данные свидетельствуют о глобальном снижении результатов в транспортной отрасли (воздушном, водном и железнодорожном сообщении).

В свою очередь, внутренняя деятельность водного транспорта обеспечила следующие показатели (по всем видам перевозки пассажиров) в реальных цифрах (млн чел) с 2015 по 2023 гг. (таблица 3):

Таблица 3

**Перевозки пассажиров и пассажирооборот внутреннего водного транспорта млн чел. в РФ [11]**

Год	2015	2017	2019	2021	2023
Всего	13,6	11,1	7,7	8,6	9,8

Данные таблицы 3 позволяют отметить, что 2019-2020 гг. также, как и для авиационной отрасли, являются непростыми ввиду очевидного снижения оборотов внутренней деятельности. К 2023 году ситуация улучшилась, но показатели так и не достигли значений 2015-2018 гг.

Возвращаясь к глобальной авиационной отрасли, можно сказать, что на данный момент в прогнозе на конец 2023 года демонстрируется снижение оборотов на рынке примерно на 30 млрд долларов в сравнении с периодом 2018-2019 гг. Обозначенную выше динамику изменений можно увидеть на рисунке 1 [3,7].

Но по сравнению с показателями в 2020-2021 гг. упомянутое отрицательное отклонение можно назвать незначительным.

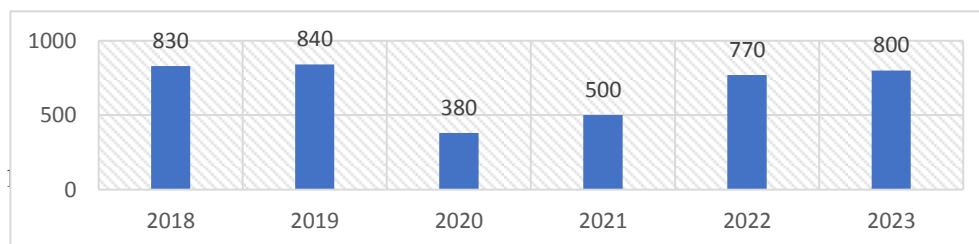




Рис. 1. Объем рынка глобальной авиационной отрасли (млрд долларов)

В России количество крупнейших авиакомпаний на протяжении последних 10 лет практически не изменилось. Основной рынок пассажироперевозок России представлен примерно десятком сильных «игроков». Структура рыночных позиций крупнейших компаний России по данному виду услуг за последние семь лет выглядит следующим образом (рисунок 2) [2, 4].

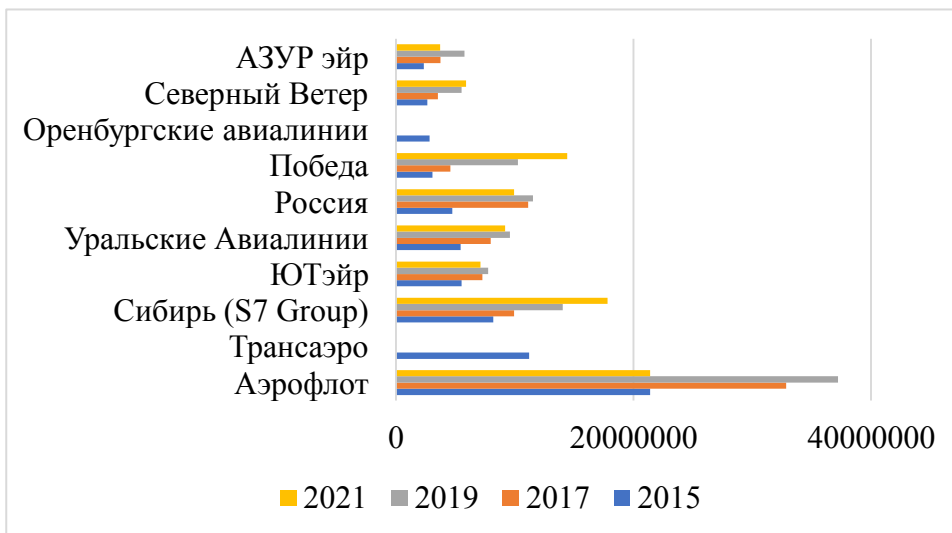


Рис. 2. Пассажиропоток авиакомпаний России за 2015-2021 год (млрд долларов)

На рисунке 2 наглядно видно, что ситуация в авиационной отрасли России аналогичным образом сопоставима с ситуацией в мире. Так же, как и зарубежные, российские авиакомпании после 2019 года испытывали трудности, связанные с ковидными ограничениями на перелеты. Но стоит обратить внимание на развитие небольших авиакомпаний по отношению к крупнейшей – «Аэрофлоту».

Такие компании, как «Северный ветер», «Победа», «Сибирь» увеличили показатели пассажироперевозок за указанный период. Вероятно, данный факт связан с разнообразием наполняемости авиапарка. Так, на счету выше перечисленных авиакомпаний насчитывается большое количество среднемагистральных самолетов.

Авиакомпания «Аэрофлот» имеет в основном среднемагистральные и дальнемагистральные самолеты. Всего в ее парке насчитывается 155 воздушных судов. Из них 16 – ближнемагистральных, 102 – среднемагистральных и 37 – дальнемагистральных воздушных судов. В карантинное время самолеты, предназначенные для дальних полетов, не были востребованы для активной эксплуатации. Поэтому не крупные авиакомпании, например, «Сибирь» и «Победа» были наиболее перспективными в данный период, так как устанавливали меньшую стоимость на среднемагистральные перевозки по сравнению с прочими участниками рынка.

Также стоит обратить внимание на закрытие одной из крупнейших авиакомпаний России – Трансаэро. По данным Росавиации, самолеты данной авиакомпании в основном были проданы американской компании «Southwest Airlines» [6].

### **Заключение**

Исследование, представленное в статье, показало, что авиация играет неотъемлемую роль в экономическом развитии в глобальном масштабе, соединяя людей и рынки в разных странах и обеспечивая эффективную перевозку.

Несмотря на вызовы, связанные с пандемией COVID-19 и прочими экономическими и экологическими факторами, авиационная отрасль продолжает адаптироваться и развиваться, в основе чего лежит применение новых технологий, повышение безопасности полетов и устойчивость экологических практик.

Также важно учесть сложности, с которыми сталкивается отрасль, такие, как геополитические конфликты, экономическая нестабильность и обусловленные эпидемиями ограничения. Авиационные компании должны быть готовы к адаптации и стремиться к устойчивому развитию с учетом потребностей пассажиров, государственного регулирования и экологических требований.

Бесспорным является тот факт, что авиация обеспечивает быстрое перемещение грузов и людей. В то же время, деятельность водного транспорта рассчитана на значительно больший объем перевозок на длительные расстояния и является, одновременно, наиболее экономичной.

В целом, как авиация, так и водный транспорт, продолжают играть важную роль в международной торговле, национальной экономике государств и социальной интеграции стран.

Поэтому, будущее рассматриваемых отраслей зависит от развития инноваций, и коллективных усилий в авиационной промышленности, а также достижений в области кораблестроения. Преодоление политических и социально-экономических кризисов современности и достижение устойчивого хозяйственного роста непременно зависит, в том числе, и от уровня использования эффективного и безопасного воздушного и водного видов транспорта [10]. И данные ориентиры в условиях динамично меняющегося мира и возникающих технологических вызовов должны распространяться на все государства без исключения.

### **Список литературы**

1. Рынок авиации общего назначения в Латинской Америке | 2022 - 27 | Доля отрасли, размер, рост - Mordor Intelligence [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com> [дата обращения 12.09.2023]
2. Statista | Пассажирские авиакомпании - статистика и факты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.statista.com> [дата обращения 12.09.2023]
3. Основные таблицы | Транспорт | Евростат [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://europa.eu> [дата обращения 12.09.2023]
4. Ведомости | Российские авиакомпании в 2022 году снизили перевозки на 14% до 95 млн пассажиров [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vedomosti.ru>
5. Мир 24 | Мишустин отметил важную роль авиации в жизни страны [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mir24.tv> [дата обращения 12.09.2023]
6. Министерство транспорта Российской Федерации | Новости | «Расставляя акценты: Роль воздушного транспорта в обеспечении динамичного развития России» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru> [дата обращения 12.09.2023]
7. Крупнейшие авиакомпании мира по перевозкам пассажиров — [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://aeronautica.online> [дата обращения 12.09.2023]
8. Пособие Экономика ГА 2014г. pdf [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mstuca.ru> [дата обращения 12.09.2023]
9. Statista | Коронавирус: влияние на авиационную отрасль во всем мире - статистика и факты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.statista.com> [дата обращения 12.09.2023]
10. Воронцова А.М. Авиатранспортный рынок и управление его развитием // Вестник национальной академии туризма. 2013. № 1(25). 73 с.

11. Инфраструктурные проекты в сфере морского транспорта | Федеральное агентство морского и речного транспорта [Электронный ресурс]-Режим доступа: <https://www.morflot.gov.ru> (дата обращения 12.09.2023)

#### References

1. General Aviation Market in Latin America | 2022 - 27 | Industry share, size, growth - Mordor Intelligence [Electronic resource] – Access mode: <https://www.mordorintelligence.com> [access date 09/12/2023]
2. Statista | Passenger airlines - statistics and facts [Electronic resource] – Access mode: <https://www.statista.com> [access date 09/12/2023]
3. Basic tables | Transport | Eurostat [Electronic resource] – Access mode: <https://europa.eu> [access date 09/12/2023]
4. Gazette | Russian airlines in 2022 reduced transportation by 14% to 95 million passengers [Electronic resource] – Access mode: <https://vedomosti.ru>
5. World 24 | Mishustin noted the important role of aviation in the life of the country Electronic resource] - Access mode: <https://mir24.tv> [access date 09/12/2023]
6. Ministry of Transport of the Russian Federation | News | “Placing Accents: The Role of Air Transport in Ensuring the Dynamic Development of Russia” [Electronic resource] – Access mode: <https://mintrans.gov.ru> [access date 09/12/2023]
7. The world's largest airlines for passenger transportation - [Electronic resource] - Access mode: <https://aeronautica.online> [access date 09/12/2023]
8. Manual Economics GA 2014..pdf [Electronic resource] – Access mode: <https://mstuca.ru> [access date 09/12/2023]
9. Statista | Coronavirus: impact on the aviation industry around the world - statistics and facts [Electronic resource] – Access mode: <https://www.statista.com> [accessed 09/12/2023]
10. Vorontsova A.M. Air transport market and management of its development // Bulletin of the National Academy of Tourism. 2013. No. 1(25). 73 p.
11. Infrastructure projects in the field of maritime transport | Federal Agency for Maritime and River Transport [Electronic resource] - Access mode: <https://www.morflot.gov.ru> (access date 09/12/2023)

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

**Колосова Мария Сергеевна** - аналитик ВлГУ, ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир, 600000, г. Владимир, ул. Горького 79, e-mail: [m.e.k.06@yandex.ru](mailto:m.e.k.06@yandex.ru)

**Maria S. Kolosova** is an analyst at Vladimir State University named after Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, Russian Federation, e-mail: [m.e.k.06@yandex.ru](mailto:m.e.k.06@yandex.ru)

**Фраймович Денис Юрьевич** - доктор экономических наук, профессор, кафедра «Экономика инноваций и финансы», ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир, 600000, г. Владимир, ул. Горького 79, e-mail: [fdu78@rambler.ru](mailto:fdu78@rambler.ru).

**Denis Yu.Frymovich** – Doctor of Economics, Professor, Vladimir State University named after Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, Russian Federation, e-mail: [fdu78@rambler.ru](mailto:fdu78@rambler.ru)

Статья поступила в редакцию 12.11.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 12.11.2023; published online 20.03.2024

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ  
ПУТИ, СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ**

**WATER TRANSPORT OPERATION, WATERWAYS,  
COMMUNICATIONS AND HYDROGRAPHY**

УДК 004.942

DOI: 10.37890/jwt.vi78.444

**Особенности создания математической модели и ее  
реализации для моделирования гидродинамики речного  
потока в нижнем течении р. Оки**

**И.В. Липатов**

*ORCID: 0000-0002-8770-0522*

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

**Аннотация.** Развитие вычислительной техники и усложнение инженерных задач сделало математическое моделирование неотъемлемой частью проектных работ при возведении сложных воднотранспортных и мостовых гидротехнических сооружений. Это позволяет при минимуме трудо-интеллектуальных затрат получить максимум информации о характере взаимодействия будущего сооружения и речного русла. Моделирование гидродинамики речных потоков сопряжено со сложной топологией расчетной области дна. В дополнение к этому приходится решать трехмерные задачи на базе уравнений Навье-Стокса. Последние в сочетании с проблемой соотношения размеров длины, ширины и глубины ставят дополнительные проблемы на пути практической реализации и получения результата. Особенно ярко эти проблемы проявляются при моделировании крупных рек Европейской части России, таких как Ока и Волга. Это обусловлено тем, что плановые размеры речного потока в сотни раз превышают значения глубин, а строгая аппроксимация расчетной области требует применения равноразмерных расчетных элементов. Обойти эти проблемы позволяет применение современных CAD/CAE вычислительных технологий в сочетании с особыми настройками итерационного решателя. Результаты применения этих достижений вычислительных технологий применительно к решению задачи для нижних течений р. Ока представлены в статье.

**Ключевые слова:** численное моделирование, моделирование речных потоков, граничные условия, генерации расчетной сетки; математические модели.

**Features of creating a mathematical model and its implementation  
for modeling the hydrodynamics of a river flow in the lower  
district of the Oka r.**

**Igor V. Lipatov**

*ORCID: 0000-0002-8770-0522*

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

**Abstract.** The development of computer technology and the complication of engineering problems have made mathematical modeling an integral part of design work in the construction of complex water transport and bridge hydraulic structures. This allows, with a minimum of labor and intellectual costs, to obtain maximum information about the nature of

the future interaction between the future structure and the river channel. Modeling the hydrodynamics of rivers is associated with a complex topology of the computational bottom area. In addition to this, one has to solve three-dimensional problems based on the Navier-Stokes equations. The latter, in combination with the problem of the ratios of the dimensions of length, width and depth, pose additional problems in the way of practical implementation and obtaining results. These problems are especially pronounced when modeling large rivers in the European part of Russia, such as the Oka and Volga. This is due to the fact that the planned dimensions of the river flow are hundreds of times greater than the depth values, and a strict approximation of the computational domain requires the use of equal-dimensional, computational elements. These problems can be circumvented by the use of modern CAD/CAE computing technologies in combination with special settings of the iterative solver. The results of applying these achievements of computational technologies in relation to solving the problem for the lower reaches of the river. Oka is presented in the article.

**Keywords:** numerical simulation, simulation of river flows, boundary conditions, computational grid generation; mathematical models.

### Введение

Большинство рек в России помимо того, что служат источником пресной воды, являются транспортными артериями с активным судоходством. В дополнение к транспортной функции развитие экономики требует возведения и эксплуатации энергетических и воднотранспортных сооружений. Все эти объекты требуют максимально корректной оценки характера взаимодействия речного потока с окружающей средой и адекватной оценки отклика реки на техногенное воздействие.

Традиционно для ответа на вышеназванные вопросы использовались многолетние наблюдения и русловые съемки интересующих участков реки. Пространственно-временной характер развития руслового процесса позволяет оценить направления и тенденции аккумулятивно-эрозионных процессов динамики русловых потоков. Но в целом этот путь имеет чисто экстраполяционный характер. Поэтому при изменении водности года или иных водно-климатических факторов, а также вмешательство в топологию дна, оправдываемость такого прогноза резко падает.

Для решения проектных задач по оценке характера отклика речного потока на внешнее техногенное воздействие, применяют лабораторный эксперимент. Но специфика моделирования речных потоков поставила вопрос о масштабном факторе. В частности, при моделировании даже малых рек по критерию Фруда требуется использовать геометрический масштаб, который меняет режим движения воды с зоны квадратичной турбулентности на ламинарный. В результате адекватное воспроизведение аккумулятивно-эрозионных процессов в лаборатории становится практически невозможным.

Тем не менее, практика все настойчивее требует адекватных ответов на вопрос о характере изменения русловых процессов, при том или ином техногенном воздействии. В результате на практике стали активно применяться достижения вычислительной математики и выполняться математическое моделирование гидродинамики речного потока.

### Базовые уравнения математической модели

Отправной точкой создания компьютерных математических моделей является решение полной стационарной системы гидродинамических уравнений Навье-Стокса с дополнением их уравнением неразрывности и последующим замыканием гипотезой турбулентности [1]:

$$F_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \right) = 0; \quad (1)$$

$$F_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} \right) = 0;$$

$$F_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right) = 0;$$

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 ,$$

где  $t$  – время;

$V_x, V_y, V_z$  – компоненты абсолютной скорости движения жидкости;

$F_x, F_y, F_z$  – компоненты массовых сил;

$p$  – пьезометрическое давление;

$\rho$  – плотность;

$\nu$  – эффективная вязкость

Как показывает практика, наиболее перспективным методом решения данной системы уравнений, применительно к описанию речных потоков, является метод контрольного объёма [1, 2]. Суть метода состоит в следующем. Расчётная область разбивается на некоторое число непересекающихся контрольных объёмов таким образом, что каждая узловая точка содержится в одном контрольном объёме. Дифференциальные уравнения (1), расписываются применительно к каждому контрольному объёму. Причем переход от геометрически сложной расчетной области к совокупности геометрически простых объёмов (кубик, параллелепипед и т.д.), позволяет перейти от дифференциальных соотношений к разностным для интегрирования по каждому контрольному объёму. Для вычисления интегралов используют кусочные профили (аппроксимационные функции), которые описывают изменение исследуемой величины между узловыми точками. Получаемые в результате дискретные аналоги дифференциальных уравнений по каждому контрольному объёму, сворачиваются в систему уравнений. Незвестными в этой системе становятся значения функции, описывающие кинематическую структуру потока ( $V_x, V_y, V_z$ ), действующие в центре каждого контрольного объёма сообразно разбивке расчетной контрольно-объёмной сетки.

Одним из важных преимуществ метода контрольного объёма является то, что в нём заложено точное интегральное сохранение таких величин, как масса, количество движения и энергия для любого объёма, группы объёмов и всей расчётной области. Это свойство справедливо при любом количестве узловых точек, а не только для предельного случая их очень большого числа. Поэтому даже решение на грубой сетке будет удовлетворять точным интегральным балансам [2].

Наиболее сложным вопросом при создании математических моделей движения речного русла является вопрос учета турбулизации потока, т.е. «замыкания» системы уравнений (1). На практике «замыкание» системы уравнений (1) выполняют выбором необходимой математической модели для описания турбулентных эффектов в потоке жидкости. В явном виде за их присутствие в системе уравнений (1) отвечает величина эффективной вязкости –  $\nu$ . Согласно современным представлениям о природе турбулентных процессов, эффективная вязкость является алгебраической суммой кинематической и турбулентной вязкости (последнюю еще называют коэффициентом турбулентного обмена). Причем, если первая величина является константой жидкости, то по поводу теоретического определения второй величины имеется большое количество мнений. Наиболее проверенным является так называемый  $k - \epsilon$  – подход, которым далее и воспользуемся. Согласно этому подходу коэффициент турбулентной вязкости (коэффициент турбулентного обмена) определяется как [3, 4, 5, 6]:

$$v_T = c_p \cdot \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2)$$

где  $k$  – кинетическая энергия турбулентности,  
 $\varepsilon$  – коэффициент диссипации турбулентной кинетической энергии.  
 $C_p$  – кинетическая энергия турбулентности,

Кинетическая энергия турбулентности и ее диссипация (рассеивание) в потоке, являются основными количественными характеристиками турбулизации речного потока, так как напрямую связаны с турбулентными касательными напряжениями в потоке. Для их численного определения возникает необходимость в дополнении системы уравнений (1) группой уравнений, описывающих значения  $k$  и  $\varepsilon$  в области потока. Работа с  $k$  и  $\varepsilon$  более удобна, чем прямой учет касательных турбулентных напряжений, так как позволяет существенно упростить натурные измерения и избавиться от ряда математических сложностей при численной реализации вычислительной процедуры. В частности, такой подход позволяет по отдельности считать турбулентность в ядре потока, где она полностью развивается. Параллельно с этим, для придонных областей, в случае необходимости, можно использовать соответствующие переходные законы-функции пристеночных переходов. Эти функции, несмотря на свою простоту, достаточно надежно обеспечивают устойчивость расчетной процедуры и получение достаточно корректного с физической точки зрения результата. Для описания турбулентности в речном потоке используем высокорейнольдсовскую гипотезу турбулентности в виде:

- для кинетической энергии турбулентности  $k$ :

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \rho \tilde{u}_j k - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) = \mu_t (P + P_B) - \rho \varepsilon - \frac{2}{3} \left( \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \mu_t P_{NL} \quad (3)$$

где:

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t; P \equiv 2s_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}; P_B = -\frac{g_i}{\sigma_{h,t}} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (4)$$

$$P_{NL} = -\frac{\rho}{\mu_t} \tilde{u}_i' \tilde{u}_j' \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \left[ P - \frac{2}{3} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\rho k}{\mu_t} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] \quad (5)$$

В этих выражениях  $P_{NL} = 0$  – для линейных моделей, а  $\sigma_k$  – эмпирический коэффициент среды.

- скорость диссипации кинетической энергии  $\varepsilon$  определяется по формуле:

$$\frac{dk}{dn} = 0; \frac{d\varepsilon}{dn} = 0 \quad (6)$$

где  $\sigma_\varepsilon, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, C_{\varepsilon 3}$  и  $C_{\varepsilon 4}$  – эмпирические коэффициенты, чьи значения, взятые из источников [ 5].

Для моделирования поведения функции турбулентности в переходной придонной зоне воспользуемся классическим экспоненциальным профилем скорости Никурадзе [7]. Шероховатость поверхности дна реки будем учитывать в соответствии с рекомендациями [8]. В методе Никурадзе эпюра поперечного потока описывается в виде функции нормального расстояния от дна.

С точки зрения математической физики, для совместного решения системы уравнений (1) необходимо определиться с расчетной областью потока и граничными условиями к задаче. Геометрическая область интегрирования напрямую определяется областью потока и текущим уровенным режимом на участке.

### **CAD-CAE технология реализации математической модели**

Для практической реализации решения и получения численных результатов используется современные CAD-CAE технологии численного моделирования, схема реализации которых представлена на рис. 1:



Рис. 1. Схема реализации CAD-CAE вычислительной технологии

Для генерации расчетной сетки была выполнена CAD - обработка результатов водных изысканий, по необходимости дополненная локальными картографическим материалом из атласов ЕГС [10]. Результат объединения съемок представлен на рис. 2

После сборки всех локальных участков в единую модель, полученную поверхность рельефа дна подвергли ряду Булевых преобразований.

В комплекс Булевых операций вошло:

- Создание внешнего прямоугольного контура относительно поверхности рельефа дна каждого перекатного участка;
- Разделение прямоугольного контура на два тела с помощью поверхности рельефа дна;
- Удаление нижнего тела и удаление от верхнего тела ряда излишних деталей.
- Удаление вышележащего тела, в зависимости от отметки свободной поверхности воды.

В результате последовательного выполнения вышеописанного круга операций формируется твердотельная модель исследуемого участка (см. рис. 3).

Существенным фактором, определяющим кинематическую структуру потока на речном участке, является наличие опор мостов в русле реки, как строящихся, так и эксплуатируемых конструкций. При изыскании данная информация не собирается,



поэтому сотрудниками кафедры был выполнен натурный обмер геометрических размеров опор существующих мостов (см. рис. 4).

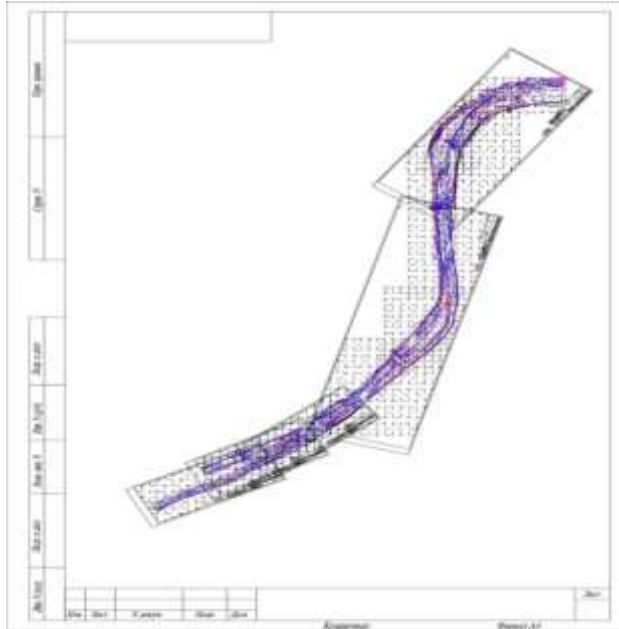


Рис. 2. Объединение результатов съемок и атласа ЕГС



Рис. 3. Твёрдая модель исследуемого участка реки



- а) Канавинский мост      б) Метромост      в) Молитовский мост      г) Мызинский мост

Рис. 4. Мостовые конструкции на исследуемом участке

В большинстве случаев обмер конструкции опор реализовывался по «сухим» стойкам, и особой сложности не представлял (см. рис. 5)



Рис. 5. Стойка Молитовского моста

Если возможность обмера отсутствовала, то использовались опосредованные данные о геометрии конструкции и геодезических приемов для определения координат характерных точек. В результате натурного обследования были получены размеры поперечных сечений опорных мостовых конструкций (см. рис. 6).

- а) Канавинский мост



- б) Метромост

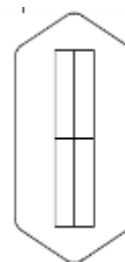


Рис. 6. Сечение стоек мостов

Так как опоры мостов полностью пронизывают речной поток по глубине, то на базе экструзии сечений были получены трехмерные модели подводных частей опор мостов. Примеры трехмерных твердотельных тел стоек Канавинского моста и Метромоста представлены на рис. 7.

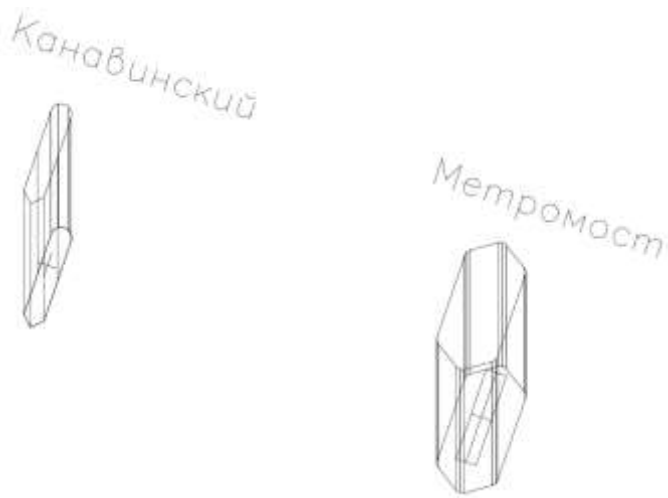


Рис. 7. Твёрдые тела опор мостов

Наличие общей твёрдотельной модели речного потока (см. рис. 3) и моделей опор существующих мостов (см. рис. 7), позволяет с помощью булевых операций вычесть пространства опор мостов в сечениях мостов из общей модели речного русла. Пример фрагмента твёрдотельной модели исследуемого участка река в районе Канавинского и Молитовского мостов после булевого вычитания моделей колонн мостов представлен на рис. 8 и 9.

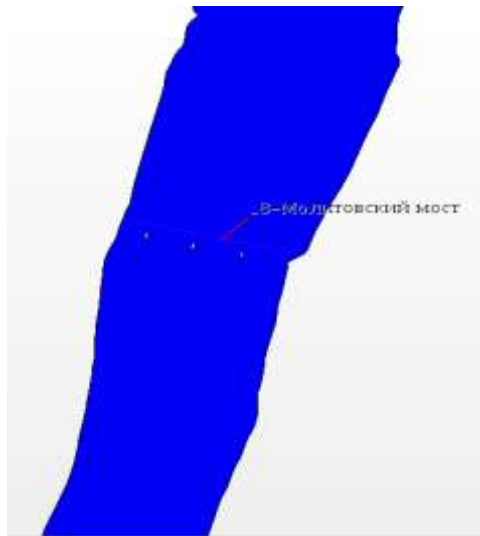


Рис. 8. Твёрдотельная модель в окрестности Молитовского моста



Рис. 9. Твёрдотельная модель в окрестности Канавинского моста

После вычитания из базовой модели реки опор всех четырех мостов мы создаем твердотельную геометрическую модель, соответствующую существующему состоянию исследуемого участка реки.

#### **Граничные условия создаваемой математической модели и особенности реализации.**

Наличие твердотельной модели позволяет перейти от CAD-этапа математического моделирования к CAE. Учитывая специфику нашей задачи, в расчетной области выделяется 4 граничных области (см. рис. 10):

- Входное сечение (область  $\Omega 1$ ).
- Дно речного участка (область  $\Omega 2$ ).
- Свободная поверхность (область  $\Omega 3$ ).
- Выходное сечение (область  $\Omega 4$ ).

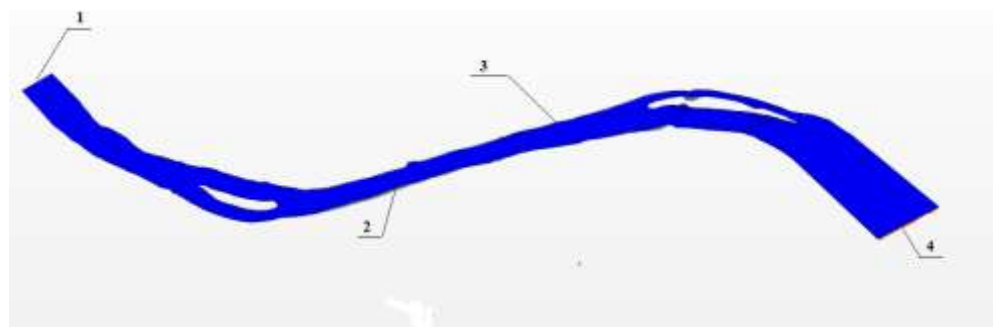


Рис. 10. Граничные области

В общем случае на всех граничных областях используются классические граничные условия:

Первая область – входное сечение ( $X, Y, Z \in \Omega 1$ ):

$$V_n = V_{\text{течения}} = Q \text{ м}^3/\text{сек} / S \quad (7)$$

$$\kappa = 1.5 * (V_{\text{течения}} * I)^2 \quad (8)$$

$$\varepsilon = C_{\mu}^{0.75} * \kappa^{1.5} / L \quad (9)$$

где:

Q – расход воды во входном сечении соответствующий расчетному уровню;

S – площадь живого сечения на входе;

I – интенсивность турбулентности (в процентах). Согласно [9] принимаем равным 0.02 (2%);

L – характеристическое расстояние (в метрах). Согласно [9] принимаем равным 1.0 метр;

$C_{\mu}$  – турбулентная энергетическая константа, принимается по [3] = 0.09.

Вторая область – дно реки: (X, Y, Z  $\in$   $\Omega_2$ ):

$$V_x = V_y = V_z = 0.0 \text{ м/сек} \quad (10)$$

$$\kappa = \varepsilon = 0 \quad (11)$$

Третья область – свободная поверхность реки: (X, Y, Z  $\in$   $\Omega_3$ ):

$$V_z = 0.0 \text{ м/сек} \quad (12)$$

$$\frac{dk}{dn} = 0; \frac{d\varepsilon}{dn} = 0 \quad (13)$$

Четвертая область – выходное сечение (развитый поток) (X, Y, Z  $\in$   $\Omega_4$ ):

$$p = 0 \quad (14)$$

$$\frac{dk}{dn} = 0; \frac{d\varepsilon}{dn} = 0 \quad (15)$$

Для создания расчетной сетки загружается файл с опорными точками по геометрической твердотельной CAD-модели реки. Практика применения различных алгоритмов для генерации расчетных сеток в границе замкнутого твердого геометрического тела показала, что лучше всего использовать метод «фронтального продвижения», реализация которого в нашем случае осуществляется в четыре этапа [11, 12, 13] (см. рис. 11):

- импортирование геометрии и подготовка поверхности;
- создание подповерхностей;
- создание поверхностной сетки;
- создание внутренней, объемной, расчетной сетки;

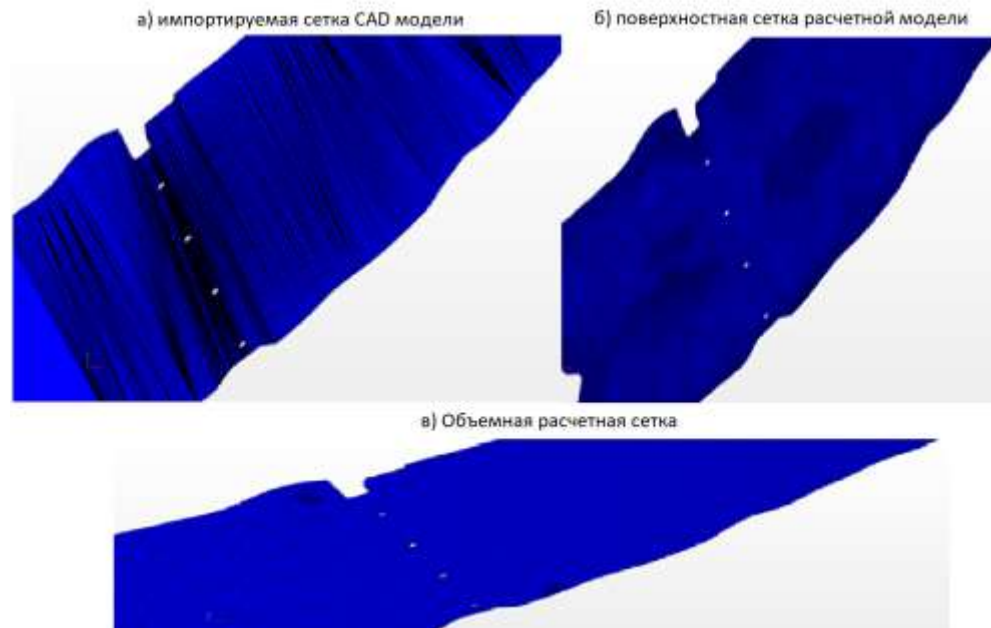


Рис. 11. Этапы генерации расчетной сетки

Данный алгоритм отлично разбивает расчетную область на кубики или равнобедренные тетраэдры. Но применительно к данной задаче такой путь неприемлем. Это связано с тем, что длина участка – 10 км, ширина – 0.8 км и средняя глубина – 5 метров. Генерируя расчетную сетку из кубиков с размером грани по 1 м, мы достаточно грубо обчисляем поток по глубине и излишне подробно по ширине и длине. При этом сетка будет состоять из нескольких десятков миллионов расчетных ячеек. Для обчисления такой матрицы, потребуется значительный вычислительный ресурс и мощность компьютера, которая пока для автора недоступна.

Единственным выходом из этой ситуации является отступление от жесткого критерия равноразмерности граней расчетной ячейки. Это позволит уменьшить дивергенцию и численную диффузию матрицы координат. В конечном итоге это позволит не допустить конвергенции (распада) расчетной процедуры решателя

Как показал анализ специальной литературы, современные алгоритмы включают в себя опции по работе с «плохими» сетками, т.е. сетками, у которых расчетные ячейки далеки от равноразмерных. Если соотношение размеров расчетных ячеек превосходит масштаб 1:10, то необходимо активировать дополнительные опции предикт-корректора решателя и более тонко подстраивать коэффициент недорелаксации при переходе от одной итерации к другой. Помимо этого, крайне эффективным может быть внесение корректировок в алгоритм решения сформированных систем уравнений. С одной стороны, это удлинит расчетную процедуру, а с другой – повысит устойчивость расчетной процедуры. В конечном итоге это позволяет стабилизировать итерационный процесс и довести расчетную процедуру решателя до уровня нужных невязок и получить корректное решение.

На практике этот подход реализуется следующим образом:

- подготовленная и импортированная CAD-геометрия внешней поверхности деформируется с учетом масштабных коэффициентов по глубине и ширине реки. В результате расчетная область приобретает менее вытянутые по длине очертания;

- затем реализуются все этапы генерации сетки метода «фронтального продвижения»;
- по завершении генерации расчетной сетки из равноразмерных расчетных ячеек в «искаженном» пространстве с помощью обратных пересчетных масштабных коэффициентов возвращают расчетную область в исходное положение;

Такой прием позволил сократить объём расчетной сетки до 0.8 – 1.2 миллиона расчетных ячеек. Несмотря на то, что равноразмерность расчетных ячеек значительно нарушается, с помощью дополнительных настроек решателя удалось свести итерационный процесс сходимости за приемлемый период времени до приемлемого уровня невязки.

В продолжение расчетной процедуры к сгенерированной сетке прикладываются граничные условия (7) – (15). Развитый постпроцессор вычислительного комплекса позволяет отслеживать и анализировать большой объем параметров в различных областях потока. Для контроля узловых гидродинамических параметров процесса на модели был выделен ряд характерных сечений и контрольных точек, позволяющих ориентироваться в процессе систематизации и анализа результатов моделирования.

### **Заключение**

С целью выполнения анализа поведения потока и русловых процессов из системы были получены следующие данные:

Линии тока, входящие в расчетную область через входное сечение и покидающие его через произвольное живое сечение. В дополнение к общей схеме проводилась укрупненная детализация по характерным участкам речного потока с целью анализа русловых процессов на локальных участках.

Векторное отображение кинематической структуры потока как по всей длине участка, так и с локализацией по 5 характерным областям длиной до 0.5 км. При анализе это позволило определиться с размерами циркуляционных зон в потоке и выполнить прогноз русловых деформаций на различных этапах строительства.

Скалярное отображение модулей скорости, действующих на участке. По аналогии с векторным отображением снимались поля скоростей на всем участке и на локальных участках. Это позволило более детально определить действующие градиенты скоростей в критических областях.

Помимо этого, для анализа русловых процессов при строительстве моста фиксировались скорости потока в критически важных областях и проводилась оценка интенсивности аккумулятивных и эрозионных процессов. Наличие такого развернутого материала позволит на качественно новом уровне выполнить анализ русловых процессов в низовьях реки Оки. В совокупности с многовариантными расчетами технических решений по возведению моста позволило выбрать наиболее перспективное решение для последующей реализации.

### **Список литературы**

1. Липатов И.В. Монография «Гидродинамика речных потоков и ее влияние на эксплуатационные параметры судоходных гидротехнических сооружений» - Н.Новгород изд. ВГУВТ с. 106
2. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
3. Launder, B.E., and Spalding, D.B. 1974. 'The numerical computation of turbulent flows', *Comp. Meth. in Appl. Mech. and Eng.*, 3, pp. 269-289.
4. Rodi, W. 1979. 'Influence of buoyancy and rotation on equations for turbulent length scale', *Proc. 2nd Symp. on Turbulent Shear Flows*.

5. El Tahry, S.H. 1983. 'k- $\epsilon$  equation for compressible reciprocating engine flows', AIAA J. Energy, 7, No. 4, pp. 345–353.
6. Gutachten über die seitliche Einleitung von Überschusswasser in den Einfahrtsbereich der Schleuse Nürnberg – технический отчет BAW. Автор Кастен Торенц, Липатов И.В. - Карлсруэ - Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) -Nr. 3.03.10043.00 – Dezember 2003.
7. Schlichting, H. "Boundary Layer Theory". 6th Edition, McGraw-Hill, New York. 1968.
8. Идельчик "Справочник по гидравлическим сопротивлениям"
9. Гришанин К.В. «Основы динамики русловых потоков», М. Транспорт 1996 г.
10. Атлас Единой глубоководной системы России.
11. H. Jin and R. I. Tanner, "Generation of Unstructured Tetrahedral Meshes by Advancing Front Technique", Int. J. Numer. Methods Eng., 36, 1805-1823 (1993).
12. R. Lohner and P. Parikh, "Generation of Three Dimensional Unstructured Grids by the Advancing-Front Method", Int. J. Numer. Methods Fluids, 8, 1135-1149 (1988)
13. J. Peraire, J. Peiro, L. Formaggia, K. Morgan and O. C. Zienkiewicz, "Finite Element Euler Computations in Three Dimensions", Int J. Numer. Methods Eng., 26, 2135-2159 (1988).

### References

1. Lipatov I.V. Monografiy «Gidrodinamika rechnik potokov I ee vliyanie na aksplyatacionnie parametri sodoxodnix gidrotexnicheskix sooryzheniy» - N.Novgorod izd, VGUVT с. 106
2. Patankar C. CHislennie metodi pesheniy zadach teploobmena I dinamiki zhidkosti / Perev c angl. – M.: Anegoizdat, 1984. – 152 с.
3. Launder, B.E., and Spalding, D.B. 1974. 'The numerical computation of turbulent flows', Comp. Meth. in Appl. Mech. and Eng., 3, pp. 269-289.
4. Rodi, W. 1979. 'Influence of buoyancy and rotation on equations for turbulent length scale', Proc. 2nd Symp. on Turbulent Shear Flows.
5. El Tahry, S.H. 1983. 'k- $\epsilon$  equation for compressible reciprocating engine flows', AIAA J. Energy, 7, No. 4, pp. 345–353.
6. Gutachten über die seitliche Einleitung von Überschusswasser in den Einfahrtsbereich der Schleuse Nürnberg – технический отчет BAW. Автор Кастен Торенц, Липатов И.В. - Карлсруэ - Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) -Nr. 3.03.10043.00 – Dezember 2003.
7. Schlichting, H. "Boundary Layer Theory". 6th Edition, McGraw-Hill, New York. 1968.
8. Idelchik "Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam" / M – Transport/ - 1970
9. Grishanin K.B. «Osnovi dinamiki ryslovix potokov», M. Transport 1996 с.
10. Atlas Edinoy glubokovodnoy sistemi Rossii. Transport -2015.
11. H. Jin and R. I. Tanner, "Generation of Unstructured Tetrahedral Meshes by Advancing Front Technique", Int. J. Numer. Methods Eng., 36, 1805-1823 (1993).
12. R. Lohner and P. Parikh, "Generation of Three Dimensional Unstructured Grids by the Advancing-Front Method", Int. J. Numer. Methods Fluids, 8, 1135-1149 (1988)
13. J. Peraire, J. Peiro, L. Formaggia, K. Morgan and O. C. Zienkiewicz, "Finite Element Euler Computations in Three Dimensions", Int J. Numer. Methods Eng., 26, 2135-2159 (1988).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Липатов Игорь Викторович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водных путей и гидротехнических сооружений Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: i\_lipatov@mail.ru

**Igor V. Lipatov** professor, doctor of technical sciences, professor of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 23.01.2024; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 23.01.2024; published online 20.03.2024



УДК 659.62

DOI: 10.37890/jwt.vi78.438

## **Ледовый паспорт речного ледокола: маневренность**

**В.А. Лобанов**

ORCID: 0000-0002-0931-7317

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

**Аннотация.** Работа продолжает ряд статей с анализом опыта эксплуатации ледоколов проекта 1191 в ледовых условиях внутренних водных путей и прибрежных морских районов. Настоящая публикация посвящена обобщению данных натурных наблюдений и испытаний ледовой маневренности судна.

В табличной форме даны инерционные характеристики, курсовая устойчивость и параметры циркуляции ледокола в сплошных и битых льдах различных характеристик в зависимости от режимов работы его движительно-рулевого комплекса и вспомогательных систем. В графическом виде проиллюстрированы условия, возможности и технология выполнения маневров в предельных и запредельных льдах.

Проведён сравнительный анализ маневренных качеств судна на чистой воде и в ледовых условиях.

**Ключевые слова:** ледяной покров, ледокол, ледовые качества, ледовая маневренность.

## **Ice passport of a river icebreaker: maneuvering ability**

**Vasily A. Lobanov**

ORCID: 0000-0002-0931-7317

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

**Abstract.** The work continues with a number of articles analyzing the experience of operating icebreakers of Project 1191 in ice conditions of inland waterways and coastal marine areas. This publication is devoted to the generalization of data from field observations and tests of ice maneuverability of the vessel.

The inertial characteristics, course stability and circulation parameters of the icebreaker in fast and broken ice of various characteristics are given in tabular form, depending on the operating modes of its propulsion and steering complex and auxiliary systems. The conditions, capabilities and technology of performing maneuvers in extreme and exorbitant ice are illustrated graphically.

A comparative analysis of the maneuverability performances of the vessel in clear water and in ice conditions was carried out.

**Keywords:** ice cover, icebreaker, ice performances, ice maneuvering ability.

### **Введение**

Настоящей работой автор продолжает заявленную серию публикаций натурно зафиксированных ледовых качеств ледокола типа «Капитан Евдокимов» (проект 1191) [1, 2].

Текущий год стал юбилейным для судов данного проекта – минуло сорок лет спуска на воду головного ледокола. Промышленно-экономический спад в годы «перестройки» не позволил «осилить» более восьми единиц этого проекта к середине мая 1986 года и «похоронил» серийное строительство речного ледокольного флота для России. В последующие годы для потребностей внутренних водных путей (ВВП) были осуществлены только отдельные несерийные проекты. Последний из таковых – «Невская застава» (пр. 2805 [3]) отмечен 2010 годом реализации.

В настоящее время «Росморпорт» интенсивно эксплуатирует ледоколы типа «Капитан Евдокимов», несмотря на их «возрастные» проблемы. Районы эксплуатации – это низовья к югу текущих рек, прибрежные акватории южных морей, сибирские реки и прибрежные приполярные и арктические воды России. Практически использованный потенциал этих судов, а также серии их предшественников типа «Капитан Чечкин» (ледокол пр. 1105 [4]) и прочего внутреннего ледокольного флота при его невоспроизводимости с очевидностью усугубил проблемы обеспечения безопасности и эффективности ледового судоходства на ВВП России.

Решение задач ледокольного обеспечения внутреннего и прибрежного судоходства при наметившихся тенденциях импортозамещения и поддержки со стороны государства представляется возможным на базе судостроительного потенциала России [5-7]. Однако следует признать, что «ныне имеет место быть» ощутимая потеря преемственности в сфере отечественного ледоколостроения для ВВП, что чревато непрофессиональными решениями. Поэтому необходим предварительный сбор, обобщение и критический анализ ледовых качеств отработавших и эксплуатируемых речных ледокольных судов. При этом имеет значение опыт не только производителей, но и различных научных коллективов воднотранспортной отрасли (в том числе и ВУЗовских), отметившихся вкладом в «продление речной навигации». Последнее является залогом совершенствования перспективных судов.

Автор является членом экспертного подразделения ФГБОУ ВО «ВГУВТ» по оценкам ледовых качеств речного флота и формированию регламентирующих и рекомендательных документов по безопасности ледового плавания [8]. Ледовый паспорт ледокола проекта 1191 является такой разработкой. Сейчас он оформлен в виде рукописи «для служебного пользования» [9]. Действие этого грифа истекло, поэтому поэтапная публикация этого документа допустима. В данной работе печатаются натурные данные испытаний ледовой маневренности – одного из основных ледовых качеств ледокола [10-13]. Также опубликованы некоторые характеристики маневренности для условий чистой воды, учитывая, что в навигационный период все ледоколы являются судами-спасателями.

### **Инерционные характеристики**

Основные технические параметры ледокола, влияющие на его маневренные качества во льдах приведены в источниках [1, 2].

Справочные материалы по инерционным характеристикам судна показаны в табл.1. При этом время реверса ГЭД при активном торможении составляло 10 с, путь и время выбега ограничены падением скорости движения до 0,1 от начального уровня.

*Таблица 1*

**Инерционные характеристики ледокола**

Суммарная мощность ГЭД, кВт	Толщина льда, м	Скорость в начале манёвра, км/ч	Глубина акватории, м	Инерционные характеристики	
				Путь, м	Время, с
Активное торможение, сплошной лёд					
3696	0,49	5,4	6	12	16
3691	0,64	5,2	15	15	15
3710	0,60	4,1	11-15	9	14
3700	0,67	4,4	8-12	10	14
*3614	0,70	4,0	9-15	11	15
3710	0,90	2,5	16	2	6
*3710	1,00	2,6	16-17	4	7

Суммарная мощность ГЭД, кВт	Толщина льда, м	Скорость в начале манёвра, км/ч	Глубина акватории, м	Инерционные характеристики	
				Путь, м	Время, с
Активное торможение, чистая вода					
1129		19,3	5	203	65
2402		21,9	5	195	56
3691		23,0	5	210	55
1129		20,3	16	180	74
2376		23,9	16	200	53
3696		26,0	16	160	44
Выбег, сплошной лёд					
3696	0,59	4,4	6	12	20
3691	0,59	5,1	8-15	19	22
3710	0,62	4,2	5	8	13
3700	0,63	4,4	8-10	11	17
3614	0,64	3,8	8-13	9	16
3710	0,68	3,6	14	9	14
3710	0,72	3,3	9-15	8	15
3710	0,74	3,1	8	6	14
*3710	0,74	3,8	10	15	21
Выбег, чистая вода					
1100		19,5	5	775	283
2404		22,4	5	840	284
3614		24,4	5	907	302
1129		20,4	16	705	254
2409		24,9	16	885	282
3710		26,3	16	898	275

\*Работает ПОУ

### Устойчивость на курсе

Натурные данные по устойчивости ледокола на курсе приведены в табл.2.

Таблица 2

### Устойчивость ледокола на курсе

Толщ. льда, м	Ширина канала, м	Сплоч. льда (относит. шкала)	Высота снега, м	Скорость движения, км/ч	Кол-во перекладок рулей в мин.	Средний угол перекладки рулей, градус	Амплит. угла рыск., градус
Сплошной лёд							
0,59		1,0	0,12	9,0	1,3	18,6	0,9
Ледовый канал							
0,45	26	1,0		9,0	3,8	13,0	0,5
0,63	19-23	1,0		11,2	3,5	13,8	0,9
0,65	25-30	1,0		11,2	4,0	12,5	1,0
Чистая вода							
				13,0	3,9	7,7	0,9
				18,2	6,4	7,0	2,0
				18,4	2,7	1,9	0,3
				22,6	2,8	1,3	0,2
				23,1	3,6	0,9	0,2
**				19,4	1,3	4,2	2,2
**				22,3	2,1	4,4	2,4
**				23,0	1,9	6,2	3,2
**				20,2	0,6	2,0	0,2

Толщ. льда, м	Ширина канала, м	Сплоч. льда (относит. шкала)	Высота снега, м	Скорость движения, км/ч	Кол-во переключений рулей в мин.	Средний угол переключки рулей, градус	Амплит. угла рыск., градус
**				24,1	0,6	1,0	0,6
**				26,3	0,6	1,3	0,4

\*\*Судном управляет авторулевой

### Поворотливость

В битом льду и сплошном ровном льду толщиной до 0,4 м при наличии достаточной акватории обороты выполняются в виде циркуляции. Параметры циркуляции и оборотов ледокола на месте приведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Таблица 3

### Параметры циркуляции ледокола

Толщина льда, м	Высота снега, м	Глубина акватории, м	Суммарная мощность ГЭД, кВт	Угол переключки рулей, градус	Время развор. на обратн. курс, с	Диаметр циркуляции, м
Сплошной лёд						
0,69	0,14	10-12	3690	50	2220	1670
***0,64	0,19	8-13	3650	50	2490	1280
Чистая вода						
		5	1100	25	145	390
		5	1100	45	131	240
		16	1100	35	142	320
		5	2400	25	144	375
		5	2400	45	91	255
		16	2400	25	133	440
		16	2400	35	111	340
		5	3600	25	120	420
		5	3600	35	100	280
		5	3600	45	80	240
		16	3600	35	99	345

\*\*\*ПОУ работает на полную мощность

Таблица 4

### Параметры оборотов ледокола на месте (чистая вода)

Глубина акватории, м	Суммарная мощность ГЭД, кВт	Частота вращения ГЭД, об/мин	Положение рулей, градус	Время развор. на обратн. курс, с
Первый и второй ГЭД работают назад, третий и четвёртый - вперёд				
5,5	1115	194	Правый руль – лево 45 Левый руль – право 45	134,0
5,5	2385	249	То же	106,4
5,5	3640	290	То же	92,8
12,5	2290	245	То же	95,0
5,5	1101	192	Левый руль – право 45 Правый руль - прямо	139,9
5,5	2383	241	То же	111,4
5,5	3426	281	То же	95,8
10,5	2393	251	То же	99,8
12,5	2393	249	То же	103,0

Глубина акватории, м	Суммарная мощность ГЭД, кВт	Частота вращения ГЭД, об/мин	Положение рулей, градус	Время развор. на обратн. курс, с
10,5	2402	250	Рули прямо	156,2
Первый и второй ГЭД работают вперёд, третий и четвёртый - назад				
5,5	1101	191	Правый руль – лево 45 Левый руль – право 45	147,8
10,5	2385	245	То же	196,3
5,5	1110	188	Рули прямо	92,8
Первый и четвёртый ГЭД работают вперёд, второй и третий – назад				
10,5	2397	248	Рули право - 45	174,2

Сравнительная обработка данных ледового паспорта исследуемого судна [9] и результатов натурных испытаний предыдущих серий речных ледоколов [12] показывает, что его поворотливость способом циркуляции неудовлетворительна (Рис. 1).

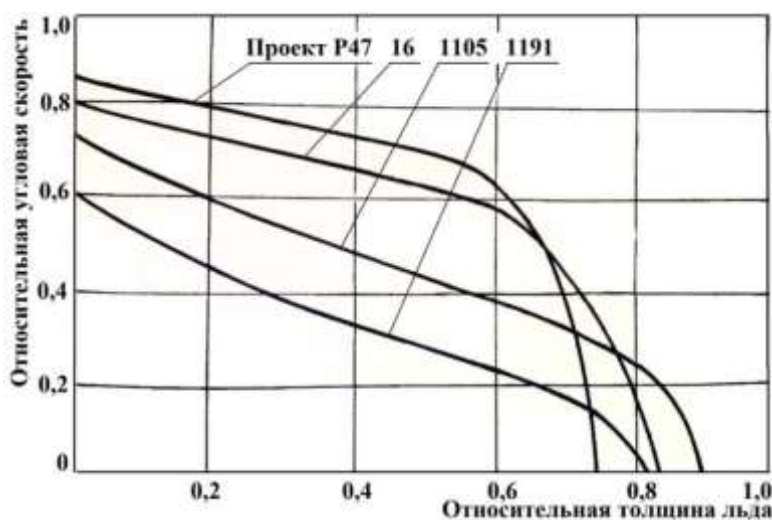


Рис. 1. Сравнительная характеристика поворотливости речных ледоколов в сплошных льдах

Анализ кривых рис. 1 показывает, что относительная угловая скорость поворота на циркуляции в сплошных льдах у ледокола проекта 1191 наименьшая в ряду его предшественников других проектов, не имеющих цилиндрических вставок.

### **Маневрирование в сложных ледовых условиях**

В сплошном льду толщиной более 0,4 м значительная по длине цилиндрическая вставка ограничивает способность мелкосидящего ледокола изменять траекторию своего движения, поэтому обороты необходимо выполнять в виде последовательных манёвров. Типовые схемы оборотов судна представлены на рис. 2.

По схемам I и II обороты рекомендуется выполнять в осенних льдах разрушенностью 4-5 баллов, когда скорость прямолинейного движения превышает 10-12 км/ч. Причём, к схеме II следует переходить, если ледокол не может заколотиться кормой в кромку канала при отходе назад из положения 1 в положение 2 схемы I.

В сплошном льду толщиной 0,3-0,5 м, когда угловая скорость поворота ледокола незначительна, следует выполнять обороты по схемам III и IV, причём для отхода

назад из положения 3 схемы III и положения 5 схемы IV в некоторых случаях необходимо ослабить лёд путём работы винтов на передний ход.

Во сплошных льдах толщиной свыше 0,5-0,6 м ледокол не может двигаться задним ходом, поэтому обороты в этих условиях следует выполнять по схемам IV-V.

В более тяжёлых ледовых условиях при толщинах льда свыше 0,8-0,9 м скорость движения в ледовом канале уменьшается и ледокол плохо разворачивается в сплошном льду после разгона по каналу, поэтому следует выполнять обороты по схеме VI, причём четвертый закол (положение 7) необходимо выполнять, не доходя 30-50 м до места второго закола (положение 3).

Количество заколов, а, следовательно, и затраты времени на оборот, определяются как толщиной льда, размерами акватории оборота, наличием ветра и течения, так и мастерством судоводителя.

Значительно затруднено выполнение оборотов при движении против ветра и течения, когда наблюдается значительный снос и дрейф, судно прижимается к кромке льда и корму при отходе назад трудно, а иногда практически невозможно направить против течения и ветра.

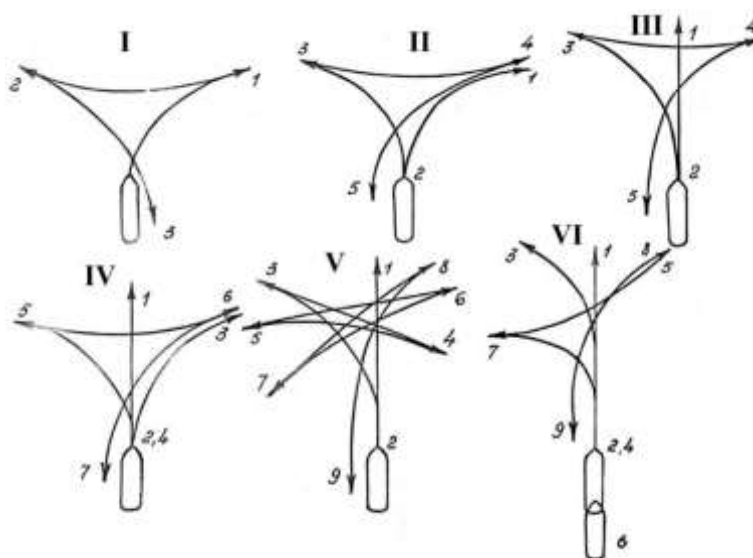


Рис. 2. Типовые схемы оборотов ледокола

В этом случае необходимо выполнить серию заколов, двигаясь передним ходом в сплошном льду, с целью подготовки акватории оборота и «кармана» для кормы ледокола у кромки фарватера в «тиховоде». Затем отвести ледокол в исходное положение (2-3 корпуса до акватории оборота) и, дав полный ход вперёд, разогнать ледокол до максимальной скорости и, переложив рули на необходимый борт в 70-100 метров ниже «кармана», развернуть ледокол по направлению к «карману», заправить в него корму, после чего выполнение оборота затруднений не вызывает.

При выполнении оборотов маневрирование ГЭД и рулями, в общем случае, выполняется следующим образом.

В первой фазе оборота положение 1 схем II-VI рис. 2 все главные двигатели реверсируются на задний ход, рули в положении «прямо», ледокол отводится на расстояние 2-3 корпуса судна для разгона. Разгон осуществляется по оси канала до максимально возможной для данных условий скорости и затем рули переключаются в необходимую для поворота сторону. Обычно при втором заколе ледокол разворачивается на 60-90 градусов, закалываясь в кромку канала примерно на длину корпуса. Затем ГЭД реверсируются и ледокол отводится из положения 3 схем II-IV,

VI рис. 1 назад по каналу для выполнения следующего закола. После выполнения необходимого для конкретных условий количества заколов и подготовки «кармана» для кормы ледокола (положение 5 схемы VI рис. 2) необходимо заправить корму в «карман» (из положения 3 в положение 4, из положения 5 в положение 6, из положения 7 в положение 8, схем II, IV и VI рис. 2 соответственно) или заколоться в кромку канала при движении задним ходом из положения 1 в положение 2, из положения 3 в положение 4, из положения 3, 5, 7 в положения 4, 6, 8 схем I, III, V рис. 2 соответственно) используя работу винтов «враздрай», причём скорость в этом случае не должна превышать 5-8 км/ч для обеспечения управляемого движения. После того, как ледокол наберёт указанную скорость, крайний ГЭД, а, в случае необходимости и средний, с противоположного повороту кормы борта (положение I, рис. 3), реверсируются вперед, корма при этом двигается в нужном направлении, а скорость движения поддерживается путём регулировки частоты вращения ГЭД, работающих с упором в противоположных направлениях. После того, как корма надёжно заколется в кромку льда, все ГЭД реверсируются назад (положение II, рис. 3) для обеспечения закола в кромку канала примерно на длину корпуса судна. Затем, все ГЭД реверсируются на передний ход и после небольшого разгона, рули переключаются в положение «на борт» (положение III, рис. 3).

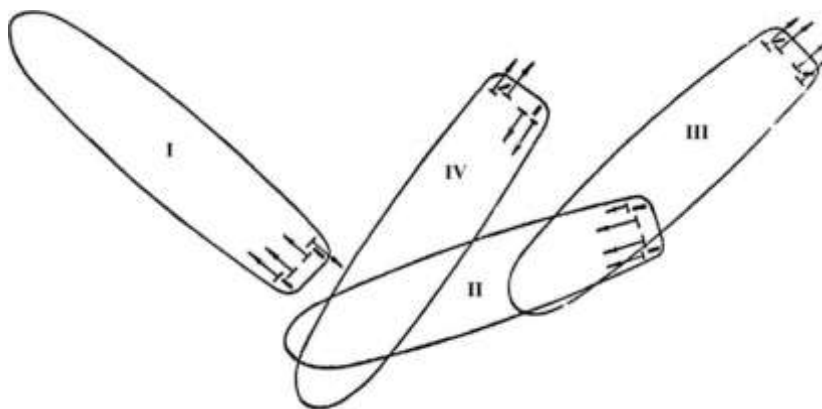


Рис. 3. Типовые схемы маневрирования ГЭД и рулями при оборотах ледокола (Стрелками обозначены направления гидродинамических струй от винтов)

После выхода кормы из сплошного льда скорость движения гасится путём реверса двух ГЭД на задний ход и ледокол разворачивается в битом льду, используя работу винтов «враздрай». При этом руль, расположенный за винтом, работающим на передний ход, переключается в необходимую для поворота сторону (положение IV, рис. 3). Следует помнить, что удовлетворительную способность изменять траекторию своего движения в сплошном льду толщиной свыше 0,3-0,4 м и закалываться в кромку канала ледоколы сохраняют при скоростях движения более 10-12 км/ч. Поэтому повороты с радиусом менее 500-1000 м, в зависимости от толщины льда, рациональнее выполнять набегам, после отхода назад на 200-300 м, переключку рулей необходимо осуществлять в конце ледового канала, а при толщине льда свыше 1,0 м непосредственно у его «тупика».

Несколько уменьшает радиус циркуляции ледокола в сплошном льду включение в работу ПОУ с противоположного повороту борта.

### Заключение

Инерционные характеристики ледокола проекта 1191 обеспечивают его безопасное маневрирование на проводках и околках транспортных судов во всём спектре «рабочих» толщин льда.

Наличие «ложкообразной» носовой оконечности ухудшило курсовую устойчивость во льдах, требуя для удержания судна больших углов и частоты перекладки рулей.

Наличие протяжённой цилиндрической вставки (более 40% расчётной длины) ухудшило поворотливость судна.

В сплошных льдах толще средних ледокол имеет неудовлетворительную способность к «закалыванию» в кромку канала.

Эффективный оборот ледокола циркуляцией рекомендован только в разреженных битых льдах и сплошных льдах толщиной не более половинного уровня его ледопроеходимости.

В предельных и запредельных сплошных льдах и сильносплочённых битых льдах оборот выполним только последовательными поступательно-возвратными манёврами судна при соответствующих режимах работы движительно-рулевого комплекса и ПОУ.

### Список литературы

1. Лобанов, В. А. (2023). Ледовый паспорт речного ледокола: ходкость. Научные проблемы водного транспорта, (76), 219-228. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi76.390>
2. Серийные речные суда. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы и танкеры; толкачи, буксиры; баржи; прочие суда. Т. 8, ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1987. – 230 с.
3. Инженерный центр судостроения. Буксир-ледокол «Невская Застава». URL: <https://old.ship-project.ru/ru/pages/296/531/>
4. Справочник по серийным речным судам. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы и танкеры; толкачи, буксиры; баржи; прочие суда. Т. 7, ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1981. – 232 с.
5. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 февраля 2016 г. № 327-р. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/8910>
6. Веселов Г.В., Кузмичев И.К., Минеев В.И., Новиков А.В. Обновление речного флота в условиях дефицита инвестиций // Научные проблемы водного транспорта, №61(2019), 2019. – с. 90-96. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/issue/view/4>
7. Дрейбанд Д.В., Коршунов Д.А., Ничипорук А.О. Развитие инфраструктуры внутреннего водного транспорта: стратегические задачи, проблемы и перспективы // Научные проблемы водного транспорта, №74(1), 2023. – с. 96-104, DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.347>
8. Главное управление РМРС. Письмо № 314-2.2-2728 от 08.02.2012 о признании компетентности ФБОУ ВО «ВГАВТ».
9. Ледовый паспорт ледокола проекта 1191. – Отчёт по теме НИР. Тронин В.А. – Горький, ГИИВТ, 1986. – 32 с.
10. Теоретические основы обеспечения безопасности судовождения на внутренних водных путях: монография / А.Н. Клементьев, И.К. Кузмичёв, В.А. Лобанов [и др.]; под ред. И.К. Кузмичёва. – Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – 124 с. – ISBN 978-5901722-73-2. – Текст: непосредственный.
11. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. 2 издание, исправленное. – СПб.: Судостроение, 2014. – 504 с., ил.
12. Тронин В.А. Повышение безопасности и эффективности ледового плавания судов на внутренних водных путях: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: специальность 05.22.16 – Судовождение / Горький, 1990. – 414 с.



13. Quan Zhou, Heather Peng, Wei Qiu. Numerical investigations of ship-ice interaction and maneuvering performance in level ice. *Cold Regions Science and Technology*, Volume 122, February 2016, Pages 36-49.

#### References

1. Lobanov, V. A. (2023). Ledovyy pasport rechnogo ledokola: hodkost'. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, (76), 219-228. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi76.390>
2. Serijnye rechnye suda. Passazhirskie suda; suhogruzyne teplohody i tankery; tolkachi, buksiry; barzhi; prochie suda. T. 8, CBNTI Minrechflota. – M.: Transport, 1987. – 230 s.
3. Inzhenernyj centr sudostroeniya. Buksir-ledokol «Nevskaya Zastava». URL: <https://old.ship-project.ru/ru/pages/296/531/>
4. Spravochnik po serijnym rechnym sudam. Passazhirskie suda; suhogruzyne teplohody i tankery; tolkachi, buksiry; barzhi; prochie suda. T. 7, CBNTI Minrechflota. – M.: Transport, 1981. – 232 s.
5. Strategiya razvitiya vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda, utverzhennaya rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 29 fevralya 2016 g. № 327-r. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/8910>
6. Veselov G.V., Kuzmichev I.K., Mineev V.I., Novikov A.V. Obnovlenie rechnogo flota v usloviyah deficita investicij // *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, №61(2019), 2019. – s. 90-96. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/issue/view/4>
7. Drejband D.V., Korshunov D.A., Nichiporuk A.O. Razvitie infrastruktury vnutrennego vodnogo transporta: strategicheskie zadachi, problemy i perspektivy // *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, №74(1), 2023. – s. 96-104, DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.347>
8. Glavnoe upravlenie RMRS. Pis'mo № 314-2.2-2728 ot 08.02.2012 o priznanii kompetentnosti FBOU VO «VGAVT».
9. Ledovyy pasport ledokola proekta 1191. – Otchyot po teme NIR. Tronin V.A. – Gor'kij, GIIVT, 1986. – 32 s.
10. Teoreticheskie osnovy obespecheniya bezopasnosti sudovozhdeniya na vnutrennih vodnyh putyakh: monografiya / A.N. Klement'ev, I.K. Kuz'michyov, V.A. Lobanov [i dr.]; pod. red. I.K. Kuz'michyova. – Nizhnyj Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2020. – 124 s. – ISBN 978-5901722-73-2. – Tekst: neposredstvennyj.
11. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya hodkost' sudov. 2 izdanie, ispravlennoe. – SPb.: Sudostroenie, 2014. – 504 p. – Tekst: neposredstvennyj.
12. Tronin V.A. Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti ledovogo plavaniya sudov na vnutrennih vodnyh putyakh: dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: special'nost' 05.22.16 – Sudovozhdenie / Gor'kij, 1990. – 414 s.
13. Quan Zhou, Heather Peng, Wei Qiu. Numerical investigations of ship-ice interaction and maneuvering performance in level ice. *Cold Regions Science and Technology*, Volume 122, February 2016, Pages 36-49.

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

**Лобанов Василий Алексеевич**, профессор кафедры Судовождения и безопасности судоходства, доцент, д.т.н., кафедра Судовождения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, Россия, Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail: [lobbas@mail.ru](mailto:lobbas@mail.ru)

**Vasily A.Lobanov**, Professor of department of Navigation and safety of navigation, associate professor, Dr. Sci. Tech., department of Navigation and safety of navigation. Volga State University of Water Transport, 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Nesterova 5

Статья поступила в редакцию 02.10.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 02.10.2023; published online 20.03.2024

УДК 656.073.28

DOI: 10.37890/jwt.vi78.439

## **Анализ опыта автоматизации и роботизации операционных процессов контейнерного терминала**

**Е.Е. Петрова**

*ORCID: 0000-0003-4219-8177*

**В.В. Ганнесен**

*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
г. Владивосток, Россия*

**Аннотация:** В работе выполнен обзор существующих подходов к автоматизации, как самой перегрузочной техники, так и выполняемых с ее помощью технологических операций на контейнерных терминалах. Отмечено, что автоматизация и роботизация складских и портовых операционных процессов является одним из современных глобальных трендов в развитии технологий перегрузки и временного хранения грузов на причалах морских портов. Поэтому поиск, накопление и систематизация большого потока информации о практических разработках в данной области развития транспортной отрасли является одной из частных научных задач при выборе направления диссертационного исследования «Технология, организация и управление перегрузочными процессами в портах». На основе изученного отечественного и зарубежного опыта в области организации системы управления морским контейнерным терминалом была выполнена классификация операционных процессов, в которых объектом автоматизации являлась перегрузочная техника. Объединение отдельных способов автоматизации операционных процессов в группы (уровни автоматизации) выполнено на основании классификационного признака «количество единиц автоматизированной техники». Источниками информационного потока для научного исследования послужили неструктурированные данные, представленные в виде первичной исходной информации на сайтах производителей перегрузочной техники, а также вторичные открытые научные данные.

**Ключевые слова:** порт, технологический процесс, цифровизация, грузопотоки, терминальные операции, имитационное моделирование.

## **Experience analysis of automation and robotization of the container terminal operation**

**Ekaterina E. Petrova**

*ORCID: 0000-0003-4219-8177*

**Vitaliy V. Gannesen**

*Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia*

**Abstract.** The paper reviews the existing approaches to automation of both transshipment equipment and technological operations performed at container terminals. It is pointed out that automation and robotization of warehousing and port operational processes is one of the current global trends in the development of cargo transshipment and temporary storage technologies at seaport berths. Therefore, the search, accumulation and systematization of a lot of information about practical developments in this area of transport industry is one of the scientific tasks in choosing the direction of the dissertation research "Technology, arrangement and management of transshipment processes in ports". On the basis of the studied domestic and foreign experience in the field of arrangement of the management system of the sea container terminal the operational processes in which the object of automation was transshipment technology were classified. The unification of individual methods of automation of operational processes into groups (levels of automation) was made on the basis of the classification criteria "the number of automated equipment units".

Unstructured data presented as primary source information on the websites of manufacturers of transshipment equipment, as well as secondary open scientific data were the sources of information for the scientific research.

**Keywords:** port, technological process, digitalization, flow of cargo, terminal operations, simulation modeling.

### **Введение**

Сбалансированное развитие инфраструктуры транспорта является одной из приоритетных государственных задач Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. В документе отмечено, что необходимым условием достижения поставленной задачи в части грузоперевозок, является сквозная цифровизация транспортной цепочки и роботизация логистических операций, внедрение автономного транспорта на основе компонентов робототехники и сенсорики, а также автоматизация и роботизация складских и портовых операционных процессов. Относительно транспортных грузопотоков цифровизация предусматривает развитие системы отслеживания перемещения грузов, внедрение в работу транспортных узлов и логистических терминалов инфраструктурных элементов для считывания и мониторинга проходящих через них грузов. По отношению к транспортным средствам цифровизация коснется внедрения в их работу продвинутых систем помощи водителю; высокоавтоматизированных и беспилотных технологий для всех видов транспорта, а также для перегрузочной техники (автономные транспортные средства и погрузчики для терминалов) транспортных узлов. Исходя из целей и задач стратегии развития транспортной отрасли на ближайшую перспективу следует вывод, что переход от механизированных систем грузопереработки к автоматизированным является одним из главных глобальных трендов в развитии технологий перегрузки и хранения грузов на терминалах морских портов.

В переходный период важно изучить и обобщить мировой опыт в области полной или частичной замены обслуживаемых персоналом операций на терминале автоматизированным оборудованием и процессами. Поэтому поиск, накопление и систематизация большого потока информации о практических разработках в данной области и является целью данного исследования.

### **Методы и материалы**

Источниками информационного потока для научного исследования послужили неструктурированные данные, представленные в виде первичной исходной информации на сайтах производителей перегрузочной техники таких как Linde Material Handling, Kalmar, Siemens, DSD Steel Group GmbH, Konecranes и Axelot, а также вторичные открытые научные данные. Метод конкретизации общего представления о существующих подходах к автоматизации и роботизации операционных процессов контейнерного терминала – анализ и синтез собранной информации. Синтез отдельных способов автоматизации операционных процессов в группы выполнен на основании классификационного признака «количество единиц автоматизированной техники». В результате перехода от менее общего понятия к более общему была предложена классификация операционных процессов, в которых объектом автоматизации являлась перегрузочная техника.

### **Результаты**

В существующей практике управления морским транспортом [1, 2], степень автоматизации технологического процесса контейнерного терминала, как правило,

исследуется на трех уровнях (рис. 1). На первом уровне объектом автоматизации являются технологические операции, осуществляемые грузоподъемными машинами, такими как погрузчики, самоходные стреловые и башенные краны и др. При этом автоматизации могут быть подвергнуты как отдельные операции, например, процессы разгона и торможения механизмов, регулирование скоростей рабочих движений, остановка механизмов в заданном месте, так и полная автоматизация технологического процесса управления грузоподъемной машиной. На втором уровне объектом автоматизации является группа единиц техники, связанных единым алгоритмом функционирования, где также автоматизации подвергаются как отдельные операции, так и весь технологический процесс. На третьем уровне происходит объединение всех подсистем нижних уровней в единую систему управления объектом (контейнерным терминалом) в целом. При этом независимо от того для какого уровня управления разработана конкретная автоматизированная система управления перегрузочным процессом целью автоматизации является обеспечение безаварийной работы погрузочного устройства, сохранность перемещаемого груза, эффективность технологического процесса обработки груза.

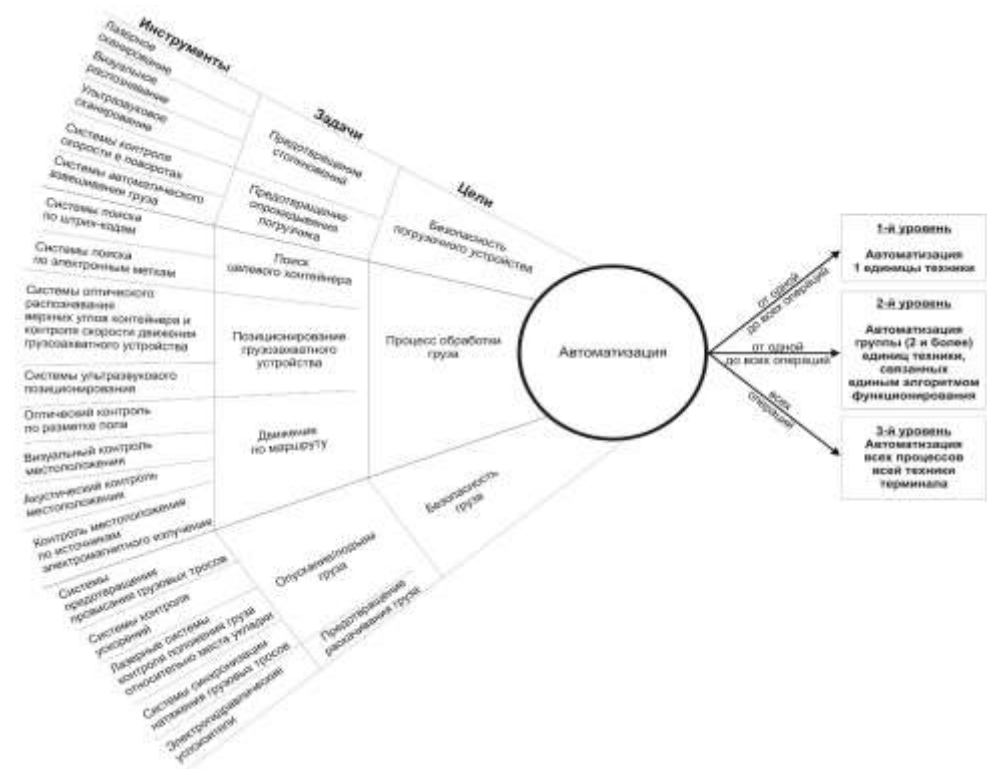


Рис. 1. Классификация способов автоматизации грузовых терминалов

Обеспечение безаварийной работы погрузочного устройства предполагает решение таких задач как, предотвращение столкновений и предотвращение опрокидывания погрузчика. Одним из способов их решения является использование дополнительного оборудования, устанавливаемого на грузоподъемные машины [3]. Такое оборудование может работать на основе различных физических принципов таких как лазерное и ультразвуковое сканирование, визуальное распознавание и другие.

С целью предотвращения столкновений, используются системы контроля, размещаемые на самих перегружателях - системы бортового размещения. Системы бортового размещения комплектуются 3D-камерами, позволяющими осуществить распознавание препятствий и грузов спереди и сзади машины, а также радарным датчиком и световым индикатором с встроенным звуковым сигналом. При неожиданном появлении объекта на траектории движения перегружателя система либо включает предупредительный сигнал, либо вмешивается в управление во избежание столкновения. Примером использования такой системы, является разработка компании Linde Material Handling – система Linde Motion Detection. [4]. Данная система может в реальном времени на 360 ° определять расстояние между погрузчиком и препятствием, включать сирену, замедлять или останавливать погрузчик при превышении допустимой скорости или приближении к другому погрузчику с целью предотвращения столкновений. Таким образом, оператор получает предупреждение об опасности столкновения за счет световых и звуковых сигналов. Глубина и ширина контролируемой зоны могут настраиваться.

Предотвращение опрокидывания погрузчика осуществляется за счет использования систем контроля скорости и систем автоматического взвешивания контейнеров. Например, компания Linde является разработчиком системы Linde Curve Control – которая автоматически снижает скорость погрузчика при прохождении поворотов, предотвращая опрокидывание погрузчика. В свою очередь фирма Kalmar [5] решает задачу предотвращения опрокидывания погрузчика с закрепленным на спредере контейнером за счет применения системы автоматического взвешивания контейнеров непосредственно в процессе его подъема. В случае превышения запаса грузоподъемности генерируется предупреждающий сигнал, спредер автоматически отцепляет контейнер, технологический процесс останавливается. Технический результат применения этой системы – безопасность выполнения технологических операций погрузчиком, а также ускорение выполнения операции сортировки контейнеров в штабеле.

Автоматизация процесса обработки груза предполагает решение задач таких как, позиционирование грузозахватного устройства относительно верхних углов контейнера, перемещение погрузчика к объекту грузопереработки, поиск целевого контейнера в штабеле временного хранения. Способы решения данных задач также предусматривают использование дополнительного оборудования.

Обеспечение позиционирования грузозахватного устройства, осуществляется за счет их оснащения различными оптическими и измерительными системами. Например, компания Siemens [6] комплектует краны собственной разработки системой SIMOCRANE Final Landing System (FLS). Данная система позволяет оператору использовать всю грузоподъемность крана, обеспечивая при этом безопасность и точность операции грузозахвата. Высокая точность позиционирования грузозахватного устройства достигается за счёт использования камер для распознавания верхних углов контейнера, а также датчиков управления и контроля приземления с шестью степенями свободы, что позволяет точно совмещать движения в трехмерном пространстве в зависимости от заданного уклона земли. Датчики в автоматическом режиме измеряют скорость опускания спредера и его высоту для определения взаимного положения всех объектов (спредера, контейнера и самого крана). Фирма DSD Hilgers Stahlbau GmbH [7] свои козловые краны с телескопическими канговыми спредерами оснащает системой измерения пути, которая позволяет посадить пустой спредер с высокой точностью на верхние углы контейнера. Точность позиционирования системы  $\pm 2$  см при движении тележки и менее чем  $\pm 10$  см при движении крана.

Обеспечение безопасности движения по маршруту осуществляется за счет использования систем визуального и акустического местоположения, а также системы оптического контроля, в виде специальной разметки технологических проездов

(системы напольного размещения). Системы напольного размещения, выполненные в виде светодиодных полос, в сочетании с навигационными лазерами, закреплёнными на борту перегружателя, обеспечивают безопасность движения. Примером использования напольных систем навигации является разработка фирмы Linde - светодиодные полосы Linde LED Stripes, собственной разработки. Отличительной особенностью этих светодиодных полос от традиционных, использование разных цветов в подсветке на пути следования погрузчика. Прямолинейные участки пути следования машины подсвечены зелёным цветом, а повороты подсвечены красным.

Автоматизация процесса поиска целевого контейнера предполагает использование дополнительного оборудования в виде систем поиска по штрих кодам и электронным меткам. Примером использования такой системы для крановых перегружателей является разработка компании Siemens система SIMOCRANE Container Number Recognition System (CNRS). Данная система автоматически распознает номера контейнеров, которые расположены на крыше и боковых стенках контейнера с помощью нескольких камер [8]. Аналогом подобной системы, но уже для ричстакера, является опция Container Locator (разработчик фирма Kalmar [5]). Опция позволяет в процессе обработки контейнерного штабеля, с помощью камер высокой чёткости, установленными на спредере, автоматически сканировать и запоминать идентификаторы контейнеров. Изображения, снятые камерами, обрабатываются в специализированных программах для оптического распознавания символов, в результате обработки формируется гиперссылка, при переходе на которую открывается доступ ко всей имеющейся на компьютере информации как о самом контейнере, так и грузе находящемся в нём [9,10], а также о текущей технологической операции совершаемой с ним (контейнером) в данный момент времени. Применение штрих кодов и электронных меток при транспортировании и складировании контейнеров снижает количество ошибок, связанных с определением текущего местоположения контейнеров в штабеле.

Автоматизация процесса сохранности груза при его обработке обеспечивается решением задач таких как, опускание/подъём груза и предотвращение раскачивания груза. Данные задачи решаются путём применения электрогидравлических успокоителей, систем предотвращения провисания грузовых тросов, систем контроля ускорений, лазерных систем контроля положения груза относительно места укладки, систем синхронизации натяжения грузовых тросов. Так с целью обеспечения безопасности и точности опускания/подъема груза компания Siemens разработала систему Truck Positioning System - интеллектуальная измерительная система, основанная на лазерной технологии, для определения взаимного положения контейнеров и транспортных средств, для высокоточного позиционирования в процессе погрузки. В свою очередь компания Konecranes разработала систему Smart Features – которая позволяет подвести груз в требуемое положение с высочайшей точностью, а также, предотвращает ударные нагрузки и раскачивание груза [11].

Полная автоматизация технологического процесса управления грузоподъемной машиной предполагает применение различного программного обеспечения. Компьютерные программы разрабатываются как правило фирмами производителями перегрузочной техники и предназначены для реализации дополнительных интеллектуальных функций производимого ими оборудования. Но наряду с явными преимуществами полной автоматизации применяемого в технологическом процессе оборудования, есть существенный недостаток – высокая стоимость автоматических грузоподъемных машин. Для снижения стоимости портовых перегружателей компании производители предлагают маркетинговый подход к вопросу автоматизации технологических операций. В данном случае корректно использовать не термины «частичная» или «полная» автоматизация, а «степень» автоматизации оборудования. Решение до какой степени автоматизировать перегрузочное

оборудование решает покупатель исходя из своих целей и задач при его дальнейшем использовании, а также своих финансовых возможностей.

Компания же производитель предоставляет покупателю или только базовую комплектацию оборудования, или базовую комплектацию с произвольным набором дополнительных возможностей. Какими дополнительными функциями будет обладать произведённое оборудование в конечном итоге зависит только от потребностей конкретного покупателя. Покупатель может заказать поставку как полного набора дополнительных возможностей, так и выбрать часть из них. В качестве примера такого подхода к вопросу автоматизации технологических операций показателен опыт компании Siemens. Она предлагает покупателям технологическую платформу SIMOCRANE, которая обеспечивает загрузку и разгрузку контейнеров, режим погрузки и режим захвата. Краны, имеющие наиболее низкий уровень автоматизации, управляются системой SIMOCRANE Basic Technology (базовая технология). В данном случае в автоматическом режиме осуществляется управление движением всех основных систем крана, таких как подъемное устройство, портал, тележка, механизм поворота, механизм подъема вылета стрелы, подъемник стрелы, удерживающее и замыкающее устройство. Она позволяет оптимизировать управление движением различных осей крана, в том числе в интерактивном режиме, а также является общей платформой, позволяющей по желанию заказчика добавлять дополнительные крановые технологии. Более подробную информацию о предлагаемых дополнительных функциях автоматизации можно найти на сайтах ведущих производителей в области подъемно-транспортных машин.

Внедрение технологий беспилотного вождения, систем цифровизации и автоматизации является одним из основных современных трендов повышения транспортной безопасности. Использование искусственного интеллекта в сочетании с робототехникой способствует интеллектуальному и автоматизированному управлению портовым терминалом. Это позволяет максимально эффективно сортировать, упорядочивать и перемещать большое количество контейнеров и других товаров. Примером внедрения безлюдных технологий на первом уровне автоматизации являются погрузчики Automated loaders (ALT), которые в режиме «обучения» узнают маршруты и задачи от оператора, а затем переключаются в автоматический режим и управляют автомобилем самостоятельно. Автоматизированные управляемые транспортные средства - Automated Guided Vehicles (AGV) не требуют оператора, и для навигации используют камеры, лазеры и разметку пола. Автономные мобильные роботы – Autonomous mobile robots (AMR) — используют искусственный интеллект (ИИ), чтобы узнавать об окружающей среде и вносить соответствующие коррективы.

При автоматизации процессов управления группой или комплексом технологических операций важно не только согласовать работу отдельных машин в определенной последовательности, обусловленной технологией процесса [12,13], но и осуществить контроль и блокировку на случай всевозможных аварийных ситуаций [14,15]. В таких системах управляющие воздействия вырабатываются в решающих элементах, которых может быть несколько и каждый из которых имеет собственные цели. Эти цели не обязательно конфликтны, но если между решения элементами возникают конфликты, то для их решения требуется вмешательство более высокого уровня управления. Часто этот более высокий уровень управления пока вынужден осуществлять человек - оператор.

В качестве примера управления группой отдельных машин одним оператором можно привести опыт компании Kalmar [5]. Козловые краны на пневмоколесном ходу производства этой компании оснащены системой контроля за положением контейнера, интеллектуальной системой автоматического рулевого управления Smartrail, в которой используется передовая лазерная технология для предотвращения столкновений, а также электрогидравлической системой противораскачивания груза.

В совокупности эти три системы позволяют одновременно безопасно управлять группой из трех автоматизированных кранов при выполнении в том числе и сложных операций погрузки-разгрузки. В рассмотренном примере взаимодействие нескольких козловых кранов организовано с использованием интеллектуальных систем управления, разработанных для единицы техники, а элементом, объединяющим их для взаимодействия, является человек. В данном случае следует говорить о способе управления группой единиц техники на основе человеко-машинной автоматической системы как объединяющего элемента.

Возможен и такой способ автоматизации работы группы единиц техники, когда их работой управляет автономная роботизированная транспортная система внутри-терминального перемещения контейнеров, например, Automatic Guided Vehicle Systems, AGVS, AGV-системы [16]. Перемещение контейнеров осуществляется автоматизированными транспортными платформами (AGV) или автоматизированными транспортёрами-погрузчиками (ALV), или Shuttle Carriers (ShCs). Отличительными особенностями этого класса оборудования является то, что оно не используется как самостоятельная транспортная единица, а только в группе; относится к беспилотным, транспортным средствам; наиболее эффективно на терминалах с высокой плотностью штабелирования, где необходимо оперативное горизонтальное перемещение контейнеров посредством транспорта между штабелями и причальными перегружателями [17].

Процесс грузовых операций с AGV организован следующим образом. Разгрузка прибывшего судна осуществляется несколькими кранами (до четырех штук) в соответствии с планом выгрузки. Все задействованные в технологической-схеме AGV движутся по строго определенному маршруту, обычно по схеме петли от группы кранов в зоне выгрузки судна к группе штабелирующих кранов в зоне хранения. Изъятый с палубы или трюма судна контейнер устанавливается на ближайшую к нему (крану) свободную от груза транспортную платформу. Штабелирующие краны выполняют операцию по постановке прибывших в зону хранения на AGV контейнеров в стеки штабелей, согласно плана размещения последних для хранения. По истечению технологически обоснованного срока хранения контейнер с помощью того же штабелирующего крана извлекается из штабеля и затем транспортируется для погрузки на транспортные средства смежных видов транспорта. Для загрузки судна указанные технологические операции выполняются в обратном порядке. В случае применения ALV, так называемых автоматизированных челночных перевозчиков, для перевалки контейнеров не требуется дополнительное перегрузочное оборудование. Они работают автономно и могут как разгружать и загружать судно, так и перемещать контейнеры по терминалу. В отличие от AGV челночные перевозчики не привязаны к определенному маршруту могут двигаться на терминале по произвольной траектории. Их маршруты движения регламентируются заранее определенным для каждого контейнера расписанием выполнения технологических операций.

Известен и такой способ выполнения грузовых операций, когда в технологическом процессе используются не только автоматизированные транспортные платформы, но и специальные краны, Manned Quay Cranes (QC) для выгрузки контейнеров с борта судна, а также автоматизированные штабелирующие краны (ASCs – Automated Stacking Cranes) [17]. В этом случае следует говорить об автоматизации совокупности всех операций технологического процесса перевалки контейнеров на терминале, что по классификационному признаку также относится ко второму уровню.

Роботизированные транспортные системы внутри-терминального перемещения контейнеров Automatic Guided Vehicle Systems, AGVS, AGV-системы предназначены для управления роботами перегружателями. Очевидно, что использование AGV и ALV в качестве перегрузочного оборудования имеет большие перспективы, однако с



учетом высокой цены внедрения, их покупка для конкретного терминала должна быть экономически обоснована.

Если же применение роботизированной системы грузопереработки экономические не выгодно терминалу, то внедряют более дешевые компьютеризированные аналоги организации работы группы единиц техники. Отличительной особенностью таких систем является то, что взаимодействует между собой механизированная перегрузочная техника, а принципы этого взаимодействия предварительно отрабатываются на имитационных или сетевых моделях [18,19]. На основе анализа данных, полученных в результате сетевого или имитационного моделирования, под каждую технологическую схему погрузо-разгрузочных работ осуществляется выбор оптимального набора погрузо-разгрузочного оборудования.

Компьютеризированная система управления погрузо-разгрузочным оборудованием разрабатывается под конкретный технологический процесс, так как имитационная модель, закладываемая в основание системы управления, отражает индивидуальные особенности каждой технологической линии конкретного терминала (свой набор операций и своя последовательность их выполнения) [20]. По своей сути имитационная модель является цифровым двойником, на котором выполняется отладка системы взаимодействия структурных элементов (операций) конкретной технологической линии [21,22]. Математической моделью цифрового двойника в данном случае является структурно-логическая схема функционирования технологической линии выгрузки судна. Для построения схемы может использоваться различный математический аппарат со своими правилами формализации элементов (событий) и существующих между ними причинно-следственных связей (выполняемых работ). Например, в работе [23] структурно-логическая схема функционирования технологической линии перевалки контейнеров на терминале представлена в виде сети Петри.

Анализ систем посредством имитационного моделирования является перспективным направлением в развитии технологий перегрузки и хранения грузов на терминалах морских портов, так как на основании созданных моделей возможно написание специализированных программ для автоматизированной системы синхронного управления работой перегрузочной техники при выполнении погрузо-разгрузочных работ на технологической линии.

При комплексной автоматизации всех технологических процессов порта используют автоматизированные системы управления (АСУ). Интеграция АСУ в работу контейнерного терминала позволяет выполнять дистанционное комплексное управление причальными кранами и кранами-штабелерами, погрузчиками и другим техническим оборудованием, например, открывание ворот без вмешательства человека, если вывоз контейнера с территории порта разрешен.

Интересен опыт использования в различных проектах комплексной автоматизации портовых терминалов программного обеспечения «AXELOT TOS», разработчиком которого является компания AXELOT. [24]. Особенностью данного программного продукта является его модульная архитектура, которая позволяет по желанию пользователя составить индивидуальный набор элементов из списка предложенных в библиотеке подпрограмм, а также предусматривает возможность пополнения данного набора программными модулями, разрабатываемыми в рамках сотрудничества с компаниями стейкхолдерами. Для проекта автоматизации контейнерных перевозок на участке транспортировки контейнерных грузов компания AXELOT разработала модуль управления перевозками и транспортным парком, получивший название AXELOT TMS X4. Данный модуль прошел апробацию в компаниях ООО «ФескоТранс» и ГК «Доброфлот» и успешно используется в производственной деятельности этих компаний. Еще один успешно реализованный проект компании совместно с логистическим центром завода NAVAL, расположенном в Тульской области, это внедрение «цифрового дуэта» систем,

AXELOT WMS X5 для автоматизации склада и AXELOT TOS для управления контейнерным терминалом. Если рассматривать возможности АСУ от различных производителей, то можно сделать вывод, что объектами автоматизации являются самые трудоемкие операционные и информационные процессы терминала. Программное обеспечение отвечает за целостную работу системы, обеспечивает бесконтактную идентификацию товарных групп и партий; отслеживает перемещение транспортных средств и грузов в режиме онлайн; координирует своевременную доставку грузов получателю; контролирует соблюдение режима и безопасность процесса транспортировки; координирует процесс сортировки и комплектования сборных грузов.

### **Обсуждение**

Предложенная в результате исследования информации из первичных источников и из вторичных открытых научных данных классификация фиксирует закономерные связи между способом автоматизации процесса управления грузоподъемными механизмами контейнерного терминала и тремя уровнями управления перегрузочным процессом. Она по своей сути является сеткой классификационных ячеек – таксонов различного ранга по степени родства, в которой находит свое место любой из существующих способов автоматизации контейнерных терминалов. Её основное предназначение – ориентировка в многообразии существующих подходов и методов полной или частичной замены обслуживаемых персоналом операций на терминале автоматизированным оборудованием и процессами.

### **Заключение**

Выполненный в ходе научного поиска обзор принадлежности способов автоматизации к определенному уровню управления перегрузочного процесса позволяет сделать следующие выводы.

1. На первом уровне управления основным способом автоматизации является оснащение перегрузочной техники дополнительным оборудованием, работающим на основе различных физических принципов таких как лазерное и ультразвуковое сканирование, визуальное распознавание и т.д., с целью обеспечения безопасности и точности выполняемых человеком операции. Основной объект автоматизации – крановые перегружатели и выполняемые ими технологические операции. Что касается мобильной перегрузочной техники, работающей в зоне хранения и тыловых зонах, то основные направления автоматизации для этой техники – безопасность движения по маршруту с использованием систем визуального и акустического местоположения, а также организация процесса поиска целевого контейнера с использованием штрих кодов и электронных меток. При этом способы автоматизации наиболее трудоемких операции таких как реформирование штабеля временного хранения и формирование сборных партий грузов для контейнерной отправки в ходе научного поиска не выявлены. При полной автоматизации технологического процесса управления грузоподъемной машиной используется различное программное обеспечение, разрабатываемое фирмами производителями перегрузочной техники с целью реализации дополнительных интеллектуальных функций выпускаемого ими оборудования.

2. Для второго уровня управления выявлены два способа автоматизации. Первый способ – создание человеко-машинной автоматической системы управления как объединяющего элемента для слаженной работы перегрузочного оборудования в технологическом процессе. В данном случае взаимодействие осуществляется и контролируется оператором с помощью интеллектуальных систем управления, разработанных для отдельных единиц техники. Во втором

способе используются различные роботизированные механизмы с программным управлением, разработчиком которого являются фирмы производители роботов перегружателей. Если же применение роботизированной системы грузопереработки экономически не выгодно терминалу, то внедряют более дешевые компьютеризированные аналоги организации работы группы единиц техники. Отличительной особенностью таких систем является то, что взаимодействует между собой механизированная перегрузочная техника, а принципы этого взаимодействия предварительно отрабатываются на имитационных или сетевых моделях.

3. При комплексной автоматизации всех технологических процессов порта разрабатываются и используют различные автоматизированные системы управления (АСУ). Интеграция АСУ в работу контейнерного терминала позволяет выполнять комплексное управление без вмешательства человека не только всей перегрузочной техникой порта, но и другим оборудованием не относящимся на прямую к технологическому процессу.

#### Список литературы

1. Методические аспекты оценки эффективности механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ в морских портах / Г. В. Деружинский, В. Е. Деружинский, А. В. Игнатенко, К. А. Аблязов // Эксплуатация морского транспорта. – 2022. – № 3(104). – С. 3-16. – DOI 10.34046/aumsuomt104/1. – EDN SHYZCP.
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. – EDN GJAWXI.
3. Морохова, Н. А. Автоматизация погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ / Н. А. Морохова, В. М. Перепелкин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 133. – EDN SYZLMT.
4. Официальный сайт компании Linde Material Handling [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.linde-mh.com/en/> (дата обращения: 15.06.2023 г.).
5. Официальный сайт компании Kalmar [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kalmarglobal.ru/> (дата обращения: 23.06.2023 г.).
6. Официальный сайт компании Siemens [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.siemens.com/global/en.html> (дата обращения: 22.06.2023 г.).
7. Официальный сайт компании DSD Steel Group GmbH [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.dsd-hilgers.de/de/> (дата обращения: 23.06.2023 г.).
8. Маликова, Т. Е. Разработка системы слежения за импортными грузопотоками, оформляемыми по технологии предварительного информирования в морском пункте пропуска / Т. Е. Маликова, А. И. Филиппова // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 4-2(34). – С. 32-36. – EDN VZZVZG.
9. Разработка инфологической модели базы данных предварительного информирования таможенных органов для судоходной компании / А. И. Азовцев, Т. Е. Маликова, А. И. Филиппова, А. А. Янченко // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 3-1(33). – С. 327-332. – EDN YLOGQN.
10. Маликова, Т. Е. Применение технологии предварительного информирования таможенных органов при морских внеплановых грузоперевозках / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 3 (37). – С. 33-45. – DOI 10.21821/2309-5180-2016-7-3-33-45. – EDN WBKBYL.
11. Официальный сайт компании Konecranes [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.konecranes.com/discover/smart-features> (дата обращения: 22.06.2023 г.).
12. Янченко, А. А. Алгоритм оформления судна в порту по технологии предварительного информирования таможенных органов в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, А. В. Кузьмин // Территории опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации и свободный порт Владивосток : сборник научных трудов X Региональной научной конференции, посвященной 25-летию

- ФТС России, Владивосток, 05–06 октября 2016 года. – Владивосток: Владивостокский филиал Российской таможенной академии, 2016. – С. 257-262. – EDN YGMSNB.
13. Королева, Е. А. Интегрированный технологический процесс перевалки контейнерного грузопотока в морском порту / Е. А. Королева, М. Н. Коробкова, С. Л. Котляров // Транспортное дело России. – 2023. – № 1. – С. 286-288. – DOI 10.52375/20728689\_2023\_1\_286. – EDN NWRUMY.
  14. Wróbel K. Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety / K. Wróbel, J. Montewka, P. Kujala // Reliability Engineering & System Safety. — 2017. — Vol. 165. — Pp. 155–169. DOI: 10.1016/j.res.2017.03.029.
  15. Выявление аварийных ситуаций при использовании портового перегрузочного оборудования с помощью заданного алгоритма / Я. Я. Эглит, А. А. Ковтун, А. А. Дмитриев, Е. Р. Денисова // Транспортное дело России. – 2018. – № 3. – С. 125-127. – EDN XRCUIP.
  16. Хлебородов, В. С. Анализ эффективности существующих систем организации контейнерных терминалов при использовании различного транспортно-грузового оборудования / В. С. Хлебородов, С. Н. Корнилов // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – Т. 2, № 1. – С. 238-251. – EDN PBGDFJ.
  17. Свистунова, А. С. Возможности автоматических транспортеров-погрузчиков и их использование при создании имитационной модели развития контейнерного терминала / А. С. Свистунова, Д. С. Хасанов // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4-1 (50). – С. 169-174. – DOI 10.37220/MIT.2020.50.4.023. – EDN RRNBYR.
  18. Malikova, T. E. Simulation model for controlling loader actions at formation and unloading of the operational stack of a container terminal / T. E. Malikova, E. E. Soloveva // 7th International scientific-practical conference «Simulation and complex modelling in marine engineering and marine transporting systems» (SCM MEMTS-2023): Труды конференции, Санкт-Петербург; Кронштадт, 22 июня 2023 года. – Санкт-Петербург, : НП-Принт, 2023. – P. 25-30. – EDN ESECJS.
  19. Маликова, Т. Е. Автоматизация рабочего цикла погрузчика на механизированном контейнерном терминале / Т. Е. Маликова, Е. Е. Соловьева, А. Ж. Радочинская // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: Четвертая Международная научная конференция, Санкт-Петербург, 04–21 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 220-224. – DOI 10.31799/978-5-8088-1819-4-2023-4-1-220-224. – EDN RZEOGS.
  20. Янченко, А. А. Методика анализа технологического процесса обработки груза на контейнерном терминале / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 2 (95). – С. 20-26. – DOI 10.34046/aumsuomt95/3. – EDN OTCLEF.
  21. Янченко, А. А. Экспериментальные исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, Д. А. Оськин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 1. – С. 57-67. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67. – EDN ZDUVZR.
  22. 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. – EDN JTWBZS.
  23. Зуб, И. В. Моделирование функционирования транспортного терминала вложенными сетями Петри / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 2(36). – С. 41-48. – DOI 10.21821/2309-5180-2016-8-2-41-48. – EDN VTNPYR.
  24. Официальный сайт компании Axelot [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.axelot.ru> (дата обращения: 23.07.2023 г.).

#### References

1. Deruzhinskii G. V., Deruzhinskii V. E., Ignatenko A. V., Abliazov K. A. Metodicheskie aspekty otsenki effektivnosti mekhanizatsii i avtomatizatsii pogruzochno-razgruzochnykh rabot v morskikh portakh [Methodological aspects of evaluating effectiveness of

- mechanization and automation of loading and unloading operations in seaports].  
Ekspluatatsiia morskogo transporta, 2022, no. 3, pp. 3-17.
2. Timoshek, E. S., and Malikova, T. E. (2021). Analytical review of models and methods in fleet management. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*, 5 (101), 38-51.
  3. Morohova, N. A. Avtomatizacija pogruzochno-razgruzochnyh, transportnyh i skladskih rabot / N. A. Morohova, V. M. Perepelkin // *Sovremennye problem nauki io brazovanija*. – 2014. – № 3. – S. 133.
  4. Oficial'nyj sajt kompanii Linde Material Handling <https://www.linde-mh.com/en/> (accessed: 15.06.2023).
  5. Oficial'nyj sajt kompanii Siemens <https://www.siemens.com/global/en.html> (accessed: 22.06.2023).
  6. Oficial'nyj sajt kompanii DSD Steel Group GmbH <https://www.dsd-hilgers.de/de/>(accessed: 23.06.2023).
  7. Malikova, T. E. and A. I. Filippova. “Development of tracking flow of import goods, cleared through advance notification technology at a sea border entry point.” *Marine Intellectual Technologies T2.4(34)* (2016): 32-36.
  8. Azovtsev, A. I., Malikova T. E., Filippova A. I., and Yanchenko A. A. “The development of infological customs preliminary informing data base model for shipping company.” *Marine Intellectual Technologies 3.1(33)* (2016): 327-332.
  9. Malikova T. E., and A. A. Yanchenko. “The implementation of preliminary informing technology of customs authorities in sea spot cargo transportation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova 3(37)* (2016): 33-45. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-33-45.
  10. Oficial'nyj sajt kompanii Konecranes <https://www.konecranes.com/discover/smart-features> (accessed: 22.06.2023).
  11. Janchenko, A. A. Algoritm oformlenija sudna v portu po tehnologii predvaritel'nogo informirovanija tamozhennyh organov v uslovijah svobodnogo porta Vladivostok / A. A. Janchenko, T. E. Malikova, A. V. Kuz'min // *Territorii operezhajushhego social'no-jekonomicheskogo razvitija v Rossijskoj Federacii svobodnyj port Vladivostok : sbornik nauchnyh trudov X Regional'noj nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 25-letiju FTS Rossii, Vladivostok, 05–06 oktjabrja 2016 goda*. – Vladivostok: Vladivostokskij filial Rossijskoj tamozhennoj akademii, 2016. – S. 257-262.
  12. Koroleva, E. A., Korobkova M. N. and Kotljarov S. L. Integrirovannyj tehnologicheskij process perevalki kontejnernogo gruzopotoka v morskome portu. *Transportnoe delo Rossii*. – 2023. – № 1. – S. 286-288. – DOI 10.52375/20728689\_2023\_1\_286.
  13. Wróbel K. Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety / K. Wróbel, J. Montewka, P. Kujala // *Reliability Engineering & System Safety*. — 2017. — Vol. 165. — Pp. 155–169. DOI: 10.1016/j.res.2017.03.029.
  14. Jeglit Ja. Ja., Kovtun A. A., Dmitriev A. A., and Denisova E. R. Vyjavlenie avarijnyh situacij pri ispol'zovanii portovogo peregruzochnogo oborudovanija s pomoshh'ju zadannogo algoritma // *Transportnoe delo Rossii*. – 2018. – № 3. – S. 125-127.
  15. Oficial'nyj sajt kompanii Kalmar <https://www.kalmarglobal.ru/> (accessed: 23.06.2023).
  16. Hleborodov, V. S. and S. N. Kornilov / Analiz jeffektivnosti sushhestvujushhih system organizacii kontejnernih terminalov pri ispol'zovanii razlichnogo transportno-gruzovogo oborudovanija // *Sovremennye problem transportnogo kompleksa Rossii*. – 2012. – T. 2, № 1. – S. 238-251.
  17. Svistunova, A. S. and D. S. Hasanov / *Vozmozhnosti avtomaticheskikh transporterov-pogruzchikov i ih ispol'zovanie pri sozdanii imitacionnoj modeli razvitija kontejnernogo terminala / Morskie intellektual'nye tehnologii*. – 2020. – № 4-1(50). – S. 169-174. – DOI 10.37220/MIT.2020.50.4.023.
  18. Malikova, T. E. and E. E. Soloveva / Simulation model for controlling loader actions at formation and unloading of the operational stack of a container terminal / 7th International scientific-practical conference «Simulation and complex modelling in marine engineering and marine transporting systems» (SCM MEMTS-2023): *Trudy konferencii, Sankt-Peterburg; Kronshtadt, 22 ijunja 2023 goda*. – Sankt-Peterburg.: NP-Print, 2023. – P. 25-30.
  19. Malikova, T. E., Solov'eva E. E. and A. Zh. Radochinskaja/ Avtomatizacija rabocheho cikla pogruzchika na mehanizirovannom kontejnernom terminala/Ajerokosmicheskoe priborostroenie i jekspluatacionnye tehnologii: Chetvertaja Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija, Sankt-Peterburg, 04–21 aprelja 2023 goda. *Tom Chast' 1*. – Sankt-Peterburg:

- Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet ajerokosmicheskogo priborostroenija, 2023. – S. 220-224. – DOI 10.31799/978-5-8088-1819-4-2023-4-1-220-224.
20. Janchenko, A. A. and T. E. Malikova /Metodika analiza tehnologicheskogo processa obrabotki gruzha na kontejnornom terminale // Jekspluatacija morskogo transporta. – 2020. – № 2(95). – S. 20-26. – DOI 10.34046/aumsuomt95/3.
21. Janchenko, A. A. Malikova T. E. and D. A. Os'kin / Jeksperimental'nye issledovanija vlijanija zonirovanija kontejnornogo terminalana j effektivnost' ego raboty v uslovijah svobodnogo porta Vladivostok // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo I rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. – 2019. – T. 11, № 1. – S. 57-67. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67.
22. Solov'eva, E. E. Vybor optimal'noj posledovatel'nosti signalov bloka upravlenija pri obrabotke shtabelja kontejnerov na morskome terminale / E. E. Solov'eva, T. E. Malikova // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. – 2023. – T. 15, № 3. – S. 426-436. – DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-3-426-436.
23. Zub, Igor Vasilevich, and Yyri Evgenevich Ezhov. “Modeling of functioning of the transport terminal nested petri nets.” Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo I rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova 2(36) (2016): 41–48. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-41-48.
24. Oficial'nyj sajt kompanii Axelot <https://www.axelot.ru/> (accessed: 23.07.2023).

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

**Петрова Екатерина Евгеньевна**, соискатель, старший преподаватель кафедры Судовождение, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, д. 52-Б, e-mail: pillers@mail.ru

**Ekaterina E. Petrova**, applicant, Senior Lecturer of Navigation Department, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52-B, Lugovaya street, Vladivostok, 690087, Russian Federation, e-mail: pillers@mail.ru.

**Ганнесен Виталий Витальевич**, доцент кафедры судовождение, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, д. 52-Б, e-mail: v\_gannesen@mail.ru.

**Vitaliy V. Gannesen**, associate professor of Department Navigation Department, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52-B, Lugovaya street, Vladivostok, 690087, Russian Federation, e-mail: v\_gannesen@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.09.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 19.09.2023; published online 20.03.2024

УДК 656.624.3:661.2

DOI: 10.37890/jwt.vi78.465

## **Анализ организации экспортных перевозок серы в смешанном река-море сообщении**

**В.И. Минеев**

*ORCID: 0000-0002-5079-7922*

**Д.А. Почекаев**

*ORCID: 0000-0001-8856-8079*

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

**Аннотация.** Сера является одним из экспортных грузов и занимает значительный удельный вес в объеме перевозок водного транспорта. В статье проанализирован маршрут от завода-производителя серы в Астраханской области до морского порта Кавказ, на котором задействованы автотранспорт, специализированный речной порт Бузан, речной флот, рейдовый перевалочный комплекс в морском порту Кавказ, морские суда. Установлено, что при перевозках серы по воде используется в основном самоходный флот. Исследованы элементы кругового рейса речных теплоходов, технология и показатели работы портов, проанализирована статистика подачи морских судов в порт Кавказ для перевалки серы, производительность флота с учетом фактической длительности кругового рейса. Предложен вариант перевозки серы на анализируемом маршруте с использованием толкаемых составов, что позволит при оптимальном соотношении количества барж и толкачей снизить энергозатраты с соответствующей экономией топлива и численность плавсостава.

**Ключевые слова:** перевозка серы, речной транспорт, самоходный флот, толкаемые составы

## **Analysis of the organization of sulfur export transportation in mixed river-sea traffic**

**Valery I. Mineev**

*ORCID: 0000-0002-5079-7922*

**Dmitry A. Pochekaev**

*ORCID: 0000-0001-8856-8079*

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

**Abstract.** Sulfur is one of the export cargoes and occupies a significant share in the volume of water transportation. The article analyzes the route from a sulfur production plant in the Astrakhan region to the seaport of Kavkaz, which involves motor transport, the specialized river port of Buzan, river fleet, a road transshipment complex in the seaport of Kavkaz, and sea vessels. It has been established that when transporting sulfur by water, mainly self-propelled fleets are used. The elements of the river ships circular voyage, the technology and performance indicators of the ports were studied; the statistics of sea vessels supply to the port of Kavkaz for sulfur transshipment, the fleet productivity considering the circular voyage actual duration were analyzed. An option has been proposed for transporting sulfur on the analyzed route using pushed ship convoys, which will allow, with an optimal ratio of the barges number and pushers, to reduce energy costs with corresponding fuel savings and crew number.

**Keywords:** sulfur transportation, river transport, self-propelled fleet, pushed ship convoys.

**Введение**

Сера является одним из основных видов сырья для производства серной кислоты, удобрений, вулканизации резины. Объем мировой торговли серой достиг в 2021 г 65 млн т. Россия экспортирует ежегодно около 4 млн т серы. Основным поставщиком и экспортером серы в РФ (90% от общего объема) является ПАО «Газпром» [1].

Анализ данных Федеральной Таможенной Службы РФ (далее - ФТС) за 2019–2021 г показал, что из общего годового объема экспорта серы (4 млн т) морским транспортом вывозится 3,75 млн т, сухопутными видами транспорта - 0,25 млн т.

На рис. 1 показаны основные направления перевозок экспортной серы морским транспортом из портов РФ.

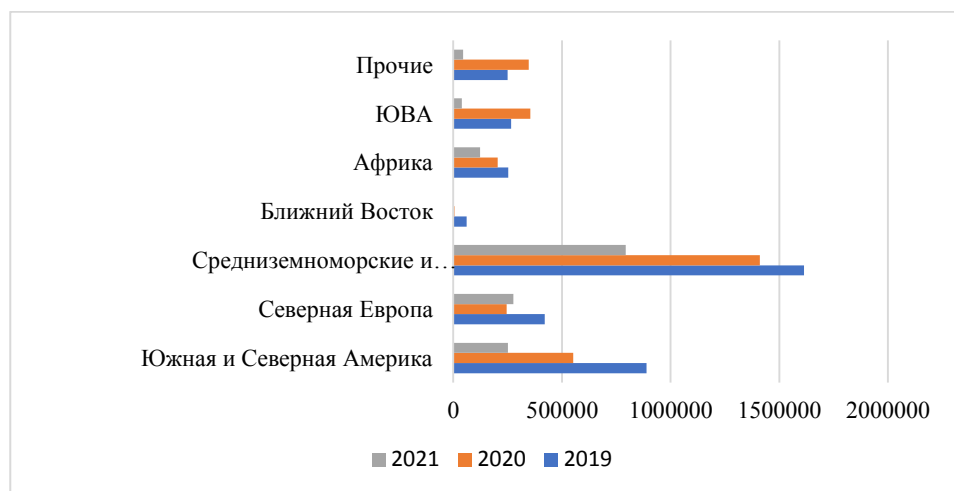


Рис. 1. Направления перевозок серы морским транспортом

Из рис.1 видно, что максимальный объем серы, порядка 1,5 млн т, вывозится в направлении Черного и Средиземного морей, перевалка осуществляется в порту Кавказ. Направление на Северную и Южную Америку обслуживается морским портом Усть-Луга, в который сера завозится железнодорожным транспортом.

На рис. 2 на основе анализа данных ФТС<sup>10</sup> показана сезонность отгрузки серы на экспорт.

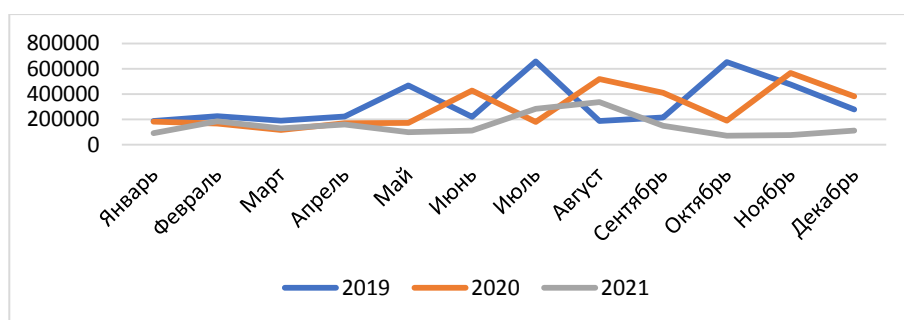


Рис. 2. Сезонная неравномерность экспорта серы, т

<sup>10</sup> <http://stat.customs.gov.ru/analysis>



Из приведенных графиков видно, что экспорт серы возрастает в апреле-мае, достигает своего максимума в июне-октябре и резко снижается в период декабрь-март. Такая сезонность экспорта совпадает с навигационным периодом на речном транспорте (апрель-ноябрь). Это обстоятельство и ограниченность пропускной способности железных дорог способствовали включению в логистическую схему доставки серы на экспорт в направлении Черного и Средиземного морей и крупным российским потребителям речного транспорта. Заказчик этой схемы ООО «Газпром добыча Астрахань», на долю которого приходится 50% производства и экспорта серы ПАО «Газпром». По итогам 2022 года совокупные поставки серы составили более 3,7 млн. тонн, что обеспечило компании лидирующее положение на внутреннем рынке Российской Федерации [2].

В 2019 г речным транспортом в смешанном река-море сообщении с перевалкой на морской транспорт в п. Кавказ было отправлено 1,5 млн т экспортной серы и в прямом речном сообщении в речной порт Череповец - 0,4 млн т.

Доля река-море перевозок в общем объеме за последние 30 лет возросла с 3% до 21% на фоне общего падения объемов работы внутреннего водного транспорта почти в 8–10 раз.

Из всех видов река-море сообщений наиболее развито смешанное река-море сообщение с перевалкой грузов в морских портах - 77%, в прямом река-море сообщении без перевалки в морских портах перевозится 14% грузов, транзитные перевозки составляют 9% от общего объема экспортно-импортных перевозок. Из общего количества перевозок в река-море сообщении лишь 6% перевезены в толкаемых составах [3]. Основная часть перевозок в толкаемых составах (90%) - это нефтеналивные грузы, около 10% - сера. Оба груза переваливаются с речного транспорта на морской на рейдовых перевалочных комплексах п. Кавказ.

#### **Материалы и методы исследования**

Технологическая схема доставки серы на экспорт (п. Кавказ) от Астраханского газоконденсатного месторождения (ООО «Газпром добыча Астрахань») включает следующие операции:

1. Транспортировка серы [4] от установок производства серы до речного порта Бузан. Расстояние по автомобильным дорогам 21 км. Используются самосвалы и контейнеровозы грузоподъемностью 35 т. Автопарк составляет 70 единиц. Круглосуточно на перевозках заняты около 60 машин.
2. Разгрузка автотранспорта на склады открытого хранения серы в речном порту Бузан.
3. Подача к причалам порта Бузан и загрузка речных судов. Используются передвижные конвейерные установки и порталные краны.
4. Транспортировка серы речными судами от речного порта Бузан до морского порта Кавказ. Маршрут речных судов включает речной не зарегулированный участок от порта Бузан до Красноармейска - 412 км, Волго-Донской канал - 101 км, Цимлянское водохранилище и реку Дон до Азова - 478 км, морской участок Азов - п. Кавказ - 356 км. Вся протяженность маршрута - 1347 км.
5. В порту Кавказ производится перевалка серы из речных судов в морские. Применяется рейдовый перегрузочный комплекс, без использования причалов порта и береговых складов. Сера перегружается по прямому варианту из речного в морское судно.
6. Транспортировка серы морскими судами партиями от 10 до 150 тыс. т в морские порты стран импортеров серы.

Порт Бузан управляется компанией ООО «Лаверна Трейд». В порту находится четыре причала, глубина у причальной стенки – 4,6 м.

Перегрузочное оборудование:

- три порталных крана КПП–16 грузоподъемностью 32 тонны, на подкрановых путях длиной 131, 100 и 100 м;
- козловой кран КС–50–42В грузоподъемностью 50 тонн на подкрановых путях длиной 130 м;
- ленточный транспортер для перевалки серы в речные суда производительностью до 5 тыс. тонн в сутки;
- плавкран «Ганц» грузоподъемностью 16 тонн.

На территории порта Бузан имеются бетонированные площадки открытого хранения площадью 50 тыс. кв м, открытый склад временного хранения площадью 10 тыс. кв.м<sup>11</sup>.

Отгрузка серы производится в период с 1 апреля по 15 ноября по договору с управляющей компанией. В 2019 г договор предусматривал перевалку серы в речные суда в количестве 1,85 млн т в навигацию. Установленная норма отгрузки – 8350 т в сутки. Работы производятся круглосуточно, в том числе в выходные и праздничные дни. Исключения составляют дни с ветром свыше 10 м/с и волной свыше 1 м.

Продолжительность обслуживания речных судов в порту складывается из ожидания освобождения причала, подхода и швартовки у причала, грузовых операций, отхода от причала на рейд, ожидания грузовых и таможенных документов. Документы таможней оформляются в обычное рабочее время, исключая выходные и праздничные дни.

В навигацию 2019 г с причалов порта Бузан было отгружено 1833 тыс. т серы в 386 речных судов. Из этого количества назначением на порт Кавказ - 1510 тыс. т – в 311 судов. Назначением в Череповец было отправлено 323 тыс. т в 75 судах. С учетом продолжительности навигации - 228 суток - из порта в среднем отправлялось 1,7 судна (386/228-частота) с интервалом между отправлениями 14 часов. В направлении порта Кавказ частота - 1,4, интервал- 18 часов. В направлении порта Череповец частота- 0,33, интервал - 73 часа.

Из 311 рейсов на порт Кавказ только 9 рейсов были выполнены в толкаемых составах судоходной компанией «Интерагент МА», остальные 302 рейса выполнялись самоходным флотом АО «Волга-флот». Средняя нагрузка составила 4855 т на одно судно.

На перевозках использовались самоходные теплоходы проектов RSD44, 507Б, 1565, грузоподъемность- 5000 т. Толкаемые составы компании «Интерагент МА» состояли из барж проекта 003040 (грузоподъемность- 4000 т) и закрепленными за ними толкачами типа ОТ и ОТА.

На основе обработки данных ФБУ «Администрация Волжского бассейна внутренних водных путей», содержащихся в отчете по дислокации судов за 2019 г, на рис. 3 приводится распределение продолжительности круговых рейсов самоходных теплоходов по маршруту Бузан-Кавказ-Бузан (объем выборки 92 рейса, 2019 г).

---

<sup>11</sup> Речные порты европейской части России. Информационно-аналитическое агентство SeaNews. СПб, 2006г

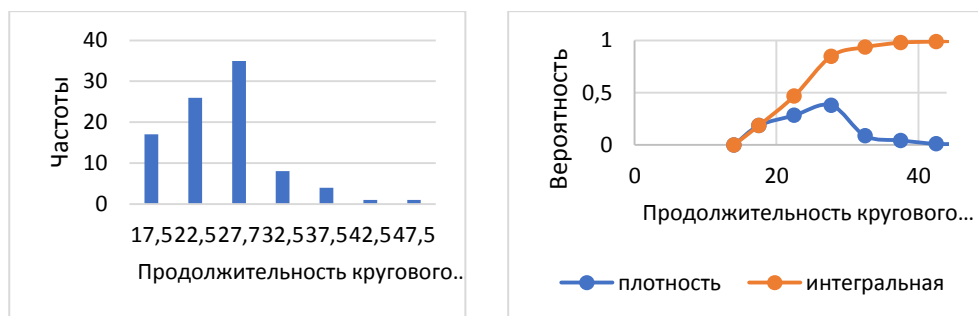


Рис. 3. Распределение продолжительности круговых рейсов самоходных судов (Бузан-Кавказ-Бузан)

Описательная статистика: среднее значение продолжительности кругового рейса - 24,8 суток, медиана 25 суток, мода - 26 суток, минимум - 15 суток, максимум - 47 суток, стандартное отклонение 5,9 суток, дисперсия- 34,9.

Из описательной статистики и формы кривой плотности вероятностей (рис.2) можно предположить, что продолжительность кругового рейса судов распределена по треугольному закону распределения Стьюдента с параметрами  $a=15$ ,  $c=26$ ,  $b=47$  (стандартная функция в Java-triangular (15,26,47)).

Данные о продолжительности круговых рейсов теплоходов и средней нагрузке позволяют судить о производительности работы флота на перевозках экспортной серы. За один круговой рейс с наиболее вероятной продолжительностью 26 суток (мода) теплоход перевозит 4855 т на расстояние 1347 км. Транспортная работа равна 6500 тыс. т\*км. При этом использовался теплоход грузоподъемностью 5000 т в течение 26 суток. Затраты ресурса составили 130 тыс. тоннаже-суток, производительность работы флота - 50 ткм на одну тонну тоннажа в сутки. Несмотря на мощный, постоянный грузопоток уровень производительности флота низкий, ниже среднего, достигнутого в 1988 г уровня в 80 ткм/тоннаже-сутки<sup>12</sup>.

Исходя из продолжительности навигации (228 суток) и наиболее вероятной продолжительности кругового рейса (26 суток), можно определить наиболее вероятное количество круговых рейсов, совершенное одним теплоходом за навигацию ( $228/26=9$  круговых рейсов), хотя в реальности теплоходы могут работать не всю навигацию на маршруте. Учитывая общее количество выполненных рейсов (302 рейса) и экипаж теплохода (9 человек), с высокой вероятностью можно утверждать, что на перевозках в течение всей навигации эксплуатировались 34 теплохода, общее количество занятых работников 306 человек ( $34*9$ ).

Мощность энергетической установки теплохода - 2400 кВт, т.е. в течение всей навигации непрерывно использовалась энергетическая мощность 81600кВт ( $2400кВт*34$  теплохода). Отметим, что для толкания баржи грузоподъемностью 5000 т достаточно толкача с мощностью силовой установки 600 кВт. Это в 4 раза меньше, чем при использовании теплоходов с соответствующей экономией топлива, а при оптимальном соотношении количества барж и толкачей численность плавсостава может быть существенно снижена.

Представляет интерес сравнение фактической продолжительности кругового рейса с нормативной, определенной для идеальных условий, когда нет непредвиденных задержек и очередей (табл. 1). Расчет выполнен для теплохода типа RSD44, грузоподъемностью 5000 т с проектной скоростью 19 км/час. Учтены нормированные Правилами задержки на прохождение Волго-Донского канала и моста

<sup>12</sup> Транспорт и связь СССР. Статистический сборник. М.: «Финансы и статистика», 1990 с. 239

в г. Ростов-на-Дону. Нормы погрузки/выгрузки устанавливаются с разбивкой: по типоразмерам судов или в расчёте на рабочий люк, на единицу массы или объёма груза, люмпсум за рабочий день, за сутки и т.д. [5]

Таблица 1

**Оценка продолжительности кругового рейса теплохода в идеальных условиях**

Пункты маршрута		Скорость судна, км/сутки	Расстояние, км	Продолжительность операции, суток
Бузан	Погрузка (одновременно 2 судна в сутки)			1,00
Бузан	Оформление			0,50
Бузан	Красноармейск	400	412	1,0
Красноармейск	Вход в канал	270	101	0,4
Нормированная задержка ВДСК (Правила)				1,0
Вход в канал	Азов	500	478	1,0
Нормированная задержка Ростов мост (Правила)				1,0
Азов	Кавказ	450	356	0,8
Кавказ	Выгрузка (750 т в час)			0,3
Кавказ	Оформление			0,5
Кавказ	Азов	450	356	0,8
Нормированная задержка Ростов мост (Правила)				1,0
Азов	Вод в канал	400	478	1,2
Нормированная задержка ВДСК (Правила)				1,0
Вход в канал	Красноармейск	180	101	0,6
Красноармейск	Бузан	500	412	0,8
Итого			2694	12,8

Из таблицы видно, что нормальная продолжительность кругового рейса 12,8 суток, что в 2 раза меньше наиболее вероятной фактической продолжительности рейса, а по отдельным фактическим рейсам (47 суток) - в 4 раза меньше. Учитывая статус участников рассматриваемой схемы (ПАО «Газпром», АО «Волга-флот»), вряд ли можно предполагать, что такие низкие показатели эффективности перевозок - это результат плохой организации перевозок.

На маршруте главный лимитирующий участок — это Волго-Донской канал [6]. На рис. 4. приводится распределение продолжительности прохождения судами Волго-Донского канала на участке Красноармейск - вход в канал (объем выборки- 311 рейсов, 2019 г).

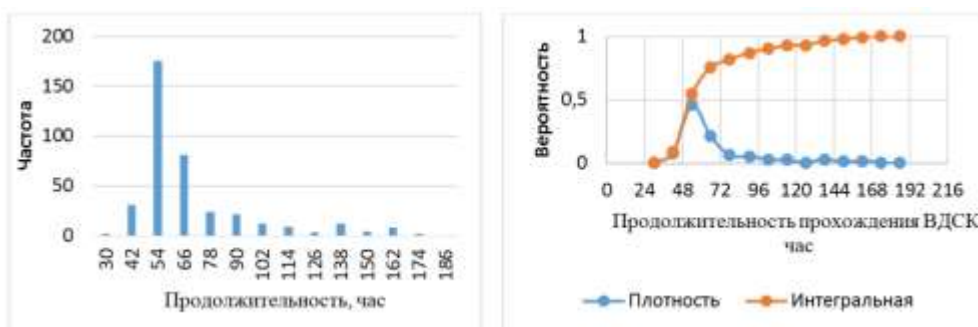


Рис. 4. Распределение продолжительности прохождения судами Волго-Донского канала

Описательная статистика: среднее значение продолжительности прохождения канала - 68,5 час., медиана - 58 час., мода - 52 час., минимум - 28 час., максимум - 237 час., стандартное отклонение - 28 час., дисперсия- 780. Стандартная функция треугольного распределения в Java- triangular (28, 52, 237).

Следует отметить, что нормативная продолжительность прохождения канала, установленная правилами<sup>13</sup> составляет 36 часов. Из-за очередей сверхнормативные задержки при прохождении канала составляют в среднем 34 часа в одну сторону, или 68 часов за круговой рейс.

Большая дисперсия продолжительности кругового рейса объясняется объективными причинами, не зависящими от участников схемы:

- множество независимых перевозчиков направляют свои суда через Волго-Донской канал и в результате неравномерного прибытия судов образуется очередь на прохождение канала;
- неизбежные стохастические задержки исключают прибытие судов в пункты погрузки и перевалки по расписанию, в результате в этих пунктах возникают ситуации, когда подготовленный груз не может быть отправлен из-за отсутствия судов или образуются очереди из судов на грузовые операции;
- окончание обработки судна в порту часто попадает на выходные дни, когда таможенное оформление не производится;
- на вывозе серы из порта Кавказ нет линейного сервиса, поэтому морские суда фрахтуются на спотовом рынке, и, как следствие, подаются под погрузку нерегулярно и разной грузоподъемности.

На рис.5 по результатам обработки данных ФТС (количество груза по одной декларации) приводится распределение размеров морских судов, подаваемых в порт Кавказ под загрузку серой.

<sup>13</sup> Правила перевозок грузов Часть 1. М.: «Транспорт», 1979, 288 с.

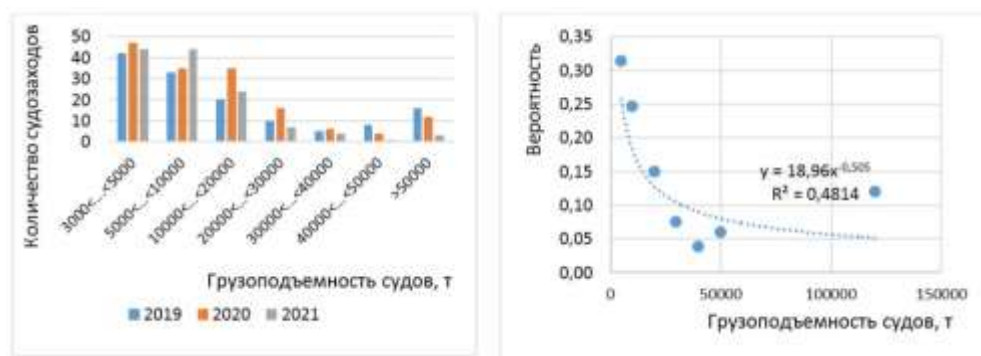


Рис. 5. Распределение размеров морских судов, подаваемых под загрузку серой

Размер морских судов распределен по показательному закону. Средняя грузоподъемность морских судов составила 18 тыс. т. Частота подачи судов - 0,36, интервал подачи - 3 суток.

Заход судов в порт Кавказ и рейдовая перевалка грузов [7] регламентируются Обязательными постановлениями в морском порту Кавказ<sup>14</sup> и Правилами оказания услуг по организации перегрузки грузов с судна на судно.<sup>15</sup> Морской порт Кавказ открыт для захода судов круглый год. Нормальным рабочим временем в порту считается время с 8-00 до 20-00 часов, кроме выходных и праздничных дней. Оформление прихода судов в морской порт и выхода их из морского порта осуществляются круглосуточно. Административные и таможенные органы работают с 8-00 до 17-00, исключая выходные и праздничные дни.

Для рейдовой перевалки серы в порту выделены глубоководные рейдовые перегрузочные районы № 2, №3 и якорная стоянка №455 с глубиной 16 м. На перевалке используется плавучий перегрузочный комплекс, смонтированный на морской барже.

Перегрузочное оборудование комплекса обеспечивает производительность перевалки 750 т/час. Комплекс способен накапливать в собственных трюмах до 14 тыс. т серы, обеспечивая выгрузку речных судов при отсутствии в порту морских судов.

## Результаты

Влияние перечисленных факторов на эффективность перевозок может быть существенно снижено за счет применения толкаемых составов с оптимальным соотношением количества барж и толкачей [8]. При этом баржи будут выполнять роль буфера, оставаясь в очередях, под обработкой и при прохождении канала без магистрального толкача. Простой барж не имеют существенных последствий, так как у них нет энергетической установки и экипажа. Доля движущей операции в рейсах магистральных толкачей и производительность работы флота значительно повысятся. Однако при этом необходимо обеспечить обслуживание барж маломощными маневровыми буксирами в местах обработки и на лимитирующих участках маршрута.

<sup>14</sup> Обязательные постановления в морском порту Кавказ Утверждены приказом Минтранса России от 23 марта 2018 г. N 110 <https://base.garant.ru/71909654/>

<sup>15</sup> Приказ Минтранса РФ от 29 апреля 2009 г. N 68 "Об утверждении Правил оказания услуг по организации перегрузки грузов с судна на судно" [https://base.garant.ru/195838/#block\\_1000](https://base.garant.ru/195838/#block_1000)

### **Выводы**

Из проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Сера является крупной экспортной позицией РФ, значительная доля которой вывозится в смешанном река-море сообщении с участием речного транспорта.

В России создана транспортно-технологическая система доставки серы на экспорт, включающая автотранспорт, специализированный речной порт Бузан, речной флот, рейдовый перевалочный комплекс в морском порту Кавказ и фрахт морских судов.

На перевозках серы по речному участку используются самоходные теплоходы грузоподъемностью 5000 т. В навигацию 2019 г на перевозках серы теплоходы совершили 302 рейса, в толкаемых составах было выполнено 9 рейсов.

Установлено, что производительность работы теплоходов низкая, составляет 50 т\*км на 1 тонну тоннажа в сутки; энергозатраты в 4 раза выше, чем при использовании толкаемых составов; численность плавсостава теплохода выше, чем у толкаемых составов.

Одна из причин низкой эффективности перевозок - большая дисперсия элементов кругового рейса судов, вызванная внешними условиями, не зависящими от участников транспортной схемы.

Эффективность перевозок может быть существенно повышена за счет использования толкаемых составов с оптимальным соотношением незакрепленных барж и толкачей.

Рассмотренная транспортно-технологическая система экспортных перевозок серы и установленные параметры ее работы могут быть использованы в качестве эмпирической базы для методических разработок модели более эффективной организации перевозок с использованием толкаемых составов в река-море сообщении.

### **Список литературы**

1. Запрудская, А. А. Поставки на экспорт газовой серы из астраханских месторождений и их транспортное обеспечение / А. А. Запрудская // Вестник транспорта. – 2016. – № 11. – С. 34-36.
2. «Газпром газонефтепродукт холдинг» начал отгрузку серы водным транспортом [сайт] <https://www.gazprom.ru/about/subsidiaries/news/2023/april/article563197/>
3. Толкаемые составы смешанного "река-море" плавания - решение важнейших проблем водного транспорта России / Б. А. Атлас, М. И. Войников, А. Д. Гофман [и др.] // Судостроение. – 2010. – № 3(790). – С. 18-22.
4. Костюкевич, П. А. Экспортные перевозки серы через морские порты: тенденции и перспективы / П. А. Костюкевич, К. А. Сипаро, Т. Н. Новикова // Молодой ученый. – 2015. – № 23(103). – С. 576-580.
5. Деружинский, В. Е. Стивидорное обслуживание доставки груза / В. Е. Деружинский, К. А. Аблязов, Э. К. Аблязов // Эксплуатация морского транспорта. – 2021. – № 1(98). – С. 3-8. – DOI 10.34046/aumsuomt98/1.
6. Перевозки водным транспортом на транспортном пространстве Юга России - проблемы и пути их решения / Т. В. Коновалова, Е. А. Лебедев, Л. Б. Миротин [и др.] // Вестник транспорта. – 2023. – № 3. – С. 2-4.
7. Деружинский, В. Е. Проблемы рейдовой перевалки грузов / В. Е. Деружинский, Г. В. Деружинский, А. П. Шрамко // Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2013. – № 2(3). – С. 50-57.
8. Платов, А. Ю. Концепция системы оперативного планирования отправления грузов из портов на внутренних водных путях / А. Ю. Платов, Ю. И. Платов // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 71. – С. 180-187. – DOI 10.37890/jwt.vi71.254.

### **References**

1. Zaprudskaya, A. A. Export supplies of gas sulfur from Astrakhan deposits and their transport support / A. A. Zaprudskaya // Transport Bulletin. – 2016. – No. 11. – P. 34-36.
2. Gazprom Gasnefteprodukt Holding began shipping sulfur by water [website] <https://www.gazprom.ru/about/subsidiaries/news/2023/april/article563197/>
3. Pushed compositions of mixed "river-sea" navigation - a solution to the most important problems of water transport in Russia / B. A. Atlas, M. I. Voinikov, A. D. Goffman [etc.] // Shipbuilding. – 2010. – No. 3(790). – P. 18-22.
4. Kostyukevich, P. A. Export transportation of sulfur through sea ports: trends and prospects / P. A. Kostyukevich, K. A. Siparo, T. N. Novikova // Young scientist. – 2015. – No. 23(103). – pp. 576-580.
5. Deruzhinsky, V. E. Stevedoring service for cargo delivery / V. E. Deruzhinsky, K. A. Ablyazov, E. K. Ablyazov // Operation of marine transport. – 2021. – No. 1(98). – P. 3-8. – DOI 10.34046/aumsuomt98/1.
6. Transportation by water transport in the transport space of the South of Russia - problems and ways to solve them / T. V. Konovalova, E. A. Lebedev, L. B. Mirotin [and others] // Transport Bulletin. – 2023. – No. 3. – P. 2-4.
7. Deruzhinsky, V. E. Problems of road cargo transshipment / V. E. Deruzhinsky, G. V. Deruzhinsky, A. P. Shramko // Bulletin of the State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova. – 2013. – No. 2(3). – P. 50-57.
8. Platov, A. Yu. Concept of a system for operational planning of cargo departure from ports on inland waterways / A. Yu. Platov, Yu. I. Platov // Scientific problems of water transport. – 2022. – No. 71. – P. 180-187. – DOI 10.37890/jwt.vi71.254.

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

**Минеев Валерий Иванович**, д.э.н., профессор, главный научный сотрудник кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [vlrjmineev@gmail.com](mailto:vlrjmineev@gmail.com)

**Valery I. Mineev**, Doctor of Economics, Professor, Chief Scientific Officer of the Department of Economics and management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

**Почекаев Дмитрий Александрович**, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [nis\\_2019@bk.ru](mailto:nis_2019@bk.ru)

**Dmitry A. Pochekaev**, postgraduate student, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 05.02.2024; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 05.02.2024; published online 20.03.2024



УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi78.466

## **Особенности применения требований Международной конвенции безопасности высокоскоростных судов к судам малых размеров**

**А.Г. Назаров**

*ORCID: 0000-0002-6313-6277*

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

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности нормирования характеристик высокоскоростных судов малого размера, главным образом пассажирского назначения, с учетом перспектив их развития в РФ. Проанализированы определения высокоскоростных и легких судов из разных нормативных документов. Установлено, что большинство пассажирских и прогулочных судов малого размера являются высокоскоростными, и относятся ко второму уровню ускорений при столкновении, что определяет ограничения по их компоновке. Отмечены особенности обеспечения непотопляемости, затронуты результаты расследования аварий, повлиявшие на современные нормативы. Выявлены критерии непотопляемости, которые требуют корректировки применительно к судам малого размера. Уделено внимание постам управления судном, показана противоречивость требований в т.ч. к обзору и компоновке постов. Приводятся примеры проектов на основе опыта работы с зарубежными правилами. Для российских классификационных обществ сформулированы предложения по совершенствованию требований.

**Ключевые слова:** малые суда, высокоскоростные суда, легкие суда, непотопляемость, пост управления

## **Specifics of application of requirements of International code on safety of high-speed craft to small craft**

**Albert G. Nazarov**

*ORCID: 0000-0002-6313-6277*

*AN Marine Consulting, Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The paper reviews the features of regulating the characteristics of small high-speed craft, mainly for passenger purposes, considering the prospects of their development in the Russian Federation. The definitions of high-speed and light craft from various regulatory documents are analyzed. It has been established that most small size passenger and pleasure craft are high-speed, and belong to the second level of acceleration during a collision, which determines the limitations on their layout. The features of ensuring unsinkability are noted, the results of accidents investigation that influenced modern standards are touched upon. The criteria of unsinkability have been identified, which require adjustments in relation to small craft. Attention is paid to the craft's control posts, the inconsistency of requirements, including to visibility and posts layout, is shown. Project examples based on the experience of working with foreign rules are given. For Russian classification societies, proposals to improve the requirements have been formulated.

**Keywords:** small craft, high-speed craft, light craft, unsinkability, control station

### Введение

Суда малых размерений традиционно находят применение для служебных и профессиональных целей, туризма, отдыха на воде и т.д. Особый интерес в РФ в последние годы вызывает постройка пассажирских судов; большинство из них имеют длину до 35м и соответствуют определению высокоскоростных судов (ВСС).

Современное определение ВСС официально введено IMO в HSC Code [1]; оно же используется в соответствующих правилах РС [2]. Согласно определению, критерием ВСС является скорость судна  $v$  в м/с, с величиной  $v \geq 3,7V^{0.1667}$ , где  $V$  – водоизмещение судна,  $m^3$ .

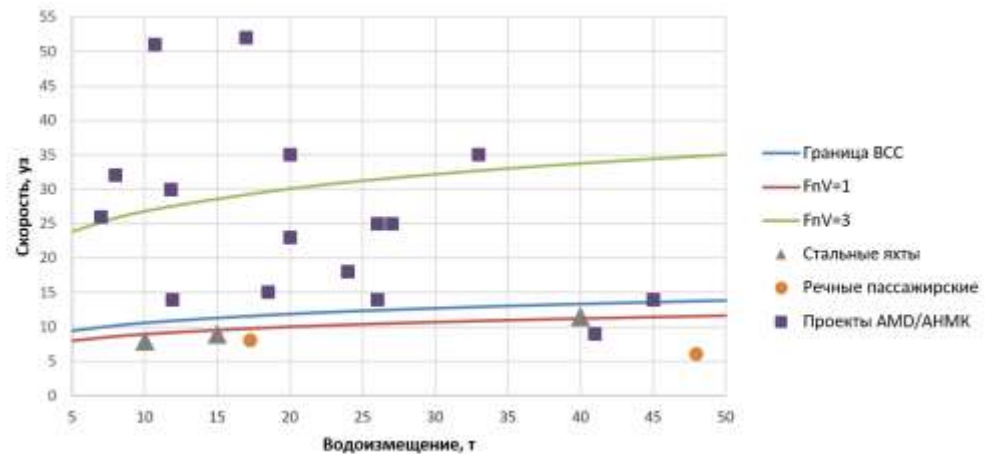


Рис.1. Скорости малых судов, показаны граница ВСС и числа Фруда по водоизмещению  $F_{пV}$  для переходного и глиссирующего режимов



Рис.2. Малые пассажирские суда по проектам AMD зарубежной постройки: а – катамаран пр.SG14 (Австралия); катамаран пр.BNTM16 (Индия)

Отметим, что изначально кодекс HSC [1] разрабатывался для сравнительно крупных ВСС, совершающих международные рейсы; такие суда в РФ пока не строятся. По приведенному выше критерию оказывается, что высокоскоростным является практически любое малое судно (т.е. судно длиной до 24м), кроме, пожалуй, судов со стальным корпусом (см.рис.1, где для удобства скорость приведена в узлах  $v_s=1,94v$ ), в частности стальных яхт и тихоходных речных пассажирских судов, а также тихоходных судов с электродвижением. Указанное обстоятельство учитывается при практическом проектировании судов коммерческого назначения для рынка РФ. При этом, следует объективно оценивать применимость отдельных положений правил [1,2], понимать их смысл и происхождение. Интересен опыт проектирования

аналогичных судов для юрисдикций, где существуют отдельные нормативные документы для малых коммерческих судов (рис.2). В конечном итоге, необходимо выполнить усовершенствования нормативных документов отечественных классификационных обществ (КО), с целью повышения эффективности и безопасности судов рассматриваемого типа.

**«Легкие» суда**

Идеология правил постройки и классификации ВСС оказалась полезным инструментом для всех коммерческих судов малых размерений, независимо от скорости. Многие КО ввели дополнительную нотацию ‘light craft’ или ‘light ship’; при этом их правила называются HSLC (high speed and light craft). Указанная нотация, как правило, применяется при выполнении следующих условий:

- Судно соответствует критерию «легкого» (см.табл.1)
- Судно не совершает международных рейсов
- Либо судно является грузовым вместимостью менее 500

*Таблица 1*

**Критерии «легкого» судна**

Правила	Нотация	Критерий
IRS HSLC [3]	легкое судно (скорость в узлах)	$v \geq 4.8\Delta^{1/6}$
DNV HSLC [4], KR [5]	легкое судно	$\Delta \leq (0.13LB)^{1.5}$
LR SSC [6]	судно легкого водоизмещения	$\Delta \leq 0,04(LB)^{1.5}$
CCS HSC [7]	судно легкой конструкции	$2.36 \leq v/\sqrt{L}$

Применение нотации «легкое судно» подразумевает адаптацию требований HSC Code; в частности, это относится к компоновке судов, непотопляемости и оборудованию.

**Уровни ускорений**

Конвенция HSC [1] и производные от нее правила КО содержат требования к компоновке судовых помещений, в частности салона, зависящие от а) расчетного уровня ускорений при столкновении  $g_{coll}$  и б) расчетной носовой повреждаемой зоны. Расчетное ускорение  $g_{coll}$  вычисляется по формуле (значение  $g_{coll}$  не должно приниматься более 12):

$$g_{coll} = 1.2 \left( \frac{P}{g\Delta} \right) \tag{1}$$

Величина  $P$  является функцией материала и размеров судна, и определяется через ускорение  $g$ , кинетическую энергию судна  $E$  при скорости столкновения  $V_{imp}$ :

$$E = 0.5\Delta \cdot V_{imp}^2 \tag{2}$$

где  $L$  – длина судна;  $V_{imp}$  – скорость судна при столкновении, м/с, принимается 60% от максимальной скорости;  $\Delta$  – водоизмещение судна, т; среднее между полным водоизмещением и водоизмещением с минимальной нагрузкой.

- Уровень ускорений 1 ( $g_{coll} < 3$ ) – допускает применение диванов, сидений с низкой спинкой, столов, направление сидений, баров, киосков, багажа - без ограничений.
- Уровень ускорений 2 ( $g_{coll} = 3 \dots 12$ ) – сиденья с высокой спинкой ориентированы вперед или назад (одобренного типа), привязные ремни или ограничивающие конструкции, крепление массивных предметов, киоски и бары на кормовой стороне переборок и т.д.

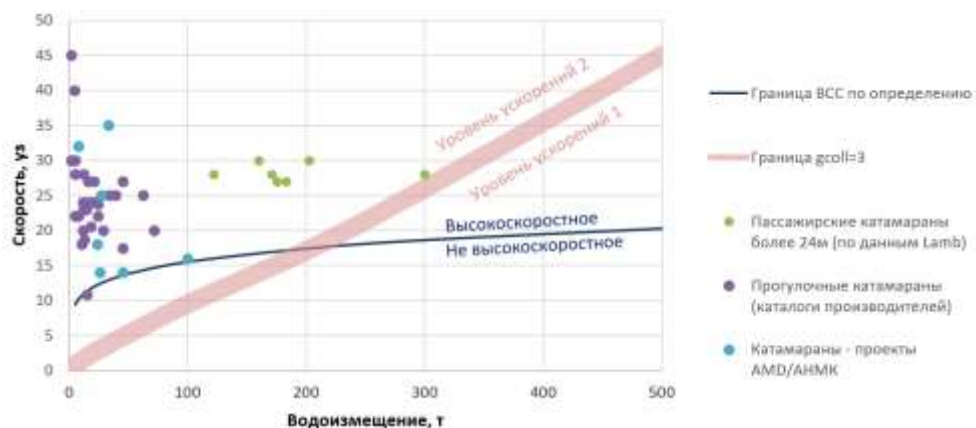


Рис.3. Определение границы уровней с привязкой к существующим судам

На рис.3 представлены результаты оценки уровней ускорений 1 и 2 применительно к реально существующим судам; из проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- Суда водоизмещением менее 200т могут иметь только уровень ускорений 2;
- Суда с уровнем ускорений 1 в имеющейся статистике отсутствуют.



Рис. 4. Катамаран Sydney Seabird пр. Н48 по NSCV категории D на 36 пассажиров. По ускорениям формально соответствует уровню 2, но имеет компоновку салона, кормовой палубы и флайбриджа с диванами, что улучшает потребительские качества судна для увеселительных прогулок

Можно утверждать, что требования уровня 1 изначально не предназначены для судов малого размера. В то же время, применение к ним требований уровня 2 делает их не привлекательными для туризма, т.к. подобные суда предполагают активности на борту, отличные от сидения в креслах. Причем, можно еще согласиться с необходимостью размещения пассажиров в креслах «одобренного типа» на скорости более 20...25 узлов, но ведь под уровень 2 попадают также и суда с абсолютными скоростями движения всего 10...15 узлов. Напомним, что при движении, например, в городском автобусе со стоящими в салоне пассажирами или в сиденьях без подлокотников с низкими спинками допускаются гораздо более высокие скорости.

Зарубежные нормативы позволяют не учитывать требования HSC [1] в компоновке судов местного сообщения. Например, австралийский стандарт NSCV [8] допускает даже наличие стоящих в салоне пассажиров, при продолжительности маршрута менее 60 минут. В SCV Code [9] пассажировместимость также исчисляется для сидячих и стоячих пассажиров, в зависимости от числа сидений, площади палубы

и длины поручней. Стандарт VTT [10] требует наличия сиденья для каждого пассажира, но требования значительно менее жесткие, чем в HSC [1]. Можно также обратить внимание, что на рис.3 для значительной группы прогулочных (рекреационных) судов характерны «яхтенные» планировки с диванами и т.д.; в зарубежной практике такие суда могут иметь на борту 30 и более пассажиров, но к ним не применяются требования из HSC Code [1],

В качестве меры совершенствования отечественных нормативных документов, предлагается применять требования уровня 2 в полном объеме только к коммерческим судам, имеющим абсолютную скорость более 20 узлов, что, кстати, примерно соответствует границе «скоростного судна» 35км/ч по правилам РКО [11].

### **Непотопляемость**

Кодекс HSC [1] содержит довольно жесткие требования к непотопляемости, которые вызывают сложности у проектировщиков ВСС малого размера. Интересно сравнить требования к непотопляемости документа образца 1994 года и существующие сегодня (см.табл.2), введенные с учетом опыта расследования двух аварий [12].

Первая из них произошла в 1994 году с катамараном Condor 11 (длина 78м, 600 пассажиров, скорость 36уз) во время ходовых испытаний. Судно на большой скорости село на мель у берегов Тасмании, повредив корпус и простояло на скале около 6 месяцев, после чего вернулось на верфь для проведения ремонта.

Вторая из аварий - посадка на скалы 41-метрового катамарана StMalo (Франция) в 1995, совершавшего рейс с острова Джерси в Ла-Манше с 307 пассажирами на борту. Жертв удалось избежать, но 55 человека получили травмы в период эвакуации. После повреждения значительной части днища полукорпуса, судно получило сильный крен на левый борт; правый корпус начал выходить из воды. Это затруднило использование выходов и спуск в спасательные плоты, в результате люди вынуждены были прыгать в воду с высоты 2...4м. При температуре забортной воды 6°С, пассажиры, особенно пожилого возраста, получили травмы и переохлаждение.



Рис.5. Катамаран Condor11 после аварии



Рис.6. Катамаран StMalo после аварии

Таблица 2

**Сравнение предшествующих и настоящих требований к непотопляемости пассажирских ВСС типа «А»**

Требование к непотопляемости	Редакция HSC Code 1994 года	Современная редакция
Повреждение зоны днища	Разрезающее повреждение не рассматривается. Повреждение днища наименьшее из 0.1L или (3м+0.03L) или 11м	Разрезающее повреждение 55% длины днища судна от штевня; разрезающее повреждение L/2+10% в других местах днища*
Высота заливания отверстий после повреждения судна	не менее 300мм	Не менее 50% от высоты значительных волн

\* - для судов длиной до 50м

Таким образом, именно указанные две аварии легли в основу требований HSC Code о «разрезающем» повреждении днища, согласно которому на пассажирских судах длиной до 50м типа «А» требуется обеспечивать:

- непотопляемость и отсутствие избыточного крена при повреждении 55% длины судна от носовой оконечности или в других местах (п.2.6.9 [1]);
- обеспечение высоты заливания в поврежденном состоянии не менее 50% от допускаемой значительной высоты волны  $H_{1/3}$  (п.2.6.12.1 [1]).

Именно эти требования являются наиболее проблемными для ВСС малого размера, что заставляет заполнять отсеки пенопластом, либо устраивать двойное дно; они делают невозможным доступ к конструкции для обслуживания, а также существенно уменьшают полезный объем машинного отделения. С другой стороны, в приведенных выше авариях речь идет о сравнительно крупных судах (78 и 41м), с высокими палубами и с большим количеством пассажиров. На судах меньшего размера указанные проблемы, возникающие из-за эвакуации с высокого борта судна, не будут актуальны.

С точки зрения автора статьи, критерий высоты заливания в форме HSC Code [1] применительно к судам малых размеров выглядит абсурдно, поскольку высота заливания после повреждения значительно превышает требования к высоте заливания

судна в неповрежденном состоянии. Например, по ГОСТ-ISO12217 минимально допустимая высота заливания для палубного судна категории «В» должна составлять  $L_H/17$ , но не менее 0,4м. Точно такие же требования содержатся в VTT [10], а китайские CCS HSC [7] допускают использование стандартов ISO для проектирования судов длиной до 24м.

В качестве примера, рассмотрим судно длиной 14м с категорией В по [13]:

- При разрешенной для категории высоте волны  $H_{1/3}=4,0$ м минимальная высота заливания в неповрежденном состоянии составляет  $h_D \geq 0,82$ м.
- В то же время, если рассматривать это же судно по HSC Code [1] и PC BCC [2], то требуется обеспечить высоту заливания 50% от разрешенной высоты волны, т.е.  $h_{Dзат} \geq 2,0$ м в поврежденном состоянии (это с учетом погружения судна в воду!).

Таким образом, рассматриваемое требование к высоте заливания в поврежденном состоянии явно завышено для судов малого размера.

При этом, австралийские требования NSCV [8] для судов, не совершающих международных рейсов, применяют критерии остойчивости и непотопляемости, в целом аналогичные HSC Code [1]. Однако в NSCV есть и существенные отличия:

- Случаи повреждения днища рассматриваются только если осадка с выступающими частями превышает 4м, либо судно имеет более 50м в длину;
- Высота заливания отверстий в поврежденном состоянии  $h_{Dзат}$  должна быть не менее 75мм плюс требуемая высота комингсов, составляющая 100...300мм в зависимости от категории судна, для судов длиной до 24м.
- Размер повреждения – в зависимости от категории, составляет  $(0,10...0,15)L$  для судов длиной до 30м.

Индийские правила IRS HSLC [3] рассматривают непотопляемость судов с нотацией HSLC и LC по отдельным критериям, изложенным в главах 6 и 7 [3]; то есть указанные проблемные требования из HSC Code [1] к ним вообще не применяются. Применение смягченных требований NSCV и IRS подтверждены практикой работы автора с проектами, представленными на рис.2 а и б. Аналогичные требования к не конвенционным BCC присутствуют в правилах других юрисдикций.

Общие предложения автора по изменениям в подходах к оценке непотопляемости малых судов изложены в [14]. По мнению автора, требования к непотопляемости для BCC малого размера или «легких судов» в правилах российских КО должны быть пересмотрены в сторону меньшей предписанной длины повреждения, отказа от случая разрезающего повреждения днища и изменения высоты заливания в поврежденном состоянии. Подобное же мнение выражает в [12] австралийское КБ «Seaspeed Marine Consulting» и ряд экспертов, в т.ч. разработчики HSC Code: «следует пересмотреть размер разрезающего повреждения днища для легких судов, которые не являются конвенционными HSC, чтобы установить послабления к существующим требованиям... коммерческая выгода от этого может быть значительной, и поэтому вопрос является важным».

### **Посты управления**

Еще одной областью, в которой возникают сложности с применением HSC Code [1] и PC BCC [2] является требования к посту управления судном. Например, согласно [1,2] поверхность воды с поста управления должна просматриваться, чтобы «мертвая зона» составляла не более одной длины судна в секторе  $90^\circ$  от носа с каждого борта, независимо от осадки судна, дифферента и палубного груза. Для обеспечения такой зоны в направлении траверза судна и при размещении судоводителя в ДП, необходимо выполнить следующее условие:

$$h_e = \frac{F + h_w}{2L/B}$$

где  $h_e$  – высота глаза судоводителя над поверхностью воды, м;  $h_w$  – высота ограничивающей обзор конструкции судна над палубой, м;  $F$  – высота надводного борта, м;  $L$  и  $B$  – длина и ширина судна, м. Очевидно, что суда малого размера имеют специфические пропорции: надводный борт относительно длины значителен и составляет  $F/L=0,08\dots0,13$ , а относительная ширина мала  $L/B=2\dots4$ . Это приводит к тому, что величина  $h_e/L$  должна быть велика по сравнению с таковой для более крупных судов. Это обстоятельство, а также необходимость обзора в корму требует развитой рулевой рубки, возвышающейся над крышей пассажирского салона, что противоречит соображениям эстетики, обеспечения остойчивости и адекватной парусности надводной части. Это также не вписывается в ограничения надводного габарита, т.к. суда малых размеров часто эксплуатируются под мостами. Сравнение требований к постам управления применительно к судам длиной до 24м представлено в табл.3.

Касательно кругового обзора с поста управления, в HSC Code [1] допускается применение альтернативных средств для обеспечения обзора (в частности камер, датчиков расстояния или зеркал). К сожалению, в PC BCC [2] эта возможность не прописана. Разбор столкновения BCC Turphoon Clipper и рабочего катера Alison [15] свидетельствует, что даже при соответствии требованиям к физическому обзору в акваториях, где возможно движение маломерных судов, нельзя игнорировать технические средства обеспечения обзора.

Снова процитируем зарубежных коллег [12]: «полное поле обзора на 360 градусов с мостика является требованием HSC Code, которое оказывает непосредственное влияние на компоновку судна, часто требуя дополнительной половины высоты палубы... Хотя такой диапазон обзора рассматривается как явное преимущество, все более широкое использование и разработка камер и другого электронного сенсорного оборудования для ситуационной осведомленности могут стать способом обеспечения 360° обзора».

Таблица 3

**Сравнение некоторых требований к посту управления**

Параметр	HSC Code	PC BCC	NSCV	ГОСТ-ИСО11591
Область видимости	Поверхность воды на расстоянии $L$ в секторе $-90\dots90^\circ$	Поверхность воды на расстоянии $L$ в секторе $-90\dots90^\circ$	$\min\{4L,50\text{м}\}$ в нос; горизонт виден в секторе $-112,5\dots112,5^\circ$	$\min\{4L,50\text{м}\}$ в нос; горизонт виден секторе $-112,5\dots112,5^\circ$
Обзор в корму	Физический круговой обзор или технические средства	Физический круговой обзор или несколько постов	Физический или технические средства	Физический или технические средства
Наклон стекол	Наклон должен обеспечивать отсутствие бликов	Требуется наклон $10\dots25^\circ$	Нет требований	Нет требований
Размещение поста	Используется только для управления судном	Не допускается доступ пассажиров	Допускается в салоне на судах длиной до 24м	Нет требований
Двери из поста	Нет требований	Требуются на палубу и в помещения	Нет требований	Нет требований



Более того, в правила РС ВСС добавлены требования, которых вообще нет в HSC Code. Например, угол наклона остекления рулевой рубки  $10...25^\circ$  по [2], в то время как в HSC Code требуется «обеспечить наклон, обеспечивающий отсутствие бликов» [1]. Как известно, наличие бликов связано со многими факторами, в частности с характеристиками стекла, покрытиями рулевой консоли и подволока над ней, освещения т.д. Указанное требование РС ВСС заимствовано из IMO Res.A708(17) и предназначено для судов длиной более 55м с соответствующей компоновкой ходового мостика. В практике проектирования, остекление с наклоном «наружу» не всегда согласуется с требованиями эстетики малого судна, что также необходимо учитывать.

При проектировании малых ВСС возникает вопрос, может ли пост управления находиться в пассажирском салоне (например, в выгородке), ведь HSC Code [1] такого ограничения не содержит. При ограниченном экипаже, судоводитель с расположенного в салоне поста управления может лучше контролировать пассажиров, а на туристическом судне - еще и вести экскурсию (рис.7 и 8). Австралийские правила NSCV [8] допускают такое размещение поста на судах длиной до 24м.

Для судов малых размеров, существует стандарт ГОСТ-Р-ИСО11591 [16], который полностью учитывает специфику их движения, а именно наличие ходового дифферента, архитектуру судна и т.д. Этот стандарт рекомендуется к внедрению в практике РФ для коммерческих судов длиной до 24м. Для судов длиной до 45м рекомендуется внедрение опыта австралийских NSCV.



Рис.7. Пост управления на пассажирском экскурсионном катамаране в Сиднее (Австралия). По большинству требований показанный пост управления не соответствует РС ВСС [2], тем не менее такие суда успешно эксплуатируются в зоне интенсивного судоходства. Характерно применение «яхтенного» навигационного оборудования.



Рис.8. Пост управления на пассажирском экскурсионном судне в Амстердаме (Нидерланды). Для прохода под мостами судно имеет низкий силуэт. Характерна установка карт-плоттера в стальном ящике для предотвращения краж.

### **Заключение**

Удовлетворение потребностей РФ в пассажирских судах невозможно без снижения сроков и стоимости их проектирования и постройки, а также повышения их эксплуатационных качеств. Можно утверждать, что в отличие от зарубежных трендов [17], в ближайшие годы основой пассажирских ВСС в РФ станут именно суда малых размеров. Это требует совершенствования нормативной базы, являющейся основой для их создания. В то же время, бытовавшая в предыдущие годы ориентация российских нормативов на требования международных конвенций для «больших» судов и «застывший» характер правил приводит к необоснованному удорожанию ВСС, предназначенных исключительно для внутренних перевозок, что нельзя признать обоснованным в новых условиях. Как следствие, в настоящее время, задача доказательства применимости адекватных проектных решений целиком ложится на проектировщика, вынужденного действовать в устаревшем и не учитывающем особенности судов малого размера нормативном поле.

При этом, зарубежные правила как раз допускают разумные отступления от конвенций; например, правила IRS и CCS динамичны и содержат четко прописанные варианты классификации судов малого размера, современных типов, с электродвижением и т.д. Создателям отечественных нормативных документов предстоит проделать большую работу по приведению к реальности противопожарных требований, требований к компоновке, непотопляемости, навигационному оборудованию и т.д. малых ВСС. На основе изложенных в статье материалов, автором подготовлены и направлены нормативные предложения по совершенствованию правил РС ВСС [2].

### **Список литературы**

1. International Code of Safety for High Speed Craft (2000 HSC Code) – IMO, 2008 Edition
2. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. Российский Морской Регистр Судоходства, НД № 2-020101-111, Санкт-Петербург, 2018.
3. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. Indian Register of Shipping, 2021.
4. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV, 2023.
5. Rules and Guidance for the Classification of High Speed and Light Crafts. Korean Register, 2022.
6. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd's Register, 2023.
7. Rules for Construction and Classification of Sea-Going High-Speed Craft. China Classification Society. Beijing, 2022.
8. National Standard for Commercial Vessels (NSCV). Part C, General Requirements. Australian Transport Council, 2016.
9. Code of Safety for Small Commercial Vessels Operating in the Caribbean. International Maritime Organization, SCV CODE, 2017.
10. Guidelines for Commercial Craft. Version 2016.2. VTT Expert Services Ltd., Finland, 2016.
11. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-и томах). Правила классификации и постройки судов (ПКПС). – М.: Российский Речной Регистр, 2019, 1506 с.
12. Proposed amendments to IMO HSC CODE. REPORT SMC 560/01 ISSUE 02, SeaSpeed Design, February 2020.
13. ГОСТ ISO 12217-1-2016 Суда малые. Оценка остойчивости, запаса плавучести и определение проектной категории. Часть 1. Непарусные суда с длиной корпуса 6 м и более, Москва.
14. Назаров А.Г. Особенности обеспечения непотопляемости малых судов//НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА № 58/59, 2020.
15. Report on the investigation of the collision between high-speed passenger catamaran Typhoon Clipper and the workboat Alison adjacent to Tower Millenium Pier, River Thames, London on 5 December 2016. MAIB.

16. ГОСТ-Р ИСО 11591-2011 «Суда малые моторные. Поле обзора с места рулевого», Москва.
17. Schramm C. The world of high-speed ferries. Windfang-Medien, Bremen, 2023.

#### References

1. International Code of Safety for High Speed Craft (2000 HSC Code) – IMO, 2008 Edition
2. Pravila klassifikacii i postrojki vysokoskorostnyh sudov. [Rules for the classification and construction of high-speed craft]. Rossijskij Morskoy Registr Sudohodstva, ND № 2-020101-111, Sankt-Peterburg, 2018.
3. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. Indian Register of Shipping, 2021.
4. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV, 2023.
5. Rules and Guidance for the Classification of High Speed and Light Crafts. Korean Register, 2022.
6. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd's Register, 2023.
7. Rules for Construction and Classification of Sea-Going High-Speed Craft. China Classification Society. Beijing, 2022.
8. National Standard for Commercial Vessels (NSCV). Part C, General Requirements. Australian Transport Council, 2016.
9. Code of Safety for Small Commercial Vessels Operating in the Caribbean. International Maritime Organization, SCV CODE, 2017.
10. Guidelines for Commercial Craft. Version 2016.2. VTT Expert Services Ltd., Finland, 2016.
11. Rossiiskii Rechnoi Registr. Pravila (v 5-i tomakh). Pravila klassifikatsii i postrojki sudov (PKPS) [Rules of classification and construction of ships], – M.: Rossiiskii Rechnoi Registr, 2019, 1506 p.
12. Proposed amendments to IMO HSC CODE. REPORT SMC 560/01 ISSUE 02, SeaSpeed Design, February 2020.
13. GOST ISO 12217-1-2016 Suda malye. Ocenka ostojchivosti, zapasa plavuchesti i opredelenie proektnoj kategorii. [Small craft. Stability and buoyancy assessment and categorization], Chast' 1. Neparusnye suda s dlinoj korpusa 6 m i bolee, Moskva.
14. Nazarov A.G. Osobennosti obespecheniya nepotoplyaemosti malyh sudov. [Specifics of providing unsinkability for small craft] //NAUCHNO-TEHNICHESKIJ SBORNIK ROSSIJSKOGO MORSKOGO REGISTR SUDOHODSTVA № 58/59, 2020.
15. Report on the investigation of the collision between high-speed passenger catamaran Typhoon Clipper and the workboat Alison adjacent to Tower Millenium Pier, River Thames, London on 5 December 2016. MAIB.
16. GOST-R ISO 11591-2011 «Суда малые моторные. Pole obzora s mesta rulevogo», [Small craft, engine-driven – Field of vision from helm position], Moskva.
17. Schramm C. The world of high-speed ferries. Windfang-Medien, Bremen, 2023.

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

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

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

Статья поступила в редакцию 15.02.2024; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 15.02.2024; published online 20.03.2024

УДК 623.828:532.5

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.457>

## **Исследование взаимосвязей между техническими и экономическими характеристиками речных грузовых судов при эксплуатационно-экономическом обосновании**

**А.Ю. Платов**

DOI: 0000-0002-4589-0348,

**Ю.И. Платов**

DOI: 0000-0003-1758-1684

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

**Аннотация.** Одной из проблем эксплуатационно-экономического обоснования является определение экономической эффективности нового судна. Сложность проблемы возрастает для судов смешанного и внутреннего плавания из-за высокой вариативности условий плавания, существенно влияющих на показатели эффективности. Цель статьи заключается в изучении взаимного влияния технических характеристик грузового судна смешанного плавания и экономических показателей его работы при учёте условий плавания на конкретных участках водных путей. Рассмотрены различные технические характеристики и показано, что наиболее комплексным является показатель удельного расхода топлива на тонно-километр. Проведена оценка влияния погрешности прогнозных технических параметров на экономические показатели. Показано, что оптимальность экономических показателей зависит от характеристик водного пути так, что судно, оптимальное на одном водном пути может быть неоптимальным на другом. Также установлено, что оптимальные технические параметры не всегда согласуются с оптимальными экономическими.

**Ключевые слова:** предельная цена судна, срок окупаемости судна, эксплуатационные расходы, экономическая эффективность судна, расход топлива, удельный расход энергии, удельная транспортная работа, обоснование новых судов, грузовые суда внутреннего и смешанного плавания.

## **Study of the relationships between the technical and economic characteristics of river cargo ships during operational and economic feasibility studies**

**Alexander J. Platov**

DOI: 0000-0002-4589-0348,

**Juri I. Platov**

DOI: 0000-0003-1758-1684

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

**Abstract.** One of the problems of operational and economic feasibility is determining the economic efficiency of a new vessel. The complexity of the problem increases for mixed and inland navigation vessels due to the high variability of navigation conditions, which significantly affect efficiency indicators. The purpose of the article is to study the mutual influence of the technical characteristics of a mixed navigation cargo ship and the economic indicators of its operation, taking into account the navigation conditions on specific sections of waterways. Various technical characteristics are considered and it is shown that the most comprehensive indicator is the specific fuel consumption per ton-kilometer. The influence of

the error of forecast technical parameters on economic indicators was assessed. It is shown that the optimality of economic indicators depends on the characteristics of the waterway so that a vessel that is optimal on one waterway may not be optimal on another. It has also been established that optimal technical parameters do not always agree with optimal economic ones.

**Keywords:** maximum price of the vessel, payback period of the vessel, operating costs, economic efficiency of the vessel, fuel consumption, specific energy consumption, specific transport work, justification of new vessels, inland and mixed cargo vessels.

### **Введение**

Определение экономической эффективности новых судов при эксплуатационном обосновании – это одна из центральных проблем, которая не имеет общепризнанного решения. Оценка эффективности проектируемых судов производится с помощью различных экономических показателей, среди которых эксплуатационные расходы на единицу грузоподъёмности или на тонно-километры, себестоимость перевозок, стоимость строительства судна, рентабельность судна, срок окупаемости и т.д.

Известная проблема такой оценки состоит в отсутствии или недостатке экономических данных, что заставляет использовать прогнозные значения цен, объёмов перевозок, стоимости постройки судна и т.д. При оценке эффективности судов внутреннего плавания возникает ещё одна сложность: влияние условий плавания: мелководья, течения, стеснённости водного пути, ограничений скорости на каналах. Как показано в [1] использование простых способов для учёта условий плавания приводит к значительным погрешностям (более 30%) по величине расхода топлива в ходу, что, учитывая высокую долю таких расходов в суммарных эксплуатационных затратах, приводит к недостоверной оценке экономики нового судна.

Способом повышения достоверности оценки экономической эффективности является использование более сложных моделей для описания поведения системы «корпус-двигатели-движители» (КДД). Как показано в [2], это позволяет существенно повысить точность оценки затрат на топливо для проектируемых судов.

Другой ранее предложенный способ повышения достоверности основан на сравнении предельной цены альтернативных проектов судов [3]. Исключение из расчёта строительной стоимости судна, которую проблематично оценивать в силу закрытости данных в российском судостроении, позволяет сравнивать между собой суда близких проектов, для которых можно ожидать незначительного расхождения в строительной стоимости. Тем не менее, для вычисления предельной цены требуются прогнозные значения объёмов перевозок, значения фрахтовых ставок, цены на топливо, а также других расходов в течение нормативного срока службы судна.

Кроме того, достоверность экономических расчётов снижается из-за изменчивости и неустойчивости денежной единицы, что может привести к ошибочной оценке производственных процессов и поэтому необходимо использование дополнительной системы измерителей, в некоторой степени компенсирующей недостатки чисто денежной оценки [4].

Актуальность дополнительной системы оценивания, кроме указанных теоретических соображений подтверждается тем фактом, что новые суда с повышенной полнотой обладают на практике невысокой рентабельностью, несмотря на существующие обоснования их повышенной эффективности по сравнению с судами традиционных обводов [5].

В настоящей работе исследуется возможность повышения достоверности экономического обоснования грузовых судов за счёт применения как экономических, так и технических показателей.

**Показатели экономической эффективности нового судна**

В [3] был предложен следующий показатель для сравнения эффективности проектов судов. Это предельная цена судна  $MP$ , которая определяется по следующему выражению:

$$MP = \sum_{t=1}^T [(I_t - C_t - P_t - A_t)(1 - r) + A_t] \alpha_t - RC \alpha_T, \tag{1}$$

где  $t$  – текущий год прогнозного периода;  $T$  – срок жизненного цикла судна;  $I_t$  – доходы от перевозок грузов в каждом  $t$ -м году эксплуатации судна, тыс. руб.;  $C_t$  – расходы в каждом  $t$ -м году эксплуатации судна, тыс. руб.;  $P_t$  – налог на имущество в  $t$ -м году, тыс. руб.;  $r$  – ставка налога на прибыль, в долях ед.;  $A_t$  – амортизационные отчисления на реновацию в каждом  $t$ -м году, тыс. руб.;  $RC$  – ликвидационная стоимость в последнем году, тыс. руб.;  $\alpha_t$  – коэффициент дисконтирования в каждом  $t$ -м году эксплуатации судна,  $\alpha_T$  – коэффициент дисконтирования в последнем году эксплуатации судна.

Смысл оценки (1) состоит в первую очередь в исключении из набора экономических параметров стоимости постройки судна. Эту стоимость может с достаточной точностью определить только судостроитель. Кроме того, из открытых источников можно видеть, что стоимость постройки судов смешанного плавания в разных странах может отличаться в два раза [6], что лишает смысла использования этого показателя как оценки эффективности именно технического проекта судна.

Для дальнейшего применения показателя (1) представляется целесообразным его упрощение. Для этого нужно, во-первых, учесть льготы при строительстве судов. Во-вторых, не будем учитывать ликвидационную стоимость. В-третьих, можно предположить постоянство экономических условий. Тогда после несложных преобразований получим из (1) следующее выражение:

$$MP = (I_1 - C_1) \sum_{t=1}^T \alpha_t, \tag{2}$$

где  $I_1$  и  $C_1$  – ежегодные доходы и расходы по судну.

При непрерывной работе судна в течение всей навигации продолжительностью  $t_{нав}$  выражение (2) получит вид:

$$MP = Q_3 n_p \mu_{mp} \sum_{t=1}^T \alpha_t, \tag{3}$$

где  $Q_3$  – эксплуатационная загрузка судна, т;  $n_p = \frac{t_{нав}}{t_p}$  – количество круговых рейсов за навигацию;  $t_p$  – время кругового рейса, сут.;  $\mu_{mp}$  – удельная прибыль за рейс, тыс. руб./т, которая вычисляется следующим образом:

$$\mu_{mp} = f - \frac{1}{Q_3} (c_1 B + c_2 t_p + c_3), \tag{4}$$

где  $f$  – фрахтовая ставка, тыс. руб./т;  $c_1$  – цена топлива, тыс. руб. т;  $c_2$  – удельные условно-постоянные расходы, тыс. руб./сут;  $c_3$  – расходы на портовые сборы и прохождение внутренних водных путей, а также прочие прямые расходы, тыс. руб.;  $B$  – расход топлива ГД, а также автономными котлами и вспомогательными двигателями.

Из (4) может быть получена относительная величина, которую будем называть удельной предельной ценой  $mp$ , равной предельной цене, приходящейся на одну тонну груза:

$$mp = MP/Q_э = \mu_{mp} n_p \sum_{t=1}^T \alpha_t. \quad (5)$$

Величины (3)-(5) будут одинаковы либо при постоянном по годам объёме перевозок  $G_r$  и потребности во флоте  $\Phi$ :

$$\Phi = \frac{G_r}{n_p Q_э}, \quad (6)$$

либо при перевозках одним судном максимального количества груза каждую навигацию.

При проектировании близких по параметрам судов величины (3)-(5) могут служить дополнительной характеристикой по оценке эффективности. Однако, неизвестные изменения в стоимостных показателях, а изменчивость условий плавания по водным путям и периодам навигации будут приводить к большим вариациям этих показателей. В результате более эффективное судно на заданном направлении перевозок может оказаться менее эффективным на другом направлении по сравнению с альтернативным проектом.

Возможно ли сопоставить эти стоимостные показатели с некоторыми иными, характеризующими только техническое совершенство нового судна? Рассмотрим это вопрос.

#### **Показатели технического совершенства судна**

Вопрос оценки технического качества судна затрагивался в большом количестве публикаций [7-17]. Можно показать, что наиболее полным в смысле охвата гидродинамических характеристик судна критерием является показатель удельной транспортной работы [17], ткм/кВт-ч:

$$K_Q = \frac{Qv}{N_e}, \quad (7)$$

где  $Q$  – грузоподъемность судна, т;  $v$  – скорость судна, м/с;  $N_e$  – эффективная мощность СЭУ, кВт.

Действительно, данный критерий выражается через ряд других критериев, предлагаемых разными авторами для оценки технического качества судна, следующим образом:

$$K_Q = \eta_r K_D = \frac{\eta_r \eta_n}{r_D} = \frac{1}{g} \eta_R \eta \eta_r \eta_n, \quad (8)$$

где

$\eta_n$  – к.п.д. передачи;

$\eta_r = \frac{Q}{D}$  – коэффициент использования водоизмещения;

$K_D = \frac{Dv}{N_e}$  – пропульсивное качество судна, ткм/кВт-ч;

$\eta = \frac{Rv}{N_p}$  – пропульсивный коэффициент;

$r_D = \frac{R}{D}$  – удельное сопротивление, кН/т;

$\eta_R = \frac{gD}{R}$  – коэффициент гидродинамического качества;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$D$  – массовое водоизмещение, т;

$N_p$  – суммарная мощность на валу гребных винта, кВт;

$R$  – сопротивление воды движению судна, кН.

Обратное значение показателя (1) -  $K_E = 1/K_Q$  – будет равно удельному расходу энергии на единицу ткм.

Критерий (7) не учитывает технического качества главных двигателей (ГД), но лишь техническое качество системы «корпус-двигатели». Для оценки всей системы КДД может служить хорошо известный показатель удельного расхода топлива, г/ткм:

$$K_G = \frac{G}{Qv}, \tag{9}$$

где  $G$  – часовой расход топлива ГД при скорости  $v$ , г/ч. Нетрудно видеть, что с показателем удельного расхода энергии показатель (9) связан соотношением:

$$K_G = g_e K_E, \tag{10}$$

где  $g_e = G/N_e$  – удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч.

На рис. 1 представлены значения величин  $K_G$  и  $K_E$ , вычисленных по данным натурных испытаний сухогрузных и наливных самоходных судов [18, 19].

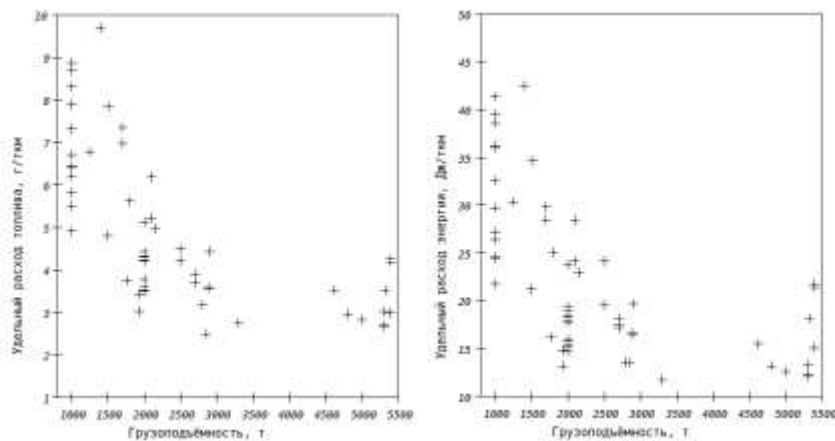


Рис. 1. Зависимость удельного расхода топлива (слева) и удельного расхода энергии (справа) от грузоподъёмности

Из рис. 1 можно видеть хорошо известный закон повышения удельной экономичности судна с ростом его грузоподъёмности. Разброс данных зависит практически полностью от качества системы «корпус-двигатель», а не от качества ГД. Это можно видеть из правого рисунка, в котором нет влияния эффективного к.п.д. ГД.

Прогнозирование мощности при заданных скорости и размерениях судна является известной проблемой обоснования судов. Для примера на рис. 2 приведены результаты прогнозирования удельного расхода энергии  $K_E$  (УРЭ) мощности при заданных скорости и водоизмещении.



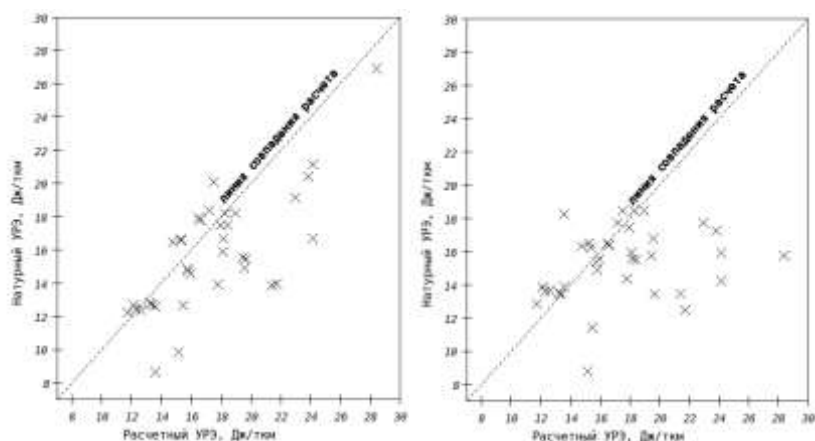


Рис. 2. Прогнозное значение  $K_E$  в сравнении с его точным значением.  
 Слева: при точном значении  $Q$ , справа: при прогнозном

Данные на рис. 2 рассчитывались с помощью следующих регрессионных зависимостей, построенных по натурным испытаниям из судов [18, 19]:

$$Q = -134,64 + 0,756 DW, N_e = 1339 \left( \frac{v}{19,17} \right)^3 \left( \frac{DW}{8160} \right)^{2/3}; \quad (11)$$

где  $DW$  – водоизмещение судна, т.

Средняя погрешность для вычислений показателя  $K_E$  (по сути, это погрешность прогноза потребляемой мощности) на рис. 2 слева составляет 11,1%, а максимальная 36,3%. Аналогичные значения для рис 2. справа – 14,1% и 44,7% соответственно.

Значения погрешностей типичны для прогнозных расчётов, а вовсе не являются следствием применения простых регрессий типа (11). Как показано в [2], все существующие инженерные методы прогноза мощности имеют приблизительно одинаковые средние погрешности. В качестве примера можно заметить, что при прогнозе мощности судна RSD44, выполненным Морским инженерным бюро в апреле 2009 г., была допущена ошибка в 15% в большую сторону.

Это означает, что практическое применение показателей (7) или (9) имеет смысл лишь при сравнении альтернативных проектов. Однако для применения стоимостных показателей эффективности необходимо использовать прогноз мощности, который позволит вычислить расход топлива на ГД. Рассмотрим, как повлияет погрешность прогноза мощности на погрешность прогноза эксплуатационных затрат.

Пусть относительная погрешность прогноза мощности равна  $\delta$ . Будем считать, что погрешность вычисления расхода топлива такая же. Это допущение будет верно, если эффективный к.п.д. двигателя считать постоянным, а прогнозную скорость близкой к точной.

Будем также считать, что расходы на топливо для ГД составляет примерно половину эксплуатационных затрат. Тогда несложно оценить, что относительная погрешность вычисления общих эксплуатационных затрат при точном прогнозировании остальных статей будет составлять  $\delta/2$ . Относительный рост цен на топливо эту погрешность будет только увеличивать.

Рассмотрим, как повлияет эта ошибка на вычисления срока окупаемости. Номинальный срок окупаемости вычисляется при льготировании новых судов по выражению

$$T_{ок} = \frac{K}{I-C}, \quad (12)$$

где  $K$  – стоимость постройки судна,  $I$  – доходы за навигацию,  $C$  – эксплуатационные расходы на навигацию.

Примем, что все величины, кроме расходов определяются точно, а расходы определяются с погрешностью:  $C' = (1 + \frac{\delta}{2})C$ . Тогда абсолютная ошибка определения номинального срока окупаемости будет равна

$$\frac{K}{I-C'} - \frac{K}{I-C} = \frac{\delta}{2} \frac{K}{I-(1+\frac{\delta}{2})C} \frac{1}{r} \approx T_{ок} \frac{\delta}{2r'} \quad (13)$$

где  $r = \frac{I-C}{C}$  – рентабельность судна.

Принимая рентабельность равной 30%, а среднюю погрешность  $\delta = 0,1$  получим, что относительная погрешность прогнозирования срока окупаемости будет в среднем 17%. При максимальной погрешности прогноза мощности (примем 0,4) будем иметь погрешность срока окупаемости – 67%.

Полученные оценки погрешности могут стать значительно больше, так как все остальные показатели, принимаемые в (13) точными, могут иметь также большие отклонения от точных значений.

Если рентабельность будет большой, то ошибка прогноза срока окупаемости станет меньше. Поэтому логично, что востребованность более точных методов прогнозирования растёт в более жёстких экономических условиях.

### Метод исследования

Рассмотрим вопрос о тесноте связи между показателем  $K_G$  и экономическими показателями эффективности  $MP$ ,  $tr$  и  $\mu_{mp}$ . Для вычисления всех этих показателей будем использовать ряд следующих методов.

Как уже говорилось, достоверная оценка экономики судна внутреннего плавания требует учёта условий плавания, а также более сложного моделирования движения судна для адекватного расчёта расхода топлива главными двигателями судна (ГД). Для этого будут применяться модели, описанные в [20].

Достоверность этих моделей подтверждена многолетней практикой. Данные модели использовались для разработки программных комплексов нормирования и рейсового планирования для пароходств «Волготанкер», «Волжского речного пароходства», «БЭСТ». Программный комплекс, внедрённый в пароходство «Волготанкер», эксплуатировался с 1998 г. по 2005 г., а комплекс, созданный для ОАО «Волжское пароходство», эксплуатировался с 2001 г. по 2020 г.

Для исследования использовались данные натурных испытаний грузовых судов внутреннего и смешанного плавания из [18, 19], а также данные натурных испытаний, выполненных в 90-х и 2000-х годах сотрудниками «Волготанкер», «Волжского речного пароходства» Есиным А.И. и Смирновым С.Г. для применения в упомянутых программных комплексах. Примеры некоторых данных по сухогрузным грузовым судам приведены в табл. 1

Таблица 1

Некоторые характеристики сухогрузных судов

Проект	$Q_э$ , т	$v$ , км/ч	$G$ , кг/ч	$K_G$ , г/ткм
507Б	5300	20,2	285,1	2,33
507А	5300	20,0	319,9	2,55
RSD-44	5319	22,0	412,2	3,44
RST54	5395	20,4	461,3	4,10
507Б	5300	20,0	285,1	2,35
1565М	4800	19,2	288,7	2,79

Проект	$Q_э$ , т	$v$ , км/ч	$G$ , кг/ч	$K_G$ , г/ткм
05074М	4800	19,4	316,0	2,64
16510	4760	20,9	370,1	3,42

Значения скорости  $v$  и часового расхода топлива  $G$  получены по натурным испытаниям из [18,19], а также по испытаниям некоторых новых судов. Величина  $K_G$  получена расчётом, при котором выполнена корректировка расхода топлива на скорости  $v$ , а также номинального расхода топлива ГД так, чтобы на номинальном режиме удельный расход топлива был бы равен  $g_e = 192$  г/кВт·ч. Это сделано для того, чтобы исключить из дальнейших расчётов влияние качества ГД и оценивать техническое совершенство только системы «корпус-двигатели». Такая корректировка необходима, так как среди судов в [18, 19] есть очень старые проекты 50-х годов, экономичность двигателей которых существенно хуже современных судовых дизелей.

Кроме того, из табл. 1 можно видеть, что в данных по судам имеются суда одинаковых проектов, за которыми, однако, стоят разные конкретные суда, испытанные в разное время при различных условиях.

Общие эксплуатационные расходы на рейс  $C_p$  считаются по выражению

$$C_p = c_1 B + c_2 t_p + c_3. \quad (14)$$

Цена топлива  $c_1$  принята 50 тыс. руб. за тонну, а портовые сборы  $c_3$  приняты для всех судов одинаковыми в размере 77 тыс. руб., что соответствует данным по 2021 г.

Часовой расход топлива автономным котлом вычисляется по выражению:

$$G_{AK} = 1,1 \cdot 1,15 \frac{q}{H_u \eta_{AK}}, \quad (15)$$

где  $H_u$  – низшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг (принимается 42700);  $\eta_{AK} = 0,96$  – к.п.д. котла;  $q$  – потребность в тепле, кДж/ч; множитель 1,1 – коэффициент учитывающий потери тепла в системе и неучтенные расходы тепла; множитель 1,15 учитывает расход тепла на подогрев масла, топлива и механизмов [21].

Потребность в тепле складывается из потребности на отопление  $q_{от}$ , а также на хозяйственные нужды  $q_{хб}$ .

Потребность в отоплении считается по формуле из [21]:

$$q_{от} = (83800 + 42Q), \quad (16)$$

где  $k = 0,6 + 0,4 \exp(-0,55(t_{воз} + 5))$ ,  $t_{воз}$  – средняя температура воздуха, °С (принята 15°С).

Потребность на хозяйственные нужды вычисляется по выражению [21]:

$$c_{хб} = m_{гв} n c_{вод} (t_{гв} - t_{зв}) / 24, \quad (17)$$

где  $m_{гв} = 70$  – норма расхода горячей воды, л/чел. в сут.;  $n=10$  – численность экипажа, чел.;  $c_{вод} = 4,19$  – теплоёмкость воды, кДж/(кг К);  $t_{гв}=70$  – температура горячей воды, °С;  $t_{зв} = 20$  – температура забортной воды, °С.

Средняя зарплата принимается равной 150 тыс. руб. в месяц, поэтому:

$$c_{зп} = 150n/30. \quad (18)$$

Расходы на КОФ вычисляются по выражению из [22]:

$$c_{КОФ} = n c_{св} q_{св} + n c_{м} q_{м} + c_{нв} q_{нв}. \quad (19)$$

где  $q_{св} = 0,15$  – норма накопления сточных вод, м<sup>3</sup>/чел. в сут.;  $q_m = 0,0023$  – норма накопления сухого мусора и пищевых отходов, м<sup>3</sup>/чел. в сут.;  $q_{нв} = 0,71$  – норма накопления нефтесодержащих вод, м<sup>3</sup>/сут. Значения величин взяты из [22].

Расходы на утилизацию сточных вод, мусора и нефтесодержащих вод приняты по данным Ярославского порта [23] в 2022 г. и равны соответственно:  $c_{св} = 725$  руб./м<sup>3</sup>,  $c_m = 802$  руб./м<sup>3</sup>,  $c_{нв} = 1400$  руб./м<sup>3</sup>.

Расходы на питание определяются по выражению:

$$c_{пит} = 1500n. \tag{20}$$

Время рейса  $t_p$  вычисляется по выражению, ч:

$$t_p = (t_x + t_{шл} + t_{гр}), \tag{21}$$

где  $t_x$  – ходовое время, ч;  $t_{шл}$  – время шлюзования, включая ожидание шлюзования, ч;  $t_{гр}$  – время погрузки и выгрузки, включая ожидание грузовых работ, ч.

Ходовое время рассчитывается с помощью моделей движения [20]. Время шлюзования рассчитывается по методике [24]. Время погрузки и выгрузки рассчитывается по судочасовым нормам. В настоящей работе были приняты нормы для погрузки-выгрузки руды, которые равны 221 т/ч для погрузки и 181 т/ч для выгрузки [25].

Для расчёта других данных принята фрахтовая ставка в размере 2,66 тыс. руб./т., что соответствует среднему значению по отчётности Волжского пароходства за 2021г.

### Результаты расчётов

С помощью описанных выше методов были рассчитаны показатели эффективности для одиннадцати условных направлений перевозок. Время навигации для всех направлений принято равным 180 сут. Работа судна выполнялась круговыми рейсами: грузёным в прямом и в балласте в обратном направлении. В качестве примера в табл. 2 приведены результаты расчёта на участке Череповец-С.-Петербург.

Таблица 2

**Показатели работы судов на участке Череповец-С.-Петербург**

Проект	$B$ , т	$c_2$ , тыс. руб./сут	$t_p$ , ч	$n_p$	$MP$ , млн. руб.	$mp$ , тыс. руб./т	$\mu_{mp}$ , тыс. руб./т
507Б	21,8	283,2	241,5	17	1487,97	280,75	1,89
507А	24,3	283,6	242,1	17	1468,94	277,16	1,87
RSD-44	33,8	314,4	236,2	18	1456,18	273,77	1,74
RST54	40,2	300,2	244,7	17	1362,74	252,59	1,70
507Б	22,1	281,3	242,2	17	1487,46	280,65	1,89
1565M	22,9	272,1	232,3	18	1392,44	290,09	1,85
05074M	23,0	280,2	231,4	18	1382,33	287,99	1,84
16510	28,1	300,5	225,5	19	1379,39	289,79	1,75

Список остальных направлений можно видеть из табл. 3. Там же приведены вычисленные коэффициенты корреляции зависимости экономических показателей (3)-(5) от удельного расхода топлива для судов с грузоподъёмностью больше 4000 т.

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции показателей для судов с  $Q \geq 4000$  т**

Водный путь	Коэффициенты корреляции с $K_G$		
	$MP$	$mp$	$\mu_{mp}$
Вознесенье-Свирица	-0,98	-0,33	-0,95
Самара-Кавказ	-0,81	-0,92	-0,97

Череповец-С.-Петербург	-0,65	-0,62	-0,98
Самара-С.-Петербург	-0,92	-0,98	-0,98
Петрозаводск-С.-Петербург	-0,61	-0,52	-0,97
Череповец-Устье р. Вытегра	-0,63	-0,55	-0,96
Самара-Ростов	-0,89	-0,91	-0,98
С.-Петербург-Архангельск	-0,71	-0,88	-0,97
С.-Петербург-Гамбург	-0,75	-0,92	-0,99
Волгоград-Ростов	-0,86	-0,80	-0,97
Кавказ-Стамбул	-0,71	-0,88	-0,97

Можно видеть, что связь удельного расхода топлива и удельной рейсовой прибыли  $\mu_{тр}$  связаны очень сильно. Связь с  $MP$  тоже очень тесная, но она ослабляется на тех направлениях перевозок, на которых имеются участки с ограничениями по скорости (каналы), а также на сугубо глубоководных участках.

При относительном росте цены на топливо связь ожидаемо становится теснее.

Эти результаты позволяют предполагать, что показатель удельного расхода может служить средством оценки экономической эффективности, независимой от конкретных экономических условий. Иначе говоря, судно более эффективное по показателю  $K_G$  будет в большинстве случаев более эффективным и экономически для любой реалистичной экономической ситуации.

В связи с этим интересно сравнение результатов экономической оценки судов с разной полнотой, выполненных в [5]. В этой работе показано, что наиболее экономически эффективным является судно с полнотой водоизмещения  $\delta = 0,87$ . Авторы провели свои собственные расчёты с использованием вышеописанных методов. Их результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Показатели работы судов типа «Волго-Дон макс» на участке Петрозаводск-С.-Петербург**

Полнота водоизм.	$Q_{э}$ , т	$v$ , км/ч	$G$ , кг/ч	$K_G$ , г/ткм	$MP$ , млн.руб.	$тр$ , тыс. руб./т	$\mu_{тр}$ , тыс. руб./т	$C_{уд}$ , руб./ткм
$\delta = 0,82$	3495	19,5	229	3,36	3882,14	1110,77	2,09	0,98
$\delta = 0,85$	3763	19,5	239	3,25	3899,67	1036,32	2,12	0,92
$\delta = 0,87$	4087	19,5	246	3,09	4312,75	1055,24	2,16	0,86
$\delta = 0,90$	4362	19,5	266	3,13	4581,85	1050,40	2,19	0,81
$\delta = 0,93$	3495	19,5	305	3,37	4747,26	1023,12	2,21	0,77

Для сопоставления с работой [5] приведены также результаты расчёта удельных эксплуатационных затрат, равных отношению затрат за рейс  $C_p$ , определяемых по (1), к расстоянию и грузоподъёмности. Авторы работы [5] использовали в качестве показателя для оценивания судов именно эти удельные затраты, и у них получился минимум для судна с полнотой водоизмещения  $\delta = 0,87$ .

В наших расчётах такого минимума нет, вероятно, из-за неизвестных различий в методике расчёта затрат. Однако показатель  $K_G$  имеет минимум для судна с той же полнотой. По нашему мнению данное совпадение сможет свидетельствовать о том, что исключение ошибок, связанных с вычислением «экономики», повышает достоверность оценки судна.

Представляет также интерес оценка «устойчивости» экономических показателей, под которой будем понимать частоту ситуаций, когда один проект грузового судна эффективнее на одном направлении перевозок, но менее эффективен на другом. Для этого по каждой паре направлений проводилось сравнение между парами проектов судов и подсчитывалось число расхождений в оценке экономических показателей судна.

При сравнении судов грузоподъемностью более 4000 т из 5400 пар в 1070 парах оценки экономических показателей по (3) не совпадают, что составляет 19,8%. Иначе говоря, экономическая оценка для какого-то выбранного направления недостаточна, в то время как показатель  $K_C$  независим от условий плавания.

### **Выводы**

В результате проведенного исследования можно сделать несколько выводов.

Во-первых, при обосновании грузовых судов применение экономических критериев не является гарантией правильности выбора их параметров, как из-за неустойчивости денежной единицы, так и из-за вариабельности условий плавания на различных направлениях.

Во-вторых, использование только технических показателей также может привести к ошибкам из-за возможной высокой погрешности оценки проектных скорости и мощности.

В-третьих, экономические и физические критерии могут давать противоречивые оценки эффективности судов.

Поэтому для обеспечения достоверности и обоснованности выбора параметров судов (грузоподъемность, скорость, мощность, полнота и т.д.) необходимо:

а) проводить серию расчетов с использованием количественных относительных физических и стоимостных критериев и их производных при разных экономических условий, а также условий плавания судов;

б) выбирать наиболее «согласованные» физические и экономические параметры;

в) по выбранным параметрам производить проверку, обеспечивающую максимизацию прибыли или предельной стоимости при изменении экономических условий.

### **Список литературы**

1. Васильева О.Ю., Платов А.Ю. Эксплуатационно-экономическое обоснование параметров речных судов на основе ИТ // Великие реки 2018: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». —2018. — С. 1-4.
2. Васильева О.Ю. Обоснование эксплуатационно-технических характеристик грузовых судов внутреннего плавания на основе критерия энергоэффективности: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.19 / Васильева Оксана Юрьевна. – Нижний Новгород, 2022. - 27 с.
3. Васильева О.Ю., Никулина М.В., Платов Ю.И. Выбор эффективных судов по критерию предельной стоимости при эксплуатационном обосновании // Научные проблемы водного транспорта. — 2021. — №68(3). — С.172 – 181.
4. Сильченко Т.Ю. Точность экономических расчетов при обосновании управленческих решений в производственных системах промышленных предприятий // Экономический вестник Ростовского государственного университета. – 2009. Т.7, № 3. С. 86-89.
5. Карташев А.Б., Сверчков А.В., Щемелинин Л.Г. Экономические аспекты повышения полноты обводов сухогрузных судов смешанного река-море плавания / А.Б. Карташев, А.В. Сверчков, Л.Г. Щемелинин // Транспорт Российской Федерации. – 2018. - №2 (75). С. 38-45.
6. «В Китае для российской компании построят 20 судов проекта Optimax». MediaПалуба, 02.11.2023 – URL: <https://paluba.media/news/60440>. (дата обращения 15.11.2023).
7. Звонков В.В. Судовые тяговые расчёты. — Москва: Речной транспорт, 1956. — 324 с.
8. Судовые тяговые расчёты / Под ред. В.Г. Павленко. — Москва: Транспорт, 1978. — 216 с.
9. Gabrielli G., von Karman T. What price speed? Specific power required for propulsion of vehicles // Mechanical Engineering, ASME. — 1950. — Vol. 72. № 10. — P. 775 – 781.

10. Yong J. Smith R., Hatano L. WHAT PRICE SPEED – REVISITED // *Ingenia*. — 2005. — ISSUE 22. — P.46-51.
11. Ляховицкий А. Г. Гидродинамическая эффективность скоростных судов: проекты и их реализация // *Морские интеллектуальные технологии*. — 2014. — № 2 (24). — Т2. — С. 13 – 19. — ISSN: 2073-7173.
12. Сахновский Б.М. Разработка методологии обоснования проектных характеристик судов смешанного и внутреннего плавания с учетом доминирующих факторов эксплуатации / Сахновский Борис Михайлович. — Санкт-Петербург, 2006. — 319 с.
13. Конаков Г.А. Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота / Г.А. Конаков, Б.В. Васильев; Под ред. Г.А. Конакова. — Москва: Транспорт, 1980. — 311 с.
14. Медведев Ю.М. Оценка эффективности работы двигателей пассажирских судов // *Наука и техника на речном транспорте*. — 1996. — С. 18 – 21.
15. Смирнов Н.Г. Обоснование оптимальных параметров основных элементов СЭУ грузовых судов. — Нижний Новгород, 1996. — 150 с.
16. Проектирование судов внутреннего плавания / Н.К. Дормидонтов, В.Н. Анфимов, П.А. Малый [и др.]. — Ленинград: Судостроение, 1974. — 335 с.
17. Вицинский В. В., Страхов А.П. Основы проектирования судов внутреннего плавания. — Ленинград: Судостроение, 1970. — 453 с.
18. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов. — Москва: Транспорт, 1980. — 424 с.
19. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов. — Москва: Транспорт, 1986. — 205 с.
20. Платов А.Ю. Методология оперативного планирования работы речного грузового флота в современных условиях. — Нижний Новгород, 2010. — 314 с.
21. Иконников С.А., Урланг Ф.Д. Силовые установки речных судов. — Москва: Транспорт, 1971. — 248 с.
22. Злобин Д.С. Совершенствование методов обоснования эксплуатационно-технических параметров судов «река-море» плавания. — Нижний Новгород, 2013. — 151 с.
23. Ярославский речной порт. — Ярославль, 2017. — URL: <https://yarport.com/uslugi/kompleksnoe-obslyuzhivanie-flota.php> (дата обращения: 15.11.2023).
24. Пьяных С.М. Методика нормирования затрат времени судами при прохождении шлюзов // *Труды ГИИВТ. - Горький*, 1972. - Вып. 117. Ч.1 - С. 100–116.
25. Справочник эксплуатационника речного транспорта / Под ред. С.М. Пьяных. — Москва: Транспорт, 1995. — 360 с.

#### References

1. Vasil'eva O.YU., Platov A.YU. Ehkspluatatsionno-ehkonomicheskoe obosnovanie parametrov rechnykh sudov na osnove IT // *Velikie reki 2018: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii. FGBOU VO «VGUVT»*. —2018. — S. 1-4.
2. Vasil'eva O.YU. Obosnovanie ehkspluatatsionno-tekhnicheskikh kharakteristik gruzovykh sudov vnutrennego plavaniya na osnove kriteriya ehnergoehffektivnosti: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.22.19 / Vasil'eva Oksana Yur'evna. — Nizhnii Novgorod, 2022. - 27 s.
3. Vasil'eva O.YU., Nikulina M.V., Platov YU.I. Vyborehffektivnykh sudov po kriteriyu predel'noi stoimosti pri ehkspluatatsionnom obosnovanii // *Nauchnye problemy vodnogo transporta*. — 2021. — №68(3). — S.172 – 181.
4. Sil'chenko T.YU. Tochnost' ehkonomicheskikh raschetov pri obosnovanii upravlencheskikh reshenii v proizvodstvennykh sistemakh promyshlennykh predpriyatii // *Ehkonomicheskii vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta*. — 2009. Т.7, № 3. S. 86-89.
5. Kartashev A.B., Sverchkov A.V., Shchemelinin L.G. Ehkonomicheskie aspekty povysheniya polnoty obvodov sukhogruzykh sudov smeshannogo reka-more plavaniya / A.B. Kartashev, A.V. Sverchkov, L.G. Shchemelinin // *Transport Rossiiskoi Federatsii*. — 2018. - №2 (75). S. 38-45.
6. «V Kitae dlya rossiiskoi kompanii postroyat 20 sudov proekta Optimax». *MediaPaluba*, 02.11.2023 – URL: <https://paluba.media/news/60440>. (data obrashcheniya 15.11.2023).
7. Zvonkov V.V. Sudovye tyagovye raschety. — Москва: Rechnoi transport, 1956. — 324 s.
8. Sudovye tyagovye raschety / Pod red. V.G. Pavlenko. — Москва: Транспорт, 1978. — 216s.

9. Gabrielli G., von Karman T. What price speed? Specific power required for propulsion of vehicles // Mechanical Engineering, ASME. — 1950. — Vol. 72. № 10. — P. 775 – 781.
10. Yong J. Smith R., Hatano L. WHAT PRICE SPEED – REVISITED // Ingenia. — 2005. — ISSUE 22. — P.46-51.
11. Lyakhovitskii A. G. Gidrodinamicheskaya ehffektivnost' skorostnykh sudov: proekty i ikh realizatsiya // Morskie intellektual'nye tekhnologii. — 2014. — № 2 (24). — Т2. — S. 13 – 19. — ISSN: 2073-7173.
12. Sakhnovskii B.M. Razrabotka metodologii obosnovaniya proektnykh kharakteristik sudov smeshannogo i vnutrennego plavaniya s uchetom dominiruyushchikh faktorov ehkspluatatsii / Sakhnovskii Boris Mikhailovich. — Sankt-Peterburg, 2006. — 319 s.
13. Konakov G.A. Sudovye ehnergeticheskie ustanovki i tekhnicheskaya ehkspluatatsiya flota / G.A. Konakov, B.V. Vasil'ev: Pod red. G.A. Konakova. — Moskva: Transport, 1980. — 311 s.
14. Medvedev YU.M. Otsenka ehffektivnosti raboty dvizhitelei passazhirkikh sudov // Nauka i tekhnika na rechnom transporte. — 1996. — S. 18 – 21.
15. Smirnov N.G. Obosnovanie optimal'nykh parametrov osnovnykh ehlementov SEHU gruzovykh sudov. — Nizhnii Novgorod, 1996. — 150 s.
16. Proektirovanie sudov vnutrennego plavaniya / N.K. Dormidontov, V.N. Anfimov, P.A. Malyi [i dr.]. — Leningrad: Sudostroenie, 1974. — 335 s.
17. Vitsinskii V. V., Strakhov A.P. Osnovy proektirovaniya sudov vnutrennego plavaniya. — Leningrad: Sudostroenie, 1970. — 453 s.
18. Rukovodstvo po teplotekhnicheskomu kontrolyu seriinykh teplokhodov. — Moskva: Transport, 1980. — 424 s.
19. Rukovodstvo po teplotekhnicheskomu kontrolyu seriinykh teplokhodov. — Moskva: Transport, 1986. — 205 s.
20. Platov A.YU. Metodologiya operativnogo planirovaniya raboty rechnogo gruzovogo flota v sovremennykh usloviyakh. — Nizhnii Novgorod, 2010. — 314 s.
21. Ikonnikov S.A., Urlang F.D. Silovye ustanovki rechnykh sudov. — Moskva: Transport, 1971. — 248 s.
22. Zlobin D.S. Sovershenstvovanie metodov obosnovaniya ehkspluatatsionno-tekhnicheskikh parametrov sudov «reka-morE» plavaniya. — Nizhnii Novgorod, 2013. — 151 s.
23. Yaroslavskii rechnoi port. — Yaroslavl', 2017. — URL: <https://yarport.com/uslugi/kompleksnoe-obslyuzhivanie-flota.php> (data obrashcheniya: 15.11.2023).
24. P'yanykh S.M. Metodika normirovaniya zatrat vremeni sudami pri prokhozhenii shlyuzov // Trudy GIIVT. - Gor'kii, 1972. - Vyp. 117. CH.1 - S. 100–116.
25. Spravochnik ehkspluatatsionnika rechnogo transporta / Pod red. S.M. P'yanykh. — Moskva: Transport, 1995. — 360 s.

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

**Платов Александр Юрьевич**, д.т.н., доцент, профессор кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [platofff@mail.ru](mailto:platofff@mail.ru)

**Alexander J. Platov**, Dr. Sci. Tech, professor of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950

**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](mailto: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](mailto:platov_ji@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 18.12.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 18.12.2023; published online 20.03.2024



УДК 656.62: 504.054

DOI: 10.37890/jwt.vi78.458

## **Элементы технологии переработки и утилизации пищевых отходов при эксплуатации судов**

**В.И. Решняк**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0003-0639-9684

**О.Л. Домнина**<sup>2</sup>

ORCID: 0000-0002-9098-313X

**Н.Б. Сатина**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, г. Санкт Петербург, Россия

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

**Аннотация.** Настоящая статья посвящена проблеме защиты окружающей среды от загрязнения пищевыми отходами, которая наиболее актуальна для объектов водного туризма, а также малых и удаленных поселений. Авторами предложено при решении проблемы пищевых отходов рассматривать процесс их образования как полный процесс существования продуктов питания с учетом их перемещения в пространстве и превращений, в результате которых образуются отходы. Такой подход позволил установить основные стадии этого процесса – подготовка к приготовлению, приготовление, употребление. Показано, что на каждой из них образуются отходы в разном количестве и разного свойства. Показано также, что эти факторы, в свою очередь, определяют наиболее эффективные технологии и средства переработки и утилизации пищевых отходов. Авторы предлагают, управляя перемещением образующихся отходов с учетом их количества и качества, осуществлять формирование технологии и средств для переработки и утилизации отходов. Преимущества данного подхода подтверждены примерами экологистических решений, которые учитывают образование отходов в процессе превращения продуктов питания, а также их перемещения в пространстве, что одновременно обеспечивает наличие разных вариантов решения проблемы отходов для каждого конкретного объекта, в том числе и таких, как объекты водного туризма. Наличие разных вариантов решения проблемы утилизации отходов обеспечивает возможность выбора наиболее эффективного из них с учетом условий организации.

**Ключевые слова:** пищевые отходы, экологистические решения, выбор, технология переработки и утилизации.

## **Elements of technology for processing and disposal of food waste during the operation of ships**

**Valery I. Reshnyak**<sup>1</sup>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0639-9684>

**Olga L. Domnina**<sup>2</sup>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9098-313X>

**Natalia B. Satina**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, St. Petersburg, Russia

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

**Abstract** This article is devoted to the problem of environmental protection by food waste, which is most relevant for water tourism facilities, as well as small and remote settlements. The authors propose, when solving the problem of food waste, to consider the process of their formation, examining the complete process of existence of food products, taking into account their movement in space and transformations, as a result of which waste is formed.

This approach allowed us to establish the main stages of this process – preparation for cooking, preparation, and consumption. It is shown that each of them generates waste in different amounts and of different properties. It is also shown that these factors, in turn, determine the most effective technologies and means of processing and recycling food waste. The authors propose, by managing the amount of waste generated, taking into account the quality, to form technologies and means for recycling and disposal of waste. The advantages of this approach are confirmed by examples of ecological solutions that take into account the formation of waste in the process of food transformation, as well as their movement in space, which simultaneously ensures the availability of different solutions to the waste problem for each specific object, including such as water tourism facilities. The availability of different options for solving the waste problem provides the opportunity to choose the most effective solution in the context of organizing a solution to the problem of food waste.

**Keywords:** food waste, environmental solutions, choice, processing and disposal technology.

### **Введение**

В настоящее время уже накоплен определенный опыт в области обеспечения безопасного обращения с отходами. В частности, в России принят ряд законодательных актов, направленных на регулирование процессов образования и дальнейшего обращения с отходами [1-4]. Эта проблема также находит отражение в природоохранном законодательстве в области эксплуатации объектов водного транспорта [5,6]. В частности акты международного законодательства [5] устанавливают правила сброса отходов, образующихся на судах, за бортом в зависимости от их вида, а также от районов моря, в которых находятся суда. Эти требования снижают отрицательное влияние отходов на окружающую морскую среду. Правила Предотвращения загрязнения с судов Российского Речного Регистра [6] содержат требованиями о необходимости раздельного хранения пищевых и непищевых отходов.. Также допускаются сжигание мусора и его измельчение при наличии соответствующего оборудования.

В сфере существования объектов проживания людей – населенных пунктов, в основу организации решения проблемы отходов положена деятельность региональных операторов по обращению с твердыми коммунальными (ранее бытовыми) отходами, основными функциями которых являются сбор, транспортировка, переработка, сжигание, захоронение, утилизация отходов. При этом одним из базовых принципов решения проблемы отходов является раздельный сбор отходов. Основными видами отходов при таком разделении являются пластик, бумага, стекло, одежда, вышедшая из употребления. Пищевые отходы рассматривают в конечном их состоянии и без учета особенностей образования отходов, связанных с перемещением продуктов питания в пространстве.

Продолжаются исследования и совершенствование процесса регулирования исследуемой проблемы в области водного туризма [7,8], который имеет значительные перспективы и возможности развития, включая появление его новых форм, а также привлечение большего количества туристов и отдыхающих. Например, одними из перспективных форм являются туристические проекты с использованием плавучих гостиниц, береговых баз отдыха на маршрутах активного отдыха. Такие объекты являются источником образования отходов, значительная часть которых представляет собой пищевые. Исследуя проблему отходов на указанных объектах следует обратить внимание, что плавучие гостиницы, базы отдыха и другие подобные объекты находятся вдали от населенных пунктов и зоны действий региональных операторов по обращению с бытовыми (коммунальными) отходами. В таких условиях становится актуальным исследование и разработка способов и средств переработки пищевых отходов локального применения, которые будут основаны на оптимальных для каждого конкретного случая экологистических решениях, учитывающих

перемещение продуктов питания в пространстве, а также их превращение, в результате которых образуются отходы.

### **Методы**

В качестве методов исследования проблемы обеспечения безопасного обращения пищевыми отходами использован системный подход, предполагающий изучение всего процесса существования продуктов питания и образования отходов с учетом места его осуществления.

Такой подход позволяет проследить весь цикл существования продуктов питания как многостадийный процесс.

В начале этого процесса продукт питания находится в состоянии, в котором хранится складах магазинов, хранилищ, оптовых баз снабжения, то есть перед непосредственной передачей потребителю. Конечным состоянием продуктов питания является их состояние в виде пищевых отходов. При этом необходимо обратить внимание, что в общем случае продукты питания могут находиться в разных промежуточных состояниях во время подготовки к приготовлению, процесса приготовления, непосредственно употребления продукта питания, и, наконец – образования остатков после употребления в пищу (см. рис.1).

### **Результаты и обсуждение**

Анализ отдельных стадий существования продуктов питания и образования отходов указывает на наличие следующих особенностей наблюдаемых процессов.

На разных стадиях существования каждый вид продуктов питания претерпевает превращение, в результате чего меняется его качество, а также образуются отходы. Количество образующихся отходов и их свойства также являются разными для этих стадий.

Как показано на рис.1, можно выделить три основные группы отходов, которые образуются в результате трех основных операций с продуктами питания: подготовка к приготовлению, собственно приготовление и употребление приготовленных продуктов питания.

Характер образования отходов определяется технологическими и потребительскими факторами, а также ментально-культурным. Например, одним из основных технологических является необходимость чистить овощи при подготовке их к приготовлению. Количество отходов будет определяться их видом, качеством и количеством обрабатываемых овощей и способом очистки. Как правило, на этой операции образуется наибольшее (до 95%) по сравнению с другими операциями (см. рис.2) во всем цикле существования продуктов питания количество отходов. Потребительский фактор отражает способы обработки при подготовке к приготовлению, собственно приготовления, а также употребления приготовленного продукта питания.



Рис. 1. Процесс существования продуктов питания и образования отходов

Ментально-культурный характеризует культуру потребления приготовленных продуктов питания и, как правило, определяет количество отходов, остающееся после употребления приготовленных продуктов питания в пищу. Эта доля отходов может быть разной, но ее можно снижать до минимума, например, повышая культуру употребления пищи или предлагая разные способы организации процесса потребления пищи, например, так называемый, «шведский стол».

Кроме того, можно заметить, что перемещение продуктов питания может осуществляться по разным потокам, которые характеризуются разным количеством перемещаемых продуктов питания, а, следовательно, и разным количеством образующихся отходов. Например, при приобретении продуктов питания населением происходит их распределение на большое количество потоков (в каждую семью), каждый из которых характеризуется незначительным количеством – порядка единиц килограмма. Объекты организации питания для большого количества людей – предприятия и организации, воинские части, городские пункты общественного питания и другие, перерабатывают большие количества (иногда до десятков и сотен килограмм) продуктов питания и на них образуется большее количество отходов.

Установленные выше особенности процесса существования продуктов питания и образования отходов позволяют определить технологии и средства (устройства) для переработки отходов – сбора, временного хранения, подготовки к утилизации, утилизация и другие способы переработки отходов [9-12].

Технология собственно утилизации определяется свойствами утилизируемой субстанции и ее количеством, а также зависит от места осуществления операций, при которых образуются отходы и интенсивности их образования. Поэтому необходимость разделения отходов на компоненты  $w_i$  возникает в результате различия свойств субстанции отходов, появляющихся в цикле существования продуктов питания.

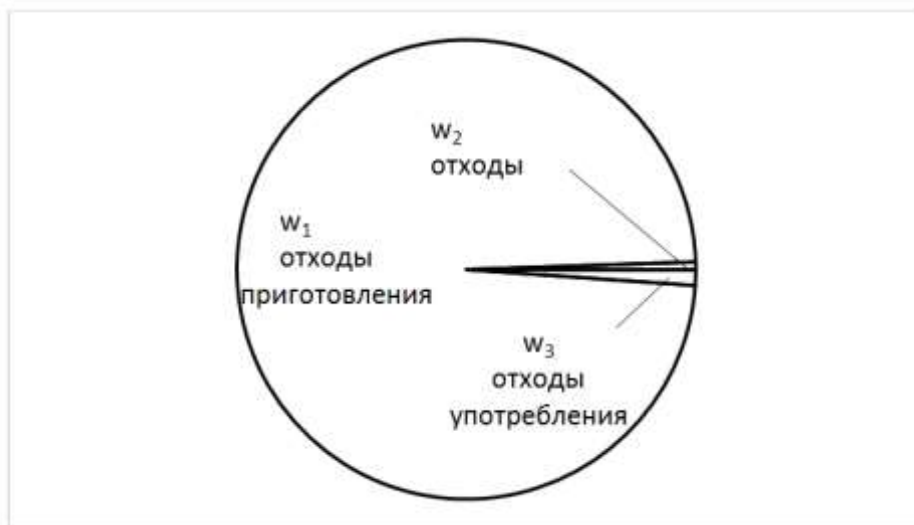


Рис. 2. Пооперационные относительные количества отходов.

Технология и комплекс технических устройств для утилизации отходов зависят также от их количества. Как правило, большие количества обеспечивают более высокую эффективность утилизации отходов.

Предлагаемый подход к решению проблемы пищевых отходов позволяет принимать такие экологические решения, которые обеспечивают накапливать большие объемы каждого из видов послеоперационных отходов. Например, на рис.3,а показана традиционная схема перемещения продуктов питания и образования отходов. На каждом  $j$ -ом объекте потребления все операции сосредоточены в одном месте, например, кухня жилого дома или камбуз судна. В настоящее время такая схема, являясь наиболее распространенной, характеризуется низкой эффективностью операций сбора, первичной сортировки на пищевые и не пищевые отходы, а также пищевых отходов на отходы животного и растительного происхождения, и временного хранения в месте образования отходов. Такая схема часто (в жилых домах) приводит к попаданию пищевых отходов в непищевые. Основными причинами являются: незначительные массы отходов, образующихся при каждом разовом приготовлении продуктов питания и употреблении пищи; отношение людей к проблеме отходов, а также отсутствие простых и удобных способов и устройств для сбора отдельно пищевых отходов, временного их хранения и передачи для эвакуации из мест проживания населения.

Одним из экологических предложений, которое в значительной степени нейтрализует недостатки предыдущей схемы, является пространственное объединение какой-либо  $i$ -ой операции в цикле существования продуктов питания и отходов (см. рис.3,б). Например, организация очистки овощей и использование вакуумной упаковки и передача потребителю в готовом для приготовления виде. Такая операция постепенно находят применение в торговых центрах.

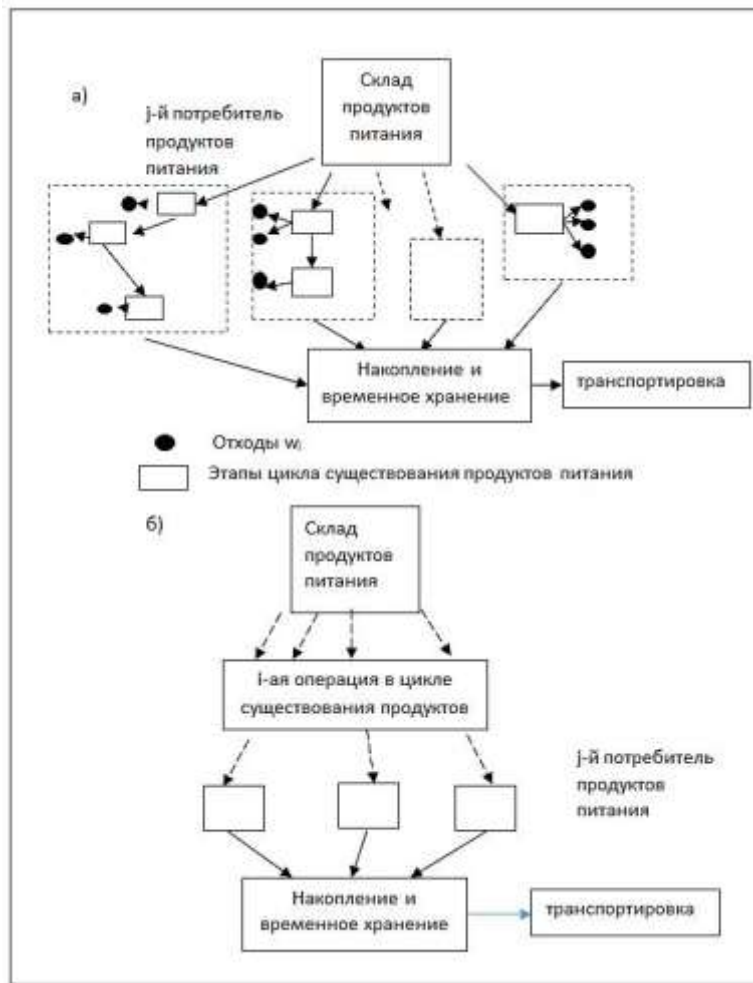


Рис. 3. Примеры экологистических решений при организации обеспечения продуктами питания

Еще одним примером реализации данного предложения является централизованная организация обеспечения таких объектов водного туризма, как плавучие гостиницы или суда круизного речного флота. В таком случае все операции по подготовке продуктов питания к операции приготовления пищи осуществляются в местах хранения продуктов питания до их передачи потребителю.

Для малонаселенных и компактных мест проживания, а также для объектов, удаленных от населенных пунктов, например, туристических баз, объектов гостиничного проживания типа мотелей, коттеджных поселков и других, может быть рекомендовано экологистическое решение, которое относится к заключительным этапам цикла существования отходов – транспортировке к месту утилизации. Решение имеет следующий вид: общее накопление и временное хранение пищевых отходов осуществляется в емкостях небольшого объема (до 0,5 м<sup>3</sup>); транспортировка (в границах рассматриваемого объекта – нескольких сотен метров до 0,5 км) средствами малой механизации, утилизация в локальных мини устройствах, например, в автономных компостерах, печах для сжигания некоторых видов отходов и других устройствах.

### **Заключение**

В статье предложено рассматривать процесс образования и существования пищевых отходов как многоэтапный, который связан с перемещением и превращением продуктов питания и начинающийся от состояния, в котором продукты питания находятся на хранении перед передачей потребителю. Такой подход открывает возможность эффективного решения проблемы пищевых отходов за счет регулирования этого процесса с учетом конкретных условий его осуществления, а также формирования в каждом конкретном случае вариантов экологистических решений, отражающих как процесс превращения продуктов питания, так и образования отходов, что в свою очередь обеспечивает формирование эффективных технологий и реализующих ее технических средств утилизации и переработки отходов.

Регулирование этого процесса включает разработку новых потоков субстанции отходов, что, в свою очередь, также позволит принимать более эффективные технологии и комплексы технических средств утилизации пищевых отходов.

Реализация предложенного в статье подхода проиллюстрирована несколькими примерами экологистических решений.

Представленные в статье результаты исследований процесса образования пищевых отходов имеют практическую значимость для такой области водного транспорта как объекты развивающегося водного туризма и отдыха, и которые требуют решения вопросов обеспечения экологической безопасности, в том числе, в сфере образования пищевых отходов. Кроме того, являются актуальными для малонаселенных рек европейского севера, а также восточной и западной Сибири.

### **Список литературы**

1. Федеральный закон от 24.11.1996 N 132-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации».
2. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 04.08.2023) "Об отходах производства и потребления" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2024)
3. Распоряжение Правительства РФ от 25.01.2018 N 84-р (ред. от 13.10.2022) «Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года»
4. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 N 242 (ред. от 16.05.2022) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (Зарегистрировано в Минюсте России 08.06.2017 N 47008).
5. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года и Протокол 1978 года. — СПб.: Изд-во ЦНИИМФ, 2008. — 706 с.
6. Правила Речного Регистра: в 4 т. — М.: Речной регистр, 2008. — 1430 с.
7. Смирнов А.Б., Смирнова Л.И., Смолокуров, Роль экологического обеспечения в государственном регулировании водного туризма Журнал «Экономика и предпринимательство». 2019. - №7. - с. 519-524.
8. Решняк В.И., Морозова Е.М., Каляш М.С., Экологическое обеспечение водного туризма Журнал «Эксплуатация морского транспорта» Государственного морского университета им. адм. Ушакова Ф.Ф., 2021. - №14(98). - с. 68-73. DOI 10.34046/.
9. Экологическое обеспечение водного туризма / В. И. Решняк, О. Л. Домнина, А. Е. Пластинин, Н. С. Отделкин // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 4-2(46). – С. 154-160.
10. Корнев, А. Б. Пути развития экологической безопасности региона / А. Б. Корнев, О. Л. Домнина, А. Е. Пластинин // Великие реки'2016 : Труды научного конгресса 18-го Международного научно-промышленного форума: в 3-х томах, Нижний Новгород, 17–20 мая 2016 года / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет; ответственный редактор А. А. Лапшин. Том 1. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. – С. 90-92.

11. Калугин В.Н., Корнилов Э.В., Кулешов И.Н., Технология переработки мусора на судах. Инсинераторы. изд-во «Негоциант», 2006 . - 52 с.
12. Баширов В.Д., Левин Е.В., Сагитов Р.Ф., Алямов И.Д., Гулак М.З., современные технологии сепарирования и переработки ТБО, Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2014. - №3(47). - с. 77-80.
13. Инсинераторы и мусоросжигательные заводы ABONO для обезвреживания и утилизации твердых, жидких и газообразных отходов. URL: [https://abono.ru/lp\\_cremator/?yclid=2813800743765278719](https://abono.ru/lp_cremator/?yclid=2813800743765278719).
14. Домашние компостеры и контейнеры для переработки пищевых отходов. URL: <https://rcycle.net/othody/pishhevye/kuhonnye-kompostery-dlya-pererabotki-v-udobrenie><https://rcycle.net/othody/pishhevye/kuhonnye-kompostery-dlya-pererabotki-v-udobrenie?yclid=lq9aqh22at997860680>.

#### References

1. Federal Law No. 132-FZ of 11/24/1996 (as amended on 12/25/2023) "On the basics of Tourism Activities in the Russian Federation".
2. Federal Law No. 89-FZ of 06/24/1998 (as amended on 08/04/2023) "On Production and Consumption Waste" (with amendments and additions, intro. effective from 01.01.2024)
3. Decree of the Government of the Russian Federation dated 01/25/2018 No. 84-r (as amended on 10/13/2022) "On approval of the Industrial Development Strategy for processing, recycling and neutralization of production and consumption waste for the period up to 2030"
4. Rosprirodnadzor Order No. 242 dated 05/22/2017 (as amended on 05/16/2022) "On approval of the Federal Classification Catalog of Waste" (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 06/08/2017 No. 47008).
5. The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships of 1973 and the Protocol of 1978. — St. Petersburg: Publishing House of the Central Research Institute of Economics, 2008. — 706 p
6. . 6. Rules of the River Register: in 4 volumes. — M.: River Register, 2008. — 1430 p.
7. Smirnov A.B., Smirnova L.I., Smolokurov, The role of environmental support in the state regulation of water tourism Journal "Economics and Entrepreneurship". 2019. - No.7. - pp. 519-524.
8. Reshnyak V.I., Morozova E.M., Kalyaush M.S., Ecological support of water tourism Journal "Operation of marine transport" of the State Maritime University named after Adm. Ushakova F.F., 2021. - №14(98). - pp. 68-73. DOI 10.34046/.
9. Ecological provision of water tourism / V. I. Reshnyak, O. L. Domnina, A. E. Plastinin, N. S. Otdelkin // Marine intelligent technologies. – 2019. – № 4-2(46). – Pp. 154-160.
10. Kornev, A. B. Ways of developing environmental safety in the region / A. B. Kornev, O. L. Domnina, A. E. Plastinin // Great Rivers'2016 : Proceedings of the Scientific Congress of the 18th International Scientific and Industrial Forum: in 3 volumes, Nizhny Novgorod, May 17-20, 2016 / Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering; executive editor A. A. Lapshin. Volume 1. – Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2016. – pp. 90-92.
11. Kalugin V.N., Kornilov E.V., Kuleshov I.N., Technology of waste recycling on ships. Incinerators. publishing house "Merchant", 2006. - 52 p.
12. Bashirov V.D., Levin E.V., Sagitov R.F., Alyamov I.D., Gulak M.Z., modern technologies of solid waste separation and processing, Proceedings of the Orenburg State Agrarian University, 2014. - №3(47). - pp. 77-80.
13. ABONO incinerators and incinerators for the neutralization and disposal of solid waste, liquid and gaseous waste. URL: [https://abono.ru/lp\\_cremator/?yclid=2813800743765278719](https://abono.ru/lp_cremator/?yclid=2813800743765278719).
14. Home composters and containers for processing food waste. URL: <https://rcycle.net/othody/pishhevye/kuhonnye-kompostery-dlya-pererabotki-v-udobrenie><https://rcycle.net/othody/pishhevye/kuhonnye-kompostery-dlya-pererabotki-v-udobrenie?yclid=lq9aqh22at997860680>.



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

**Решняк Валерий Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и экологии, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035, г. Санкт Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: rv53@mail.ru

**Valery I. Reshnyak**, Dr.Sci.(Eng), Professor, Head of the Department of Chemistry and Ecology, Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, 198035, St. Petersburg, Dvinskaya str., 5/7, e-mail: rv53@mail.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

**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

**Сатина Наталья Борисовна**, аспирант кафедры химии и экологии, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035, г. Санкт Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: kaf\_chemistry@gumrf.ru .

**Natalia B. Satina**, postgraduate of the Department of Chemistry and Ecology, Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, 198035, St. Petersburg, Dvinskaya str., 5/7, e-mail: kaf\_chemistry@gumrf.ru .

Статья поступила в редакцию 08.01.2024; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 08.01.2024; published online 20.03.2024

УДК 656.62.052

DOI: 10.37890/jwt.vi78.442

## **Стоянка судна на якорю в стесненных путевых условиях**

**П.Н. Токарев**

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

**Аннотация.** Известно, что безопасность якорной стоянки во многом определяется правильным выбором места постановки судна на якорь, глубиной и родом грунта, габаритами акватории, защищенностью от ветрового воздействия, наличием течения в месте якорной стоянки. Стоянка на морских рейдах в плане ограниченности акватории особых проблем не представляет. В речных условиях рейды располагаются в непосредственной близости от судового хода и ограничены по ширине. Поэтому вопрос занимаемой судном полосы по ширине акватории рейда, имеет важное значение для обеспечения безопасного прохода других судов. Суда на реке обычно становятся на носовой якорь против течения, но довольно часто при сильных боковых ветрах приходится отдавать и кормовой якорь, чтобы уменьшить ширину полосы занимаемой судном и не мешать движению проходящих мимо судов. В работе приведены исследования безопасных условий якорной стоянки судов в речных условиях при ветре, на ограниченной по габаритам акватории, при различных скоростях течения. Получены расчетные зависимости по определению поперечного размера акватории занимаемой судном, стоящем на носовом якорю, носовом и кормовом якорях по отношению к оси судового хода в зависимости от скорости течения, скоростей и направления ветра.

**Ключевые слова:** судно, ветер, течение, речной рейд, ограниченная акватория, стоянка на носовом якорю, стоянка на носовом и кормовом якорях, поперечный размер акватории, расчет.

## **The anchorage in cramped travel conditions**

**Pavel N. Tokarev**

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

**Abstract.** The safety of the anchorage is known to be largely determined by the correct choice of the anchorage location, the depth and the type of soil, the dimensions of the water area, the protection from wind exposure, the currents in the anchorage area. The sea anchorage does not pose any special problems in terms of the limited water area. In river conditions, the roadsteads are located in close proximity to the ship's passage and are limited in width. Therefore, the question of the width of the strip occupied by the anchored vessel is important. Vessels on the river usually drop the bow anchor against the current, but quite often, with strong crosswinds, it is necessary to drop the stern anchor in order to reduce the width of the lane occupied by the vessel and not interfere with the movement of passing vessels. The paper presents studies of safe conditions for anchoring ships in river conditions with wind in a limited-sized water area at different flow speeds. The author calculated the dependence determining the transverse size of the water area occupied by a vessel standing at the bow anchor, bow and stern anchors with respect to the axis of the ship's course, depending on the speed of the current, wind speeds and direction.

**Keywords:** vessel, wind, current, river raid, limited water area, parking at the bow anchor, parking at the bow and stern anchors, transverse size of the water area, calculation.

## **Введение**

В практической работе, по различным причинам, суда довольно часто становятся на якорь. Якорная стоянка считается безопасной при одновременным выполнением двух основных условий:

- 1) отсутствует дрейф судна;
- 2) размеры акватории позволяют судну перемещаться (разворачиваться) во время стоянки на якорю под действием внешних факторов безопасно для других судов.

Вопросу обеспечения безопасной якорной стоянки судна посвящено довольно значительное количество работ, выполненных разными авторами. Основное внимание уделено определению необходимой длины вытравливаемой якорной цепи в зависимости от массы и типа якоря, глубины, рода грунта и внешних факторов (ветра и течения). Необходимо отметить, что расчеты необходимой длины якорной цепи по разным методикам отличаются незначительно и этот вопрос не требует дополнительного исследования.

Что касается размеров акватории, необходимой для безопасной якорной стоянки, то она определяется радиусом окружности равным сумме длины судна, горизонтальной проекции вытравленной якорной цепи и некоторым запасом. Стоянка судов на морских рейдах в плане ограниченности акватории особых проблем не представляет.

В речных условиях рейды располагаются в непосредственной близости от судового хода и ограничены по ширине. Поэтому вопрос занимаемой судном стоящем на якорю полосы по ширине акватории рейда, имеет важное значение. Суда на реке обычно становятся на носовой якорь против течения, но довольно часто при сильных боковых ветрах приходится отдавать и кормовой якорь, чтобы уменьшить ширину полосы занимаемой судном и не мешать движению проходящих мимо судов.

В работе приведены исследования безопасных условий якорной стоянки судна в речных условиях при ветре, на ограниченной по габаритам акватории, при различных скоростях течения. Получены расчетные зависимости по определению поперечного размера акватории по отношению к оси судового хода занимаемого судном, стоящем на одном якорю, а так же носовом и кормовом якорях в зависимости от скорости течения, скорости и направления ветра.

### **Стоянка судна на носовом якорю**

В реальных условиях при стоянке на якорю на судно редко действуют отдельно ветер или течение. Чаще всего это происходит одновременно и, следовательно, судно приводится по равнодействующей этих сил, когда моменты, создаваемые внешними факторами, будут уравновешиваться. Схема сил, действующих на судно, стоящем на носовом якорю приведена на рис.1.

Из данного рисунка видно, что моменты, создаваемые ветром и течением, действуют в разные стороны, т.е. проекции от действующих сил по оси  $Y$  направлены в стороны, противоположные друг другу. Вследствие этого судно развернется относительно якорного клюза на определенный угол, когда сумма сил, направленных перпендикулярно диаметральной плоскости судна от ветра и течения и сумма моментов этих сил будут равны нулю. Надежность якорной стоянки будет обеспечена, если равнодействующая внешних сил будет меньше держащей силы якорного устройства. При этом, например, при стоянке на судовом ходу судно развернется относительно оси судового хода на некоторый угол и перекроет часть его ширины, а при определенных соотношениях сил может развернуться поперек судового хода.

Судно будет неподвижно при выполнении следующих условий:

$$\left. \begin{aligned} X_{\text{в}} + X_{\text{т}} &= F_{\text{яx}}; \\ Y_{\text{т}} + Y_{\text{в}} &= Y_{\text{я}}; \\ M_{\text{т}} - M_{\text{в}} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где

$X_{\text{в}}, Y_{\text{в}}$  – продольная и поперечная составляющая силы воздействия ветра на надводную часть корпуса судна;

$X_{\text{т}}, Y_{\text{т}}$  – продольная и поперечная составляющая силы воздействия воды на подводную часть корпуса судна;

$M_{\text{т}}, M_{\text{в}}$  – моменты сил  $Y_{\text{т}}$  и  $Y_{\text{в}}$  относительно якорного клюза

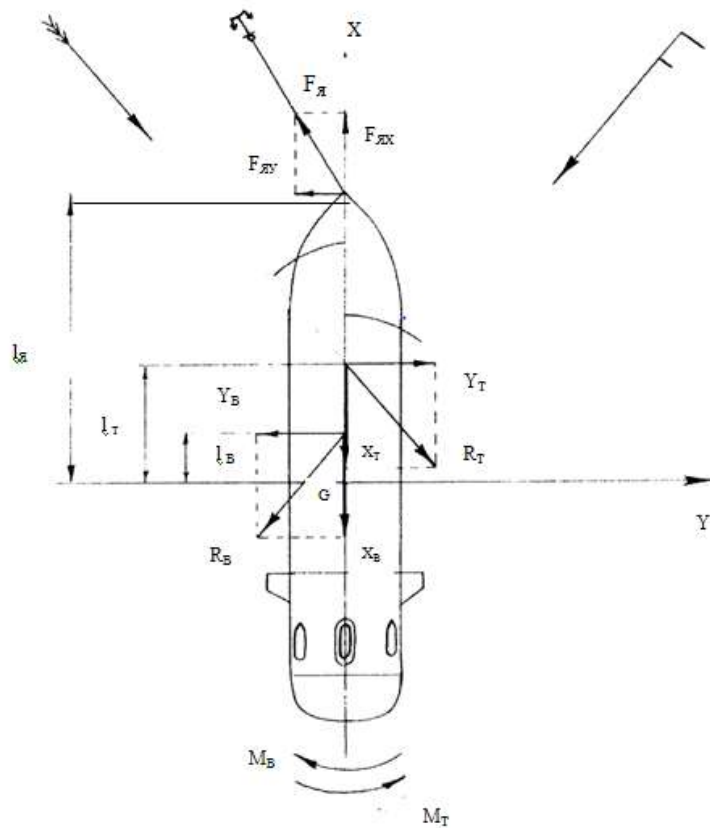


Рис.1. Схема сил, действующих на судно, стоящем на носовом якорю

Силы и моменты, входящие в выражение (1) могут быть представлены в следующем виде:

а) гидродинамические силы и момент определяются по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} X_T &= c_{XT} \frac{\rho}{2} v_T^2 LT; \\ Y_T &= c_{YT} \frac{\rho}{2} v_T^2 LT; \\ M_T &= c_{MT} \frac{\rho}{2} v_T^2 LT \left( \frac{L}{2} - l_T \right). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $c_{XT}$ ,  $c_{YT}$  и  $c_{MT}$  – безразмерные коэффициенты сил и момента  $X_T, Y_T$  и  $M_T$  от действия течения на корпус судна;

$L$  и  $T$  – длина и осадка судна;

$v_T$  – скорость течения;

$\rho$  – плотность воды;

$l_T$  – абсцисса точки приложения силы  $Y_T$ .

б) ветровые (аэродинамические) силы и момент определяются по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} X_B &= c_{XB} \frac{\rho_B}{2} v_B^2 S_{MШ}; \\ Y_B &= c_{YB} \frac{\rho_B}{2} v_B^2 S_{П}; \\ M_B &= c_{YB} \frac{\rho_B}{2} v_B^2 S_{П} \left( \frac{L}{2} - l_B \right). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $c_{XB}$ ,  $c_{YB}$  – безразмерные коэффициенты сил  $X_B$  и  $Y_B$ ;

$\rho_B$  – плотность воздуха  $\left( \rho_B = 0,122 \cdot 10^{-2} \frac{T}{M^3} \right)$ ;

$v_B$  – скорость ветра м/с;

$S_{П}$  – проекция площади парусности на диаметральной плоскости судна м<sup>2</sup>;

$S_{MШ}$  – проекция площади парусности на мидель-шпангоут судна м<sup>2</sup>;

$l_B$  – абсцисса точки приложения силы  $Y_B$  м.

Коэффициенты  $c_{XT}$  и  $c_{XB}$  определяются по формулам [1]:

$$\left. \begin{aligned} c_{XB} &= 1,0 \cos q_B; \\ c_{XT} &= c_{X0} \cos \beta; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $c_{X0}$  – коэффициент сопротивления воды движению корпуса судна при отсутствии угла дрейфа;

$\beta$  – угол между диаметральной плоскостью судна и направлением течения, рад.;

$q_B$  – угол между диаметральной плоскостью судна и направлением ветра, рад..

Коэффициент сопротивления воды  $c_{X0}$  может быть определен через полезную тягу движетельного комплекса судна:

$$C_{x0} = \frac{2 \cdot T_E}{\rho L T v_0^2}, \quad (5)$$

где  $T_E$  - полезная тяга двигателей при работе двигателей в режиме «полный ход», кН.

Или по формуле[2]:

$$C_{x0} = (4,64 + 2,73 \frac{\delta \cdot B}{T}) \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

где  $\delta$  – коэффициент полноты водоизмещения судна;  
 $B$  – ширина судна, м.

Коэффициент  $C_{YT}$  определяется по следующему выражению[3]

$$C_{YT} = C_{21} \beta + C_{23} \beta^2 \quad (7)$$

Или для больших углов дрейфа (более 30град.) [4]:

$$C_{YT} = C_{21} \sin 2\beta \cdot \cos \beta + C_{23} \sin^2 \beta \quad (8)$$

Здесь коэффициенты  $C_{21}$  и  $C_{23}$  определяются по выражениям[4]:

$$C_{21} = 2,7 \frac{T}{L};$$

$$C_{23} = 1,353 - 51,8 \frac{T}{L} + 116,2 \left( \frac{T}{L} - 0,01 \right)^{1,3} - \quad (9)$$

$$- \left( 0,16 + 0,049 \cdot th^{1,5} \left( 106,4 \left( \frac{T}{L} - 0,01 \right) \right) \right) \cdot th \left( 0,56 \left( \frac{B}{T} - 3 \right) \right)$$

При глубинах менее 10 метров необходимо ввести поправки:

$$\left. \begin{aligned} c_{21} &= c_{21\infty} \cdot \bar{c}_{21}; \\ c_{23} &= c_{23\infty} \cdot \bar{c}_{23}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где  $\bar{c}_{21}, \bar{c}_{23}$  – коэффициенты, учитывающие влияние мелководья, которые рассчитываются по формулам приведенным во многих работах [1,3,5]:

$$\left. \begin{aligned} \bar{c}_{21} &= 1 + \left( 2,38 - 11 \frac{T}{L} \right) \left( \frac{T}{H} \right)^3; \\ \bar{c}_{23} &= 1 + 3,4 \left( \frac{T}{H} \right)^{2,25} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Коэффициент  $C_{yB}$  и величина  $l_B$  для грузовых судов определяются по следующим выражениям[1]:

$$\left. \begin{aligned} c_{yB} &= 1,05 \sin q_B; \\ l_B &= l_{II} + [0,25 - (q_B / 2\pi)]L. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где  $l_{II}$  – отстояние геометрического центра парусности от центра масс судна, м.

Величина  $l_T$  приближенно может быть определена по выражению:

$$l_T = 0,25(\sigma_H - \sigma_K)L \quad (13)$$

где  $\sigma_H$  – коэффициент полноты части диаметрального батокса, расположенной в нос от миделя судна;

$\sigma_K$  – коэффициент полноты части диаметрального батокса, расположенной в корму от миделя судна.

Коэффициент полноты части диаметрального батокса, расположенной в нос от миделя судна определяется по формуле:

$$\sigma_H = \frac{L(T_H + T_M) - 1,2T_H^2}{L(T_H + T_M)} \quad (14)$$

Коэффициент полноты части диаметрального батокса, расположенной в корму от миделя судна, определяется по формуле:

$$\sigma_K = 2\sigma - \sigma_H \quad (15)$$

здесь  $\sigma$  – коэффициент полноты диаметрального батокса.

Дрейф судна отсутствует, если действие продольных составляющих внешних сил уравновешивается держащей силой якорного устройства  $F_X$ . Методы расчета длины якорной цепи, необходимой для обеспечения надежной якорной стоянки с учетом внешних факторов, предложены разными авторами (Щетинина А.И., Александров М.Н. Цурбан А.И. и др.)

Держащая сила якорного устройства складывается из держащей силы якоря  $F_Y$  и держащей силы участка якорной цепи, лежащей на грунте [6]:

$$F_X = F_Y + (a \cdot q \cdot f)g \quad (16)$$

где  $a$ - длина участка цепи, лежащей на грунте, м;

$q$ - линейная плотность якорной цепи в воде, кг/м;

$f$ - коэффициент трения цепи о грунт;

$g$ - ускорение свободного падения,  $9.81 \text{ м/с}^2$ .

Линейная плотность якорной цепи в воде определяется по выражению:

$$q = 0,021 \cdot 0,87 d_u \cong 0,018 d_u \quad (17)$$

где  $d_u$  - калибр якорной цепи.

Коэффициент трения при протаскивании якорной цепи по различному грунту (без учета присасывания) определяется по табл. 2.[6].

Держащая сила может быть получена через массу якоря  $G$  и удельную держащую силу якоря  $K$ :

$$F_{Я} = K \cdot g \cdot G \tag{18}$$

$$K = \frac{F_{Я}}{gG} = 0,73 \gamma_{Г} \frac{b_{ЯК}}{l_{ЯК}} \frac{66}{M_{ЯК}} h_{ЯК} \tag{19}$$

где  $g$ - ускорение свободного падения ( $9,81 \text{ м/с}^2$ );

$\gamma_{Г}$  - плотность грунта,  $\text{т/м}^3$ ;

$b_{ЯК}$  - ширина лапы якоря, м;

$l_{ЯК}$  - длина лапы якоря, м;

$M_{ЯК}$  - величина, зависящая от типа якоря и глубины погружения его лап [6];

$h_{ЯК}$  - погружение лапы якоря, м.

$$h_{ЯК} = l_{ЯК} \sin \alpha_{ЯК}$$

здесь  $\alpha_{ЯК}$  - угол наклона лап якоря, ° ( для якоря Холла  $\alpha = 45^\circ$ ).

Значение коэффициентов держащей силы  $K$  для якорей различных типов и рода грунта приведены в табл.1.

*Таблица 1*

**Значения коэффициентов держащей силы якоря**

Тип якоря	Тип грунта		
	илистый	песчаный	каменистый
Адмиралтейский	2,2	3,0	3,0
Холла	2,2	1,5	2,8
Матросова	12,0	8,0	-

Длина якорной цепи с учетом воздействия внешних сил на судно должна быть не менее[6]:

$$l_{Я.Ц} \geq H_{Кл} \sqrt{1 + \frac{2,8}{H_{Кл}} \left( \frac{\sum R}{10q} + af \right)}. \tag{20}$$

где  $\sum R$  - сумма внешних сил, действующих на судно при якорной стоянке,  $H$ .

$H_{Кл}$  – высота якорного клюза над грунтом, м.

Для решения системы уравнений (1) введем следующие обозначения:



$$\left. \begin{aligned} \overline{c_{xв}} &= \frac{\rho_в \cdot S_{мш}}{\rho L T}; \overline{c_{yв}} = \frac{1,05 \rho_B S_{л}}{\rho L T}; \\ \overline{l_{л}} &= \frac{l_{л}}{L}; \overline{c_{я}} = \frac{2F_{я}}{\rho L T}; \\ \overline{l_{я}} &= \frac{l_{я}}{L}; \overline{l_{т}} = \frac{l_{т}}{L}. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Подставляя выражения (2) и (3) в уравнения (1) и учитывая принятые обозначения(21), получаем:

$$\left. \begin{aligned} C_{xо} \cos \beta \cdot v_T^2 + \overline{c_{xв}} \cos q_v v^2 &= C_{я} \cos q_{я}; \\ C_{yт} v_T^2 - \overline{c_{yв}} \sin q_v v^2 &= C_{я} \sin q_{я}; \\ C_{yт} [0,5 - 0,25(\sigma_H - \sigma_K)] v_T^2 &= \overline{c_{yв}} [0,25 - \overline{l_{л}} + \left(\frac{q_v}{2\pi}\right) \sin q_v v^2]. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Откуда находим угол направления цепи носового якоря относительно ДП судна:

$$q_{я} = \arcsin \left\{ \frac{\overline{c_{yв}} \left[ \frac{0,25 - \overline{l_{л}} + \left(\frac{q_B}{2\pi}\right)}{0,5 - 0,25(\sigma_H - \sigma_K)} - 1 \right] \sin q_B \cdot V_B^2}{C_{я}} \right\} \quad (23)$$

Следовательно, задаваясь значениями  $q_в$  и скоростью ветра, можно рассчитать величину угла  $q_{я}$ , а затем при известной скорости течения можно найти значение угла  $\beta$  по выражению:

$$\beta = \arcsin \left[ \frac{\sqrt{(C_{21} V_T)^2 + 4 C_{23} V_T^2 (C_{yв} \sin q_B V_B^2 + C_{я} \sin q_{я})} - C_{21} V_T^2}{2 C_{23} V_T^2} \right]. \quad (24)$$

Направления ветра относительно оси судового хода находим по выражению:

$$\gamma = q_B + \beta. \quad (25)$$

Поперечный размер акватории якорной стоянки  $B_{я}$  определим следующим образом:

$$B_{я} = l_{яц} \sin(\beta - q_{я}) + L \sin \beta + B \cos \beta. \quad (26)$$

В случае постановки судна по течению на кормовой якорь угол между диаметральной плоскостью судна и горизонтальной проекцией якорной цепи  $q_{як}$  определяется по выражению:

$$q_{ЯК} = \arcsin \left\{ \frac{\overline{C_{YB}}}{C_{ЯК}} \left[ 1 - \frac{0,75 + \bar{l}_{II} - \left( \frac{q_B}{2\pi} \right)}{0,5 + 0,25(\sigma_H - \sigma_K)} \right] \sin q_B \cdot V_B^2 \right\}. \quad (27)$$

здесь

$$C_{ЯК} = \frac{2 \cdot 9,81 K_{ЯК} m_{ЯК} + af m_{цК}}{\rho L T} \quad (28)$$

где  $K_{ЯК}$  – коэффициент держащей силы кормового якоря;  
 $m_{ЯК}$  – масса кормового якоря, т.

Задаваясь направлением ветра (от носовой части диаметральной плоскости судна по часовой стрелке) и его скоростью при известной скорости течения, определяем угол  $\beta$  при тех же значениях  $q_B$  и  $V_B$  по выражению:

$$\beta = \arcsin \left[ \frac{\sqrt{(C_{21} V_T^2)^2 + 4 C_{23} V_T^2 (C_{YB} \sin q_B V_B^2 + C_{ЯК} \sin q_{ЯК})} - C_{21} V_T^2}{2 C_{23} V_T^2} \right]. \quad (29)$$

Направление ветра относительно оси судового хода

$$\gamma = q_B - \beta. \quad (30)$$

Поперечный размер занимаемой полосы определяется по следующему выражению

$$B_{Я} = l_{яц} \sin(\beta + q_{Я}) + L \sin \beta. \quad (31)$$

### Стоянка судна на носовом и кормовом якорях

При увеличении скорости и курсового угла ветра относительно ДП судна поперечный размер акватории якорной стоянки увеличивается. Если поперечный размер якорной стоянки ограничен, это может создать трудности для движения других судов и их маневрированию. Поэтому появляется необходимость отдачи двух якорей – носового и кормового.

Схема действия усилий на судно при стоянке на носовом и комовом якорях, а так же размер акватории, занимаемый судном, приведены на рис.2. Из рисунка видно, что угол между направлением натяжения цепи кормового якоря и ДП судна  $q_{ЯК}$  всегда будет не менее угла  $\beta$  т.е.  $q_{ЯК} \geq \beta$ .

Принимая наихудшие условия, когда  $q_{ЯК} = \beta$ , из условия равенства моментов сил относительно носового клюза можем найти значение угла  $\beta$  по выражению:

$$\beta = \arcsin \frac{\sqrt{A_2^2 + 4 A_1 A_3} - A_2}{2 A_1}. \quad (32)$$

где коэффициенты  $A_i$  определяются по следующим выражениям

$$\begin{aligned}
 A_1 &= C_{23}V_T^2; \\
 A_2 &= C_{21}V_T^2 + \frac{C_{ЯК}}{0,5 - 0,25(\sigma_H - \sigma_K)}; \\
 A_3 &= C_{УВ} \left( \frac{0,25 - l_{II} + \left(\frac{q_B}{2\pi}\right)}{0,5 - 0,25(\sigma_H - \sigma_K)} \right) \sin q_B V_B^2.
 \end{aligned}
 \tag{33}$$

Направление якорной цепи носового якоря  $q_{ЯК}$  найдем по выражению:

$$q_{ЯК} = \arcsin \frac{C_{УВ} \sin q_B V_B^2 - (C_{21}V_T^2 + c_{Я}) \sin \beta - C_{23}V_T^2 \sin^2 \beta}{C_{ЯК}}.
 \tag{34}$$

Направление ветра относительно оси судового хода определяется по выражению:

$$\gamma = q_B - \beta.
 \tag{35}$$

Поперечный размер занимаемой судном полосы определяется по следующему выражению

$$B_{Я} = l_{яц} \sin(\beta + q_{Я}) + L \sin \beta.
 \tag{36}$$

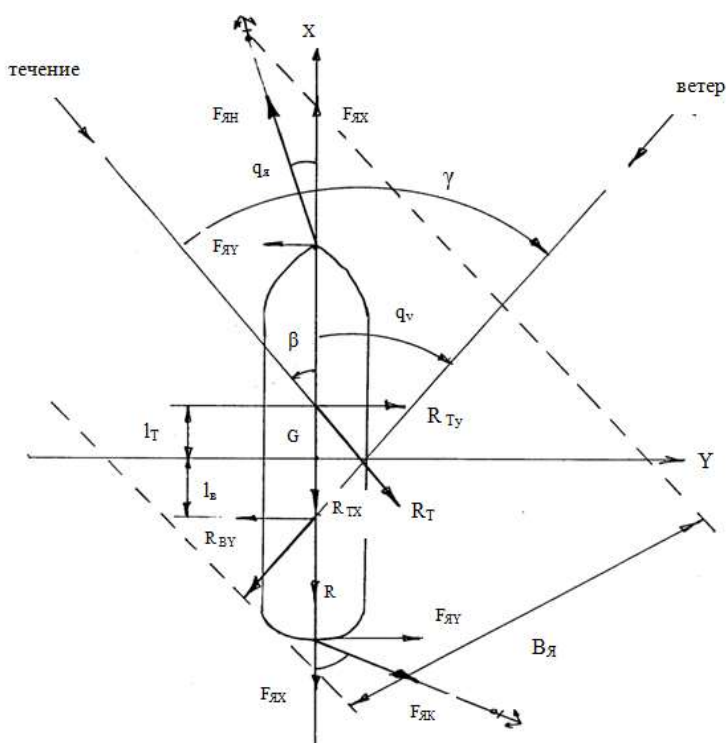


Рис.2. Схема сил, действующих на судно при стоянке на носовом и кормовом якорях в условиях ветра и течения

### Заключение

Таким образом, полученные выражения, приведенные в статье, могут быть использованы для выполнения расчетов по определению положения судна, стоящего на якоре в различных путевых и гидрометеоусловиях. Такая информация будет полезна как для судоводителей, так и при расследовании аварийных происшествий с судами, стоящими на якоре.

### Список литературы

1. Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля/ Я.И.Войткунский, Р.Я.Першиц, И.А.Титов – Ленинград: Судостроение, 1973. – 512с.
2. Симоненко А.С. Судовые устройства. – Л.: Судостроение, 1986. – 176с.
3. Павленко, В.Г. Ходкость и управляемость судов/ В.Б.Бавин, В.И. Зайков, В.Г. Павленко, Л.Б.Сандлер. – Москва: Транспорт, 1991. – 397 с.
4. Токарев П.Н. Метод определения гидродинамических усилий на корпусе судна при произвольном плоском движении/П.Н.Токарев // Н.Новгород. Вестник ВГАВТ. – 2017. – №52. – С.191–204.
5. Солярьев, Н.Ф. Безопасность маневрирования речных судов и составов / Н. Ф. Солярьев. - М.: Транспорт, 1980. - 215 с.
6. Управление судном и его техническая эксплуатация: Учебник для учащихся судоводит. спец. высш. инж. мор. училищ / Е.И. Жуков [и др.]; под ред. А.И. Щетининой. – М.: Транспорт, 1983.-655с.

### References

1. Vojtkunskij Ya.I. Spravochnik po teorii korablya/ Ya.I.Vojtkunskij, R.Ya.Pershic, I.A.Titov – Leningrad: Sudostroenie, 1973. – 512s.
2. Simonenko A.S. Sudovye ustrojstva. – L.: Sudostroenie, 1986. – 176s.
3. Pavlenko, V.G. Hodkost' i upravlyaemost' sudov/ V.B.Bavin, V.I. Zajkov, V.G. Pavlenko, L.B.Sandler. – Moskva: Transport, 1991. – 397 s.
4. Tokarev P.N. Metod opredeleniya gidrodinamicheskikh usilij na korpuse sudna pri proizvol'nom ploskom dvizhenii/P.N.Tokarev // N.Novgorod. Vestnik VГАVТ. – 2017. – №52. – S.191–204.
5. Solar'ev, N.F. Bezopasnost' manevrirovaniya rechnyh sudov i sostavov / N. F. Solar'ev. - M.: Transport, 1980. - 215 s.
6. Upravlenie sudnom i ego tekhnicheskaya ekspluatatsiya: Uchebnik dlya uchashchihsiya sudovodit. spec. vyssh. inzh. mor. uchilishch / E.I. Zhukov [i dr.]; pod red. A.I. Shchetininoj. – M.: Transport, 1983.-655s.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Токарев Павел Николаевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры судовождения и безопасности судоходства. Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: sudovod@vgavt-nn.ru

**Pavel N. Tokarev**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Ship Handling and Safety of Navigation. Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhniy Novgorod, Nesterova, 5, e-mail: sudovod@vgavt-nn.ru

Статья поступила в редакцию 18.08.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 18.08.2023; published online 20.03.2024

УДК 629.5.0, 629.5.02, 629.563, 621.548

DOI: 10.37890/jwt.vi78.463

## **Развитие мировых технологий в области опорных конструкций плавучих ветряных электростанций**

**А.А. Чалкина<sup>1</sup>**

**А.В. Лобанов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** Большая часть ветровых ресурсов расположена на таких глубинах, где морские стационарные ветряные турбины нерентабельны или технологически нецелесообразны. На сегодняшний день морские плавучие ветряные турбины (далее – МПВТ) активно совершенствуются, и существует широкий спектр конструкций таких платформ. В данной статье представлен краткий обзор архитектурных решений, используемых при создании МПВТ и описание технических характеристик различных типов плавучих оснований для МПВТ, рассматриваются изменения в функциях и устройствах платформ в зависимости от их предназначения. Кроме того, в работе рассмотрены преимущества и недостатки различных типов и форм корпуса. Как следует из анализа рынка морской ветроэнергетики, плавучие платформы, применяемые в качестве оснований морских ветряных турбин в ближнесрочной перспективе будут всё шире востребованы в большинстве технологически развитых стран для достижения целей «чистого нулевого выброса»<sup>16</sup>.

**Ключевые слова:** морские платформы, морская ветряная турбина, ветроэнергетика, ВИЭ, плавучие электростанции.

## **The development of global technologies in the field of support structures for floating wind power plants**

**Anastasia A. Chalkina<sup>1</sup>**

**Aleksey V. Lobanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *St. Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia*

<sup>2</sup> *PJSC Gazprom, Saint Petersburg, Russia*

**Abstract.** Most of the wind resources are located at depths where offshore stationary wind turbines are unprofitable or technologically impractical. Today, offshore floating wind turbines (hereinafter – OFWT) are actively being improved, and there is a wide range of designs for such platforms. This article provides a brief overview of the architectural solutions used in the creation of OFWT and a description of the technical characteristics of various types of floating bases for OFWT, discusses changes in the functions and devices of platforms depending on their purpose. In addition, the paper considers the advantages and disadvantages of various types and shapes of the housing. As follows from the analysis of the offshore wind energy market, floating platforms used as the bases of offshore wind turbines in the near term will be increasingly in demand in most technologically developed countries to achieve the goals of «net zero emissions»<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> В соответствии с подходами ООН в области мер по борьбе с изменением климата, чистый нулевой уровень выбросов означает сокращение объема выбросов парниковых газов до уровня, максимально приближенного к нулю (при этом весь остающийся объем выбросов поглощается из атмосферы назад, например, океанами и лесами).

<sup>17</sup> According to the UN's approach to climate action, net zero emissions means reducing greenhouse gas emissions to as close to zero levels as possible (with any remaining emissions absorbed back out of the atmosphere, such as by oceans and forests).

**Keywords:** offshore platforms, offshore wind turbine, wind energy, renewable energy sources, floating power plants.

### Введение

Растущий спрос на энергию во всем мире на фоне борьбы с выбросами вредных веществ в атмосферу, вызванных добычей традиционных ископаемых (нефти и газа), сделал необходимым увеличение использования возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе практически всех стран. Безусловно, «зеленый» рост следует воспринимать не как поворот к нерациональному использованию возобновляемых источников энергии любой ценой, а как инвестиции в политику и технологии, которые превратили бы возобновляемые источники энергии в конкурентоспособные и устойчивые источники.

В рамках данного исследования обобщены данные, опубликованные в различных зарубежных источниках, проведен анализ существующих в настоящее время конструкций МПВТ как в целом, так и детальный обзор верхних строений и опорных оснований различных типов и архитектуры (плавучих и стационарных).

На основе собранных и проанализированных данных авторами сделаны выводы о наиболее перспективных типах опорных частей платформ. В работе также приведены результаты и обоснованы факторы, определяющие основные преимущества наиболее перспективных типов МПВТ - гибридных конструкций (в сравнении с традиционными).

Кроме того, в статье представлен краткий среднесрочный прогноз и определены направления дальнейшего развития МПВТ.

Точкой импульса инициативам по расширению морской ветроэнергетики стал 2022 год. Именно в этот период все больше разработчиков начали широко предлагать свои уникальные проекты, проводить научные исследования в данной области и испытания новых концепций. Несмотря на то, что наиболее успешные и перспективные проекты морского ветроэнергетического сектора в значительной степени сконцентрированы в акваториях, расположенных вблизи побережья Великобритании, новые проекты набирают обороты по всему миру.

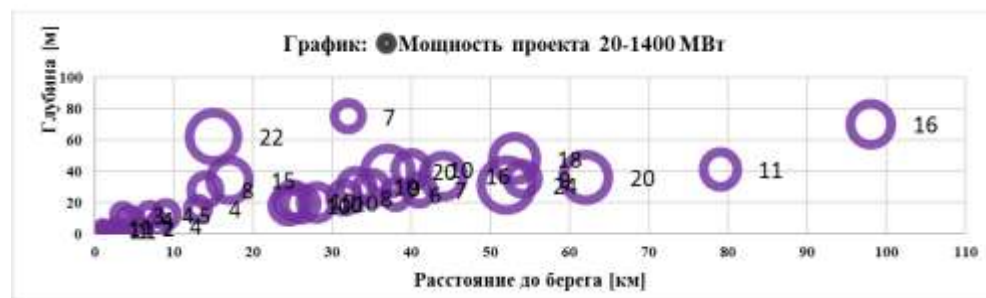


Рис. 1. Развитие количества и мощности МПВТ в зависимости от глубины моря и расстояния от берега [3]

Объем мирового рынка плавучей ветровой энергии оценивается в 1,9 миллиарда долларов США, к 2032 году ожидается, что он достигнет около 65,4 миллиарда долларов США. Анализ показывает, что в ближайшие десять лет, по прогнозам, суммарная мощность морской ветроэнергетики возрастет на более 380 ГВт, при этом МПВТ будут размещаться в 32 регионах. Вместе с тем, высокие затраты, задержки в строительстве и бюрократия являются одними из многих проблем, заставляющих разработчиков морской ветроэнергетики открыто подвергать сомнению жизнеспособность запланированных проектов и достижений поставленных целей [1, 2].

Морская ветровая энергия — это устойчивый возобновляемый источник энергии, который можно получить путем использования силы ветра на море, где она гораздо выше, чем на суше за счет того, что отсутствуют препятствия, что позволяет воздушным массам двигаться с более высокими и устойчивыми скоростями.

В последнее время популярность морской ветроэнергетики возросла. До разработки плавучих конструкций ветряные турбины нельзя было размещать на глубоководных или сложных в геоморфологическом отношении участках морского дна, поскольку они зависели от стационарных конструкций, закрепленных на дне. С появлением плавучих конструкций, которые удерживаются на морском дне с помощью упругих якорных систем, натяжных цепей или стальных тросов, ветряные турбины теперь можно размещать далеко от берега. Развитию плавучих ветровых электростанций (далее – ПВЭС) на глубоководных акваториях способствует ряд факторов: более сильный и устойчивый ветер, меньшее воздействие на окружающую среду, а также достаточно гибкие требования к акустическому шуму.

По сравнению с морскими стационарными и наземными ветряными турбинами общая стоимость МПВТ значительно выше из-за высокой стоимости плавучих опорных конструкций. В разных странах в густонаселенных районах, расположенных вдоль побережья, ПМВТ являются альтернативой береговым ветряным турбинам. Таким образом, многие проблемы, связанные с береговыми ветряными турбинами, такие как визуальные и шумовые отвлекающие факторы, можно избежать, разместив ветряные турбины далеко от берега.

Более сильные и постоянные ветры в морских регионах также способствуют развитию ветроэнергетики, что позволяет обеспечивать более высокую выработку энергии и меньшие нагрузки на ротор и узлы гондолы. В районах с малыми и средними глубинами, где ветровые ресурсы значительны, установка морских стационарных ветряных турбин более практично и экономически выгодно в сравнении с установкой морских плавучих платформ. Однако страны, омываемые водами Атлантического океана, включая США, Японию и страны Западной Европы, имеют ограниченные прибрежные территориальные воды<sup>18</sup> с глубинами менее 50 метров. Из экологических преимуществ МПВТ можно отметить, что их установка возможна в тех местах, где легче избежать миграционных маршрутов живых существ, а также мест размножения и кормления морских обитателей. В результате за последние десять лет возник значительный интерес к МПВТ.

### **Концепции проектирования плавучих морских ветряных турбин**

МПВТ относятся к числу концепций, которые могут эффективно и экономично вырабатывать энергию за счет использования ветровых ресурсов на глубоководных акваториях. Ветряная турбина, установленная на плавучем основании, позволяет производить электроэнергию на глубокой воде, где стационарные ветряные турбины экономически нецелесообразны. Существует четыре основных типа опорных конструкций (платформ) МПВТ, концепции которых представлены на рисунке 2.

---

<sup>18</sup> В терминологии морского права - территориальное море – примыкающий к сухопутной территории государства или к его внутренним морским водам морской пояс шириной, как правило, 12 морских миль, отмеряемых от соответствующих исходных линий.

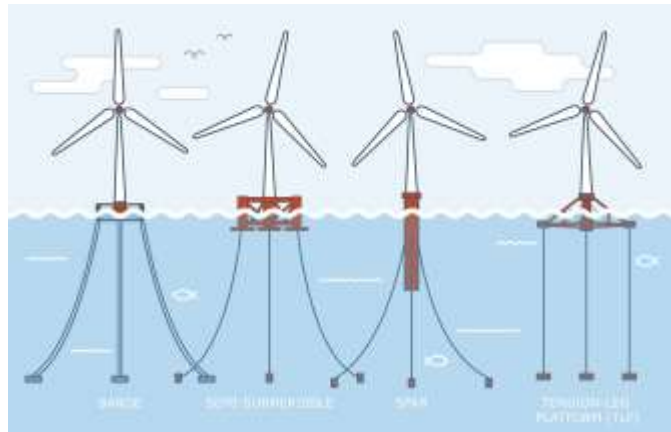


Рис. 2. Основные типы плавучих опор [4]

Слева направо:

Понтон/баржа (англ. pontoon/barge);

Полупогружная платформа (англ. semi-submersible platform);

Платформа типа SPAR (англ. Single point anchorage (Spar) buoy platform);

Платформа типа TLP (англ. tension leg platform).

Наглядно сходства и различия различных типов ПМВТ показаны на рисунке 3.

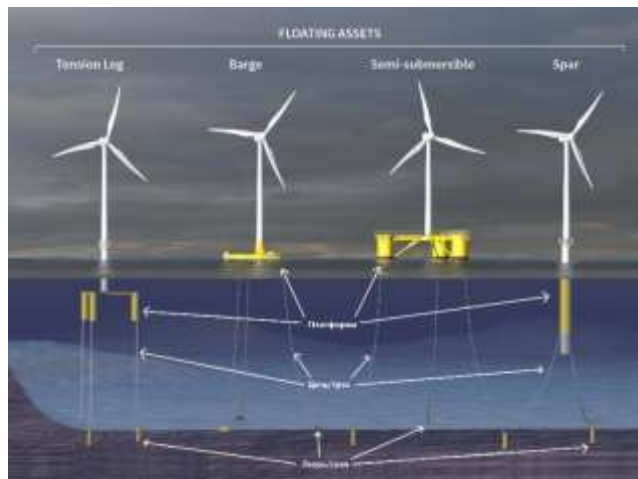


Рис. 3. Пример сходства разных типов плавучих платформ [5]

Каждая конструкция ПМВТ имеет преимущества и недостатки, которые следует учитывать в зависимости от параметров места установки, таких как близость к берегу, глубина воды, факторы окружающей среды и характеристики морского дна.

### **Первая в мире плавучая ветряная электростанция**

Первая в мире ПВЭС, созданная корпорацией Statoil, запущена 18 октября 2017 года у берегов Шотландии. Пилотный проект ветропарка Humbly Grove мощностью 30 МВт (пять ветряных турбин по 6 МВт каждая) демонстрирует возможность создания плавучих ветряных электростанций, рисунок 4.

Проект является уникальным не только благодаря вырабатываемой мощности, но и с учетом высокой устойчивости своей конструкции – электростанция Humbly Grove успешно пережила ураган «Каролина», когда скорость ветра превышала 160 м/с.



км/час, а высота волн достигала 8,2 метра. Концепция Hуwind состоит из платформы типа SPAR, на которую установлена ветряная турбина Siemens. Основание платформы представляет собой цилиндрическую конструкцию диаметром около 8,3 м имеющую осадку около 100 метров [7].

Морские платформы типа SPAR являются одними из самых простых и дешевых в изготовлении, имеют длинное цилиндрическое основание, простирающееся в среднем на глубину до 80 м. Внизу цилиндр утяжеляется специальной камерой, чтобы опустить центр тяжести платформы ниже центра ее плавучести, обеспечивая устойчивость. Благодаря большой осадке SPAR лучше всего подходит для очень глубоководных районов и обеспечивает высокую устойчивость к рысканью и крену. SPAR меньше поддается волновому воздействию и минимизирует давление на конструкцию за счет уменьшения площади поперечного сечения в зоне ватерлинии, и, в то же время, снижает стоимость основания. Конструкция стабилизирована балластом и крепится к морскому дну тремя отдельными цепными якорными линиями. Однако платформа SPAR имеет одну из самых сложных систем монтажа, поскольку основание необходимо отбуксировать к месту установки платформы и погрузить в воду, прежде чем турбину можно будет состыковывать сверху с помощью кран-баржи.

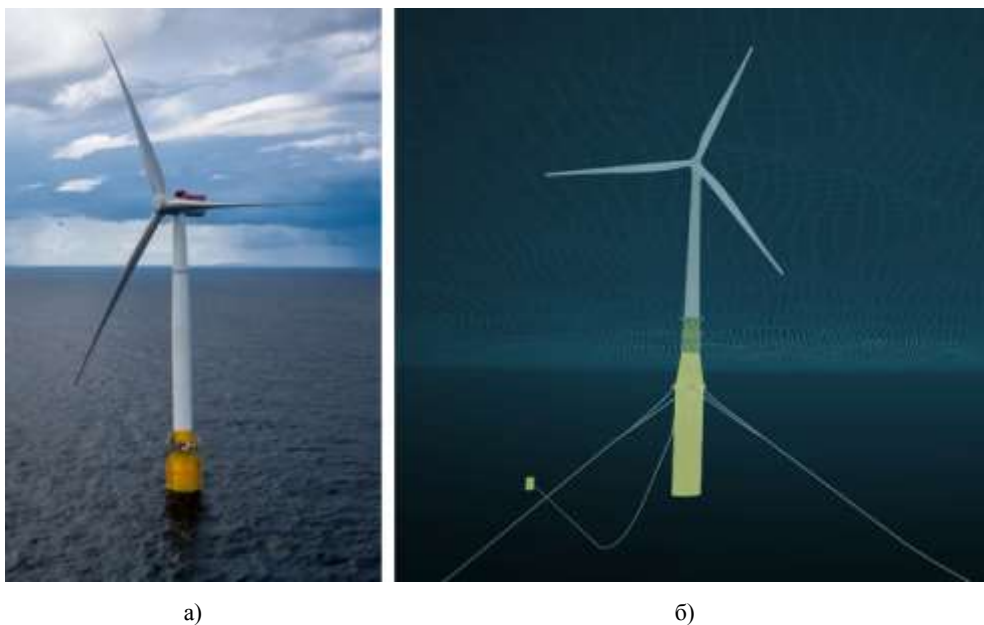


Рис. 4. Плавучая ветряная электростанция Hуwind Scotland (а – фото, б – 3D-визуализация) [6]

### **Полупогружные платформы**

В настоящее время разрабатывается немало проектов МПВТ на основе полупогружных платформ. В последние несколько лет Франция и Великобритания начали активно увеличивать количество установок данного типа.

WindFloat Atlantic – первая в мире полупогружная плавучая морская ветряная электростанция, введена в эксплуатацию в 2020 году (представлена на рисунке 5). В 2022 году проект мощностью 25 МВт выработал 78 ГВтч. Он обеспечивает электроэнергией более 25 тыс. домов и позволяет избежать выбросов 33 тыс. тонн углекислого газа. ПВЭС расположена в 20 км от побережья Португалии в муниципалитете Виана-ду-Каштелу. Каждая ПМВТ состоит из трех ветряных турбин Vestas мощностью 8,4 МВт, которые установлены на полупогружных трехколонных

плавучих платформах, прикрепленных цепями к морскому дну. Подводный кабель длиной 20 км соединяет плавучую турбину с береговой подстанцией [7].

Полупогружные опорные конструкции обычно состоят из ряда вертикальных колонн, соединенных поперечными связями или понтонами. Количество турбин и их расположение бывают различные. В полупогружных платформах используется цепное крепление и якоря. Данный тип платформ размещают как на малых, так и на больших глубинах. Такие платформы легко буксировать на место установки. Ключевым преимуществом полупогружных платформ была используемая технология сборки – сухая (доковая) сборка, обеспечивающая простоту и удобство логистики, значительную финансовую экономию, а буксировка платформ осуществлялась с помощью стандартных буксиров. Ограниченная чувствительность к глубине воды, интеграция с причалом, большая грузоподъемность и возможность перемещения платформы — это лишь некоторые преимущества полупогружных платформ.



Рис. 5. Полупогружная плавучая морская ветряная электростанция WindFloat Atlantic (а – фото, б – 3D-визуализация) [8]

### **Платформы типа TLP**

Не менее привлекательной конструкцией основания морских установок является платформа с натяжными связями (TLP).

Компания SBM Offshore установила три МПВТ для пилотного проекта Provence Grand Large в 2023 году в 17 километрах от Порт-Сен-Луи-дю-Рон (Франция), на глубине около 100 метров. Provence Grand Large — проект, в котором используется платформа-буй на натяжных опорах, изображен на рисунке 6. Ожидается, что ПВЭС будет производить электроэнергию, эквивалентную годовому потреблению электроэнергии 45 тыс. жителей. Турбины будут подключены к электrorаспределительной сети, посредством 19-километрового подводного кабеля и 9-километрового подземного кабеля, от плавучей станции до Порт-Сен-Луи-дю-Рон. Первые МВт ожидаются в начале 2024 года после завершения испытаний. Пилотная электростанция мощностью 25 МВт состоит из трех TLP высотой 45 м, на каждую из которых устанавливают ветряной генератор мощностью 8,4 МВт. Это самые мощные турбины, установленные сегодня на континентальном шельфе Франции. Платформы представляют собой конструкции в форме штатива и имеют на концах два погружных буй, между которыми находится инновационная система крепления с натянутыми тросами [9].

Основания TLP уже широко используются на морских нефтегазовых платформах и лучше всего подходят для акваторий с глубинами от 70 до 200 метров. Они имеют погруженную в воду центральную колонну, прикрепленную к морскому дну прочными вертикальными тросами, которые ограничивают возникновение

крена. Стальные натяжные тросы требуют больше удерживающих сил, чем цепные якорные линии, что делает связи более дорогими в установке и чувствительными к экстремальным погодным условиям, землетрясениям и разжижению грунтов. С другой стороны, вертикальное размещение связей занимает гораздо меньше места, чем другие типы креплений, что является преимуществом в чувствительных экологических зонах, таких как маршруты миграции китов.



а)

б)

Рис. 6. Платформа TLP Provence Grand Large (а – фото, б – 3D-визуализация) [9, 10]

### **Перспективные проекты морских платформ**

Мировые технологии не стоят на месте, развитие морской ветроэнергетики идет огромными шагами. Современные морские установки впечатляют своими разработками, воплощенными в реальность.

Проект PivotBuoy — первая в мире поворотная плавучая ветряная платформа TLP для экспорта электроэнергии, созданная компанией X1 Wind, представлена на рисунке 7. В 2022 году проводились испытания масштабированной модели, получившей обозначение X30. В марте 2023 года платформа X30 выработала первую электроэнергию.

Система PivotBuoy сочетает в себе преимущества одноточечных швартовых систем – SPM (простота установки) с преимуществами систем натяжных опор – TLP (снижение веса и повышение устойчивости). Швартовая система PivotBuoy состоит из неподвижной части, прикрепленной к морскому дну, и подвижной части, которая вращается вместе с платформой. В отличие от существующих платформ, PivotBuoy принимает ветровую нагрузку с подветренной стороны, позволяя установке пассивно поворачиваться по принципу флюгера и самостоятельно ориентироваться под воздействием ветра. Это позволяет удалить традиционную башню и создать опору в форме треноги, более эффективную в передаче нагрузки [11].

Система PivotBuoy предназначена для предварительной установки вместе с швартовой системой и позволяет быстро подключать и отсоединять платформу. Это позволяет собирать платформу на берегу, а затем буксировать ее на площадку с

использованием малых и средних судов, что упрощает морские операции и снижает затраты на установку. Установка на точке с использованием натяжных связей по сравнению с якорями с длинным распором и волочением, используемыми в цепных системах, обеспечивает значительное уменьшение площади контакта платформы с морским дном и, как следствие, снижение воздействия на окружающую среду. Платформу платформы возможно на глубинах от 60 до 500 метров и более.

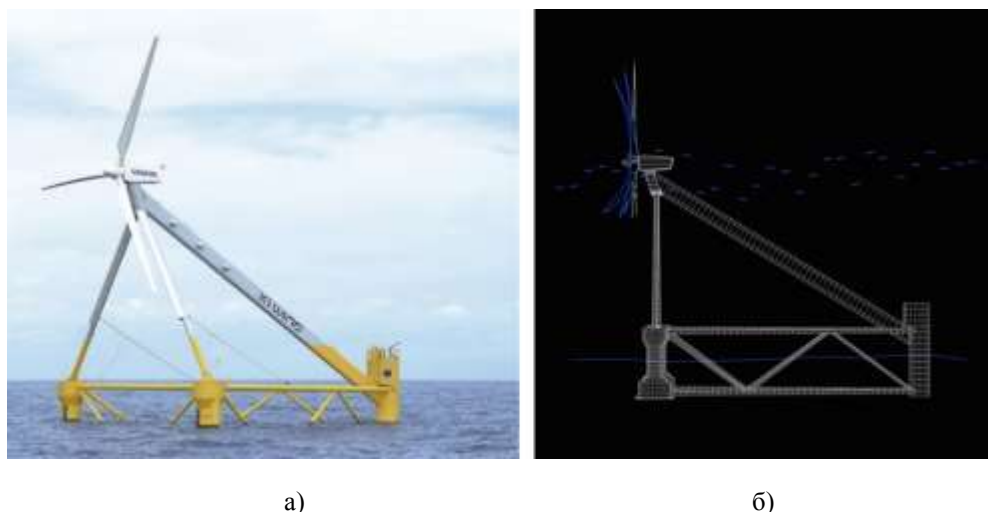


Рис. 7. Проект PivotBuoy (а – фото, б – 3D-визуализация) [11, 12]

### **Платформы третьего поколения**

Gazelle Wind Power (Gazelle), разработчик модульной плавучей морской ветряной платформы, представил технологию третьего поколения, изображенную на рисунке 8. Усовершенствованная конструкция компании решает основные проблемы, стоящие перед морской ветроэнергетической отраслью, таких как стоимость, затруднения в цепочке поставок и устойчивость. Платформа «Gazelle» существенно отличается от более старых моделей, которые являются тяжелыми, громоздкими, сложными в сборке и транспортировке, при этом снижая затраты на 30% по сравнению с обычными полупогружными конструкциями. Частично это улучшение связано с сокращением количества металла в конструкции по сравнению с традиционными морскими платформами. Данную платформу можно быстро и просто установить на объекте, так как она не требует специальных кранов или судов благодаря модульному процессу сборки.

Компания заявляет, что ее странная на вид платформа представляет собой нечто среднее между полупогружной платформой и платформой с натяжными связями (TLP). Основание платформы прикреплено тросами к морскому дну. Ее система «динамической швартовки» создает примерно на 80 % меньшую нагрузку на донные тросы, чем обычная платформа с натяжными связями. Стальные связи поднимаются к плавучей конструкции, проходят через поворотные рычаги, а затем опускаются и прикрепляются к тяжелому противовесу, подвешенному под платформой. Дизайн позволяет платформе двигаться горизонтально и вертикально под воздействием ветра и волн, практически с нулевым углом наклона. Хотя большинство морских ветряных турбин рассчитаны на угол наклона до 10°, это приводит к дополнительному износу компонентов платформы. Угол наклона менее 10° означает меньший износ, меньшие затраты на техническое обслуживание и более длительный срок службы генератора. Геометрия платформы обеспечивает меньшую осадку в порту, что позволяет избежать

реконструкции портов, используя имеющиеся неглубоководные достроечные набережные [13].



а)

б)

Рис. 8. Модульная плавучая ветряная платформа Gazelle  
(а – фото, б – 3D-визуализация) [13]

#### **Отказ от привычных лопастей**

Несмотря на то, что основным различием всех ПВЭС является концепция плавучего фундамента, некоторые разработчики решили отказаться от трехлопастной турбины.

В частности, шведская компания SeaTwirl запатентовала плавучую ветряную турбину с вертикально ориентированной осью вращения (рисунок 9). Главное преимущество такой турбины - возможность установки ее в море на гораздо больших расстояниях, где практически всегда дуют сильные ветры. Вертикальная ориентация турбины и лопастей снижает нагрузку на подшипники вала, что делает этот узел дешевле и долговечнее, а нижнее расположение генератора (на уровне моря) облегчает обслуживание и позволяет избежать дорогостоящих монтажных работ, как и исключает из проекта высокопрочные и дорогие вспомогательные башенные конструкции.

Вертикально ориентированные лопасти должны выдерживать ветер до 50 м/с. Высота надводной части достигнет 55 м, а подводная уйдет на 80 м ниже уровня моря. Турбина будет отбуксирована в море на участок с глубиной не менее 100 м. Ввод объекта в эксплуатацию ожидается к концу 2023 года с периодом испытаний около пяти лет. Успех позволит SeaTwirl перейти к разработке плавучих турбин с вертикальной ориентацией мощностью от 6 до 10 МВт [14].

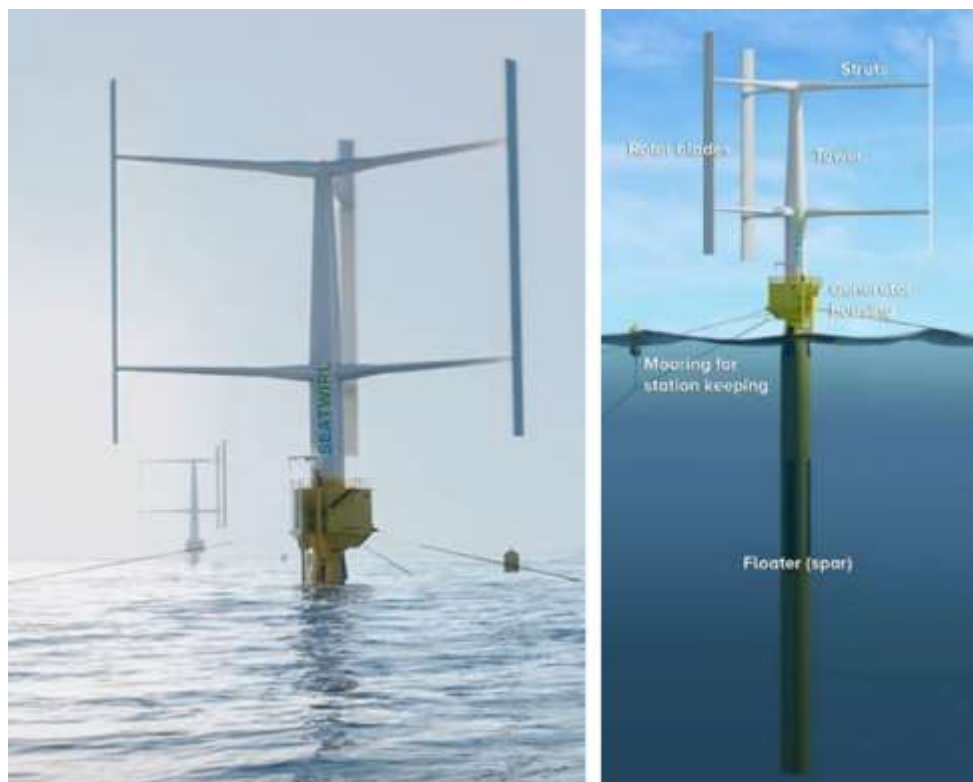


Рис. 9. Плавающая ветряная турбина с вертикально ориентированной осью вращения компании SeaTwirl (а – фото; б – 3D-визуализация) [14]

### **Морская ветроэнергетика в России**

Рассматривая состояние морской ветроэнергетики в России, можно отметить, что проекты плавучих ветряных электростанций не развиваются с такой же интенсивностью, как, например, в странах Западной Европы. Это связано с тем, что северные и восточные акватории страны являются полностью или частично замерзающими. Лед, являясь источником опасности, может нанести колоссальный ущерб при столкновении с конструкциями. Для всех плавучих сооружений, которые постоянно или периодически контактируют со льдом, необходимо дополнительное конструктивное укрепление, из-за чего стоимость сооружений значительно увеличивается. Несмотря на то, что постройка ПВЭС в ледовых условиях пока нерентабельна, ученые стараются решить данную задачу.

Южные моря России имеют более благоприятный климат. Однако возникает вопрос о рентабельности создания ПВЭС, поскольку акватории южных морей не обеспечивают достаточного ветрового воздействия для эффективного использования ПВЭС.

### **Заключение**

Существует множество форм и подходов к разработке дизайна плавучих ветряных электростанций. В различных странах мира отмечаются попытки создания моделей плавучих установок с двумя и большим количеством ветряных турбин. В связи с тем,

что экспериментальные модели не воплощаются в натурные объекты, можно сделать вывод, что надежнее и эффективнее создавать платформы с одной турбиной.

Что касается плавучих фундаментов, нельзя утверждать, что один конкретный тип будет лидировать в будущем. МПВТ – сложный объект, архитектура которого зависит от многих параметров. Основными критериями при расчете конструкций являются глубина моря, сила воздействия ветра, течений, землетрясений. Главной составляющей при определении типа МПВТ является экономическая рациональность. Проблему представляет место создания конкретной ветровой установки: трудно найти подходящее место сборки конструкции, так как большинство судовых достроечных набережных не рассчитаны на монтаж и сборку конструкций больших размеров. По этой же причине появляются проблемы транспортировки МПВТ и их выгрузки с судна.

Хотя при проектировании современных МПВТ стараются отказываться от классических конструкций полупогружных платформ и TLP, применяя гибридные конструкции, многие компании не спешат отказываться от простых, громоздких конструкций, проверенных временем. Ветряные турбины будут продолжаться увеличиваться в размерах для достижения целей декарбонизации и удовлетворения потребностей в энергии, причем некоторые из них достигнут высоты, сравнимой с наиболее крупными наземными сооружениями. Это означает, что плавучая платформа, поддерживающая турбину, должна быть большой и устойчивой в глубоком море, чтобы обеспечить оптимальную работу и производительность.

России нельзя отказываться от дальнейшей разработки проектов ПВЭС. Географическое расположение нашей страны позволит в ближайшем будущем использовать морские ветровые ресурсы также эффективно, как это делают другие морские державы. В настоящее время следует обратить внимание на места с большими ветровыми источниками на суше страны и сосредоточить усилия на создании стационарных ветряных электростанций, конструкции которых можно будет использовать в будущем с учетом доработки на морских ветровых установках.

#### Список литературы

1. A turning point for offshore wind. Global opportunities and risk trends. Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS) report, Поворотный момент для морской ветроэнергетики. Глобальные возможности и тенденции рисков. Отчет компании Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS), сентябрь 2023. – Текст : электронный // Allianz Commercial : [официальный сайт]. - 2023. - URL: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/offshore-wind-opportunities-risks.html#:~:text=Global%20offshore%20wind%20capacity%20at,years%20> (дата обращения: 01.12.2023).
2. Floating Wind Power Market. Precedence Research report, код отчёта 2225, август 2023г. – Текст : электронный // Precedence Research: [официальный сайт]. - 2023. URL: <https://www.precedenceresearch.com/floating-wind-power-market> (дата обращения: 01.12.2023).
3. Offshore wind vessel availability until 2030: Baltic Sea and Polish perspective. Заключительный отчет, июнь 2022 г. – Текст : электронный // H-BLIX. – 2022. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/topics/offshore/Offshore-wind-vessel-availability-until-2030-report-june-2022.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
4. Jakobsen, E.G., Ironside, N. Oceans unlocked - a floating wind future. Текст : электронный // COWI - 2021. URL: <https://www.cowi.com/insights/oceans-unlocked-a-floating-wind-future> (дата обращения: 01.12.2023).
5. Gibson S., Brown W. Wind Energy Ireland. – Текст : электронный // Исследовательский проект National Port Study - Сентябрь 2021. - URL: <https://windenergyireland.com/images/files/final-national-ports-study.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
6. Rummelhoff I., World's first floating wind farm has started production. – Текст : электронный // Equinor : [официальный сайт]. 2017. - URL: <https://www.equinor.com/>

- news/archive/worlds-first-floating-wind-farm-started-production (дата обращения: 01.12.2023).
7. Lewis M. World's first semi-submersible floating offshore wind farm blows past expectations. – Текст : электронный // Electrek : [официальный сайт]. – 2023. - URL: <https://electrek.co/2023/01/30/semi-submersible-floating-offshore-wind-farm/> (дата обращения: 01.12.2023).
  8. Robertson A.N., Jonkman J.M. Loads Analysis of Several Offshore Floating Wind Turbine Concepts. - Текст : электронный // NREL. стр.5. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/50539.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
  9. SBM Offshore announces the successful installation of the 3 floating wind units for the Provence Grand Large pilot project. - Текст : электронный // CSN: [официальный сайт] - 2023. // URL: <https://cyprusshippingnews.com/2023/10/17/sbm-offshore-announces-the-successful-installation-of-the-3-floating-wind-units-for-the-provence-grand-large-pilot-project/> (дата обращения: 01.12.2023).
  10. SBM Offshore is selected by EDF Energies Nouvelles to provide floating wind systems solution for pilot offshore France. - Текст : электронный // Windfair : [официальный сайт] - 2016. // URL: <https://w3.windfair.net/wind-energy/news/23446-sbm-offshore-is-selected-by-edf-energies-nouvelles-to-provide-floating-wind-systems-solution-for-pilot-offshore-france> (дата обращения: 01.12.2023).
  11. Официальный сайт компании Pivotbuoy, URL: <https://pivotbuoy.eu/> (дата обращения: 01.12.2023).
  12. Официальный сайт компании X1 Wind, URL: <https://www.x1wind.com/technology> (дата обращения: 01.12.2023).
  13. Blain L. Pivoting arms could stabilize massive floating offshore wind turbines - Текст : электронный // New Atlas : [официальный сайт] - 2023. // URL: <https://newatlas.com/energy/gazelle-floating-wind> (дата обращения: 01.12.2023).
  14. Дегинич Г. У берегов Норвегии протестируют 135-метровый ветряк с вертикальными лопастями для морских электростанций. - Текст : электронный // 3dnews.ru : [официальный сайт] - 2023. // URL: <https://3dnews.ru/1074071/vetroenergetika-uydyot-ot-beregov-v-more-pervuyu-vertikalno-orientirovannuyu-vetryanuyu-turbinu-moshchnostyu-1-mvt-razvernuto-u-beregov-norvegii> (дата обращения: 01.12.2023).

#### References

1. A turning point for offshore wind. Global opportunities and risk trends. Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS) report, September 2023 Text: electronic // Allianz Commercial: [official website]. - 2023. URL: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/offshore-wind-opportunities-risks.html#:~:text=Global%20offshore%20wind%20capacity%20at,years%20> (accessed 01.12.2023).
2. Floating Wind Power Market. Precedence Research report, report code 2225, August 2023. Text: electronic // Precedence Research: [official website]. - 2023. URL: <https://www.precedenceresearch.com/floating-wind-power-market> (accessed 01.12.2023).
3. Offshore wind vessel availability until 2030: Baltic Sea and Polish perspective. Final report, June 2022. Text: electronic // H-BLIX. – 2022 URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/topics/offshore/Offshore-wind-vessel-availability-until-2030-report-june-2022.pdf> (accessed 01.12.2023).
4. Jakobsen, E.G., Ironside, N. Oceans unlocked - a floating wind future. Text: electronic // COWI. - 2021. // URL: <https://www.cowi.com/insights/oceans-unlocked-a-floating-wind-future> (accessed 01.12.2023).
5. Gibson S., Brown W. Wind Energy Ireland, September 2021. // Project Title: National Port Study. - URL: <https://windenergyireland.com/images/files/final-national-ports-study.pdf>. (accessed 01.12.2023).
6. Rummelhoff I., World's first floating wind farm has started production. Text: electronic // Equinor: [official website]. - 2017. - URL: <https://www.equinor.com/news/archive/worlds-first-floating-wind-farm-started-production>. (accessed 01.12.2023).
7. Lewis M. World's first semi-submersible floating offshore wind farm blows past expectations. Text: electronic // Electrek: [official website]. – 2023. -



- URL: <https://electrek.co/2023/01/30/semi-submersible-floating-offshore-wind-farm/> (accessed 01.12.2023).
8. Robertson A.N., Jonkman J.M. Loads Analysis of Several Offshore Floating Wind Turbine Concepts. Text: electronic // NREL. pp.5. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/50539.pdf> (accessed 01.12.2023).
  9. SBM Offshore announces the successful installation of the 3 floating wind units for the Provence Grand Large pilot project. Text: electronic // CSN: [official website]. - 2023. - URL: <https://cyprusshippingnews.com/2023/10/17/sbm-offshore-announces-the-successful-installation-of-the-3-floating-wind-units-for-the-provence-grand-large-pilot-project/> (accessed 01.12.2023).
  10. SBM Offshore is selected by EDF Energies Nouvelles to provide floating wind systems solution for pilot offshore France. Text: electronic // Windfair: [official website]. - 2016. // URL: <https://w3.windfair.net/wind-energy/news/23446-sbm-offshore-is-selected-by-edf-energies-nouvelles-to-provide-floating-wind-systems-solution-for-pilot-offshore-france> (accessed 01.12.2023).
  11. Official website of the company Pivotbuoy, URL: <https://pivotbuoy.eu/> (accessed 01.12.2023).
  12. Official website of the company X1 Wind, URL: <https://www.x1wind.com/technology> (accessed 01.12.2023).
  13. Blain L. Pivoting arms could stabilize massive floating offshore wind turbines. Text: electronic // Newatlas: [official website]. - 2023. URL: <https://newatlas.com/energy/gazelle-floating-wind> (accessed 01.12.2023).
  14. Detinich G. U beregov Norvegii protestiruyut 135-metrovyy vetryak s vertikal'nymi lopastyami dlya morskikh elektrostantsiy [A 135-meter wind turbine with vertical blades for offshore power plants will be tested off the coast of Norway.] - Text: electronic // 3dnews.ru electronic journal: [official website].- 2023. // URL: <https://3dnews.ru/1074071/vetroenergetika-uydyot-ot-beregov-v-more-pervuyu-vertikalno-orientirovannuyu-vetryanuyu-turbinu-moshchnostyu-1-mvt-razvernuto-u-beregov-norvegii> (accessed 01.12.2023).

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

**Чалкина Анастасия Антоновна**, студент кафедры «Океанотехники и морских технологий», Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121, Санкт-Петербург, улица Лоцманская, дом 3, e-mail: [nastia35351@gmail.com](mailto:nastia35351@gmail.com)

**Anastasia A. Chalkina**, Student of the Department of «Ocean Engineering and Marine Technologies» of the State Marine Technical University, Lotsmanskaya Street, 3, Saint-Petersburg, 190121, Russia, e-mail: [nastia35351@gmail.com](mailto:nastia35351@gmail.com)

**Лобанов Алексей Валериевич**, к.т.н., начальник отдела обеспечения морской деятельности судостроения и эксплуатации морской техники, ПАО «Газпром», 197229, Санкт-Петербург, проспект Лахтинский, дом 2, корпус 3, строение 1, e-mail: [al.lobanov@adm.gazprom.ru](mailto:al.lobanov@adm.gazprom.ru)

**Aleksey V. Lobanov**, Head of the Marine Activity Support Department of Shipbuilding and Marine Equipment Operation, PJSC Gazprom, Lakhtinsky Avenue, 2, 3, 1, Saint-Petersburg, 197229, Russia, e-mail: [al.lobanov@adm.gazprom.ru](mailto:al.lobanov@adm.gazprom.ru)

Статья поступила в редакцию 21.12.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 21.12.2023; published online 20.03.2024

УДК 656.61

DOI: 10.37890/jwt.vi78.443

## **Влияния течения на курс и скорость парусного судна**

**В.Н. Яковлев**

*ORCID: 0000-0001-7624-7569*

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

**Аннотация:** Особенностью движения парусного судна является зависимость его скорости не только от силы ветра, но и от курса судна по отношению к ветру. Эта зависимость графически отражается в его поляре. Специальной особенностью движения парусного судна на течении является влияние самого этого течения на ветер, действующий на паруса. Рассмотрена специфика выбора курса парусного судна на течении с учетом этого влияния. Уточняется принятая и предлагается новая терминология в названиях ветров, участвующих в создании действующего на паруса вымпельного ветра. Показан правильный вид треугольника скоростей для определения истинного ветра при наличии ветрового дрейфа судна. Предложена методика определения курса и скорости парусного судна на течении с использованием его поляры.

**Ключевые слова:** Ветер переносный, относительный, географический, истинный, вымпельный. Угол дрейфа. Поляра парусного судна, курс парусного судна.

## **The effect of current on the course and speed of a sailing ship**

**Vladimir N. Yakovlev**

*ORCID: 0000-0001-7624-7569*

*Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia*

**Abstract:** One of the characteristic features of the movement of a sailing ship is the fact that its speed depends not only on the strength of the wind, but also on the course of the ship in relation to the wind. This dependence is graphically reflected in its polar. A special feature of the movement of a sailing ship in a current is the influence of this current itself on the wind acting on the sails. The specifics of choosing the course of a sailing ship depending on a current are considered. The accepted terminology is clarified and new terminology is proposed in the names of the winds involved in the creation of the apparent wind acting on the sails. The correct view of the speed triangle is shown to determine the true wind in the presence of wind drift of the vessel. A technique is proposed for determining the course and speed of a sailing ship in a current using its polar.

**Keywords:** convectional wind, relative wind, geographical wind, true wind, apparent wind, angle of leeway, sailing ship polar, course of a sailing ship.

### **Введение**

Задачи использования вспомогательного парусного вооружения на больших коммерческих судах для экономии топлива и, тем самым, снижения загрязнения атмосферы стали в последнее время вновь актуальными, что видно из множественных проектов, которые планируются к реализации, или уже вошли в реальную практику судоходства [1-8]. В качестве примера на рис.1 приведен сухогруз с прусами, описание которого дано в источнике [6].



Рис.1. Cargill проводит испытания сухогруза с парусами

Вместе с тем, представляется, что остается ряд вопросов, касающихся специфики плавания именно под парусом, и особенно плавания под парусом на течении, которые недостаточно точно описаны в имеющейся литературе.

Необходимо точнее определить влияние скорости и направления сносящего течения на тот ветер, которым располагает судно для движения под парусом, влияние направления результирующего ветра на курсы, которыми может (или не может) двигаться парусное судно. Определения его скорости, которая зависит от того, каким курсом относительно ветра оно идет, каков при этом угол дрейфа и т.д.

Кроме того, нуждаются в уточнении и дополнении термины в названиях ветров, определяющих возможность движения под парусом, варианты которых предлагаются в этой статье.

### **Материалы и методы**

Решение поставленной задачи базируется на анализе существующих методик определения курса и ведения прокладки на карте, а также подробном анализе всех компонентов водной и воздушной среды, а также характера движения судна на формирование вымпельного ветра (Apparent Wind) непосредственно действующего на паруса судна. Иностранные термины используются для краткости и большей общности изложения, т.к. в специальной литературе они зачастую используются без расшифровки).

Итак, известный способ учета течения и выбор курса, которым должно идти судно CTS = Course to Steer - прост и по «классическому» справочнику Б.Бонда заключается в следующем: «Штурман начинает прокладку курса с проведения на карте линии пути между пунктами выхода А и назначения В. По таблицам приливов найдите направление и скорость приливного течения для соответствующего времени: в данном случае направление течения  $120^\circ$ , а его скорость 1 уз. Из точки А проведите линию под углом  $120^\circ$  и отложите на ней в масштабе скорость 1 уз. Получите точку С, куда прилив отнес бы яхту, если бы она дрейфовала в течение 1 ч.

Пусть собственная скорость яхты 4 уз.

Используя тот же масштаб (величину мили снимают измерителем с боковой шкалы карты на данной широте), разведите циркуль на 4 М и, поставив ножку циркуля в точку С, прочертите дугу так, чтобы пересечь линию АВ или ее продолжение в точке D.

Соединив точки С и D, измерьте направление CD (угол между линией CD и меридианом) транспортиром или параллельной линейкой. Это и будет истинный курс, которым должна пойти яхта.» [9].

На рис.2. представлен «Классический способ» Б.Бонда.

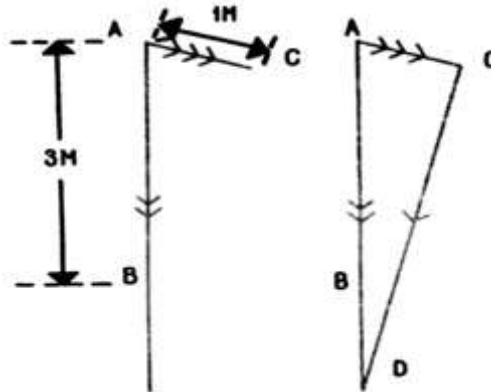


Рис.2. «Классический способ» Б.Бонда

Этот подход предлагается во всех учебниках, и, в том числе, например, в справочнике известного яхтсмена Ивара Дедекама [10]. На рис.3 представлен «Классический способ» И.Дедекама. Такой подход предполагает, что скорость судна известна.

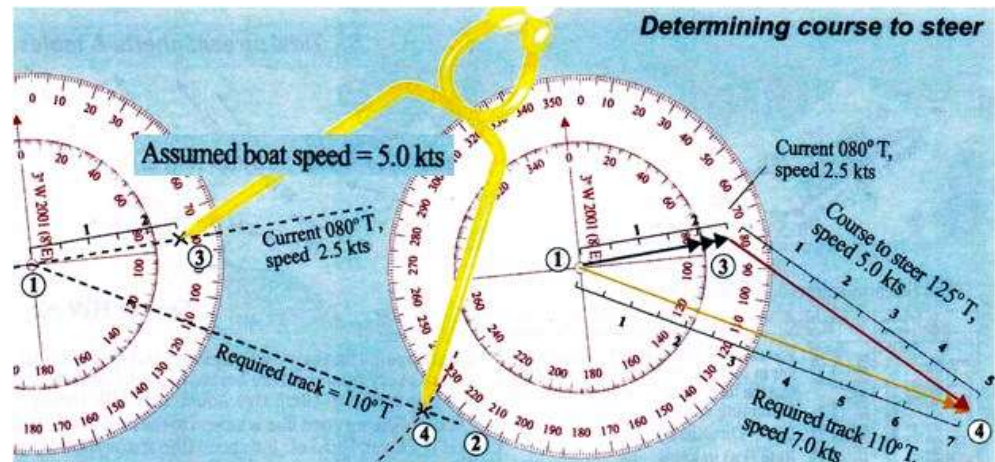


Рис.3. «Классический способ» И.Дедекама

Он работает для моторных судов, которые могут двигаться в любом направлении относительно ветра с (более- менее) постоянной и известной скоростью.

Однако, как указывалось, скорость же парусника завит от угла его курса к ветру, и пока курс не определен не определена и скорость судна.

Таким образом получается, что этим методом нельзя точно определить курс, так как неизвестна скорость судна, которая для парусника от курса же и зависит. И нельзя точно определить скорость, т.к. курс еще не выбран.

Очевидно, что нужна более точная методика, позволяющая одновременно определять и курс, и скорость, с которой судно может этим курсом идти.

Для решения этой задачи необходимо использовать полярю парусного судна, и как это делать будет показано далее.

Но, предварительно, требуется уточнение терминологии в названиях ветров, действующих на судно.

Поляр парусника строится как известно, относительно истинного ветра.

При этом вопрос что такое «истинный ветер» при наличии течения сам по себе заслуживает внимания, поскольку точность использования этого термина для плавания на течении в классических яхтенных учебниках и справочниках увы не обсуждается.

В разных публикациях под истинным ветром понимается:

- или ветер над сушей (он же географический ветер, terrain wind),
- или ветер над водой, представляющий собой векторную сумму географического ветра и ветра, возникающего на судне за счет его переноса течением, если такое течение есть.

Для наблюдателя, стоящего на поверхности Земли «географический ветер» и «истинный ветер» будут одним и тем же ветром. Географический ветер является в полном смысле истинным для летчиков, парапланеристов, парашютистов и т.п. В этом же смысле оба термина также используются как синонимы в рекламах производителей оборудования для измерения скорости ветра, и многих яхтенных справочниках и учебниках.

Второй вариант определения истинного ветра представляется более удобным. При этом, для строгости определений, полноты и точности описания скоростей как величин векторных нужно ввести пару новых кратких терминов.

Первый – для ветра, возникающего на судне за счет его переноса течением. На течении такой ветер ощущается даже если скорость географического ветра равна нулю (полный штиль) и судно неподвижно относительно воды.

Отсутствие устоявшегося термина для такого ветра и не учёт его при определении ветра, действующего на паруса, подтверждает высказанное выше соображение о том, что этой особенности до сих пор не уделялось должного внимания.

Если использовать терминологию кинематики (движение относительное-переносное-абсолютное), то снос течением судна относительно грунта можно назвать движением переносным и использовать термин переносный для такого ветра.

Итак, переносный ветер (Bulk Wind) – это ветер, ощущаемый на судне, и возникающий из-за сноса этого судна течением, и независимый от наличия или отсутствия географического ветра над сушей и скорости и направления движения судна по воде. Скорость переносного ветра (Bulk Wind Speed = BWS) по модулю равна скорости сноса течения (Current Drift = DFT) и направлена противоположно его направлению (Current Set = SET).

Тогда, как указано выше, в итоге истинным ветром для судна на течении будет ветер, являющийся векторной суммой географического и переносного ветров.

Направление так определенного истинного ветра относительно истинного географического севера обозначается как True Wind Direction = TWD (не путать с True Wind Angle = TWA – углом относительно ДП судна).

В терминологии кинематики движение яхты относительно дна есть движение абсолютное, движение воды относительно дна есть движение переносное, а движение яхты относительно воды – движение относительное.

В этом смысле истинный ветер как векторная сумма географического и переносного ветров имеет для парусника смысл ветра «абсолютного».

Второй необходимый термин - термин для ветра возникающего из-за движения судна по воде. Этот ветер равен по силе (по модулю) скорости движения судна и

противоположный ей по направлению. Этот ветер участвует (как слагаемое в сумме с истинным ветром) в определении понятия вымпельного ветра (Apparent Wind)

Для обозначения этого ветра общепринятого термина также не существует (что, конечно, довольно странно). Иногда его называют кажущимся. Однако термин «кажущийся» по смыслу больше подходит как описание ветра вымпельного (а в английской терминологии именно так и называется). А поскольку термин «вымпельный ветер» является «классическим», то использование термина «кажущийся» для этой цели только запутывает ситуацию.

Можно привести так же часть описания треугольника скоростей в фундаментальном труде Дж.У. Слоофф: First of all we note that any vehicle moving with a velocity  $V_b$  in still air creates its own wind: it experiences an air stream with a velocity –  $V_b$  of equal magnitude but direction opposite to  $V_b$ ». (Прежде всего отметим, что любое судно, движущееся со скоростью  $V_b$  в неподвижном воздухе создает свой собственный ветер, который ощущается как поток воздуха со скоростью –  $V_b$  равной по величине, но противоположно направленный  $V_b$ ) [11].

Такой описательный, без определения точного термина подход представляется странным и неудобным для описания этого (как и любого) ветра.

В книге «Морская навигация» Сидорова В.И. и Романова В.В. для такого ветра используется термин «курсовой ветер» [12]. По названию (курсовой), и по приведенному в [6] построению направление этого ветра указано на линии курса судна. Понятно, однако, что правильное направление этого ветра совпадает не с курсом яхты, а с направлением его движения по воде (Course Through the Water = CTW), которой отличается от курса судна (Heading) на угол лавировки (LEEWAY). Важное отличие для парусника.

Вместе с тем из кинематики для этого «безымянного» ветра ( $V_b$ ) можно взять ясный и однозначный термин.

Такой ветер правильно назвать относительным ветром (Relative Wind), поскольку возникает он из-за движения судна относительно воды. Итак, в нашем определении относительный ветер – это ветер, возникающий из-за движения судна относительно воды, и не зависящий от наличия или отсутствия других ветров.

В таком случае вымпельный ветер четко определяется как векторная сумма векторов скоростей относительного и истинного ветра (который, напомним, в свою очередь, сам есть векторная сумма географического и переносного ветров).

Кстати, в известной книге Адларда Колса говорится, что: «Яхтсмены на сильных приливо-отливных течениях обычно неправильно оценивают силу вымпельного ветра» [13].

Вероятно, это опечатка (или не точный перевод), так как вымпельный ветер – это именно то, что в итоге реально ощущается, определяется, оценивается судоводителем на палубе (и действует, понятно, на приборы и паруса именно он ветер вымпельный). А вот оценка истинного ветра (True Wind Speed = TWS) вполне может быть ошибочной. Например, возможна недооценка силы истинного ветра, когда парусник идет полным курсом по течению. И эта недооценка может привести к сложностям, если затем потребуются поменять курс на противоположный и идти назад в лавировку против ветра и течения - обычная ошибка малоопытных яхтсменов.

Реально в плавании скорость истинного ветра (TWS = True Wind Speed) на судне не может быть измерена непосредственно, но вычисляется по показаниям приборов.

Измеряемыми величинами на судне являются скорость и направление вымпельного ветра (Apparent Wind Speed = AWS и Apparent Wind Angle = AWA), и скорость судна относительно воды (Boat True Velocity = BTV или Speed Through the Water = STW).

Скорость и направление вымпельного ветра измеряется анемометром и флюгаркой на топе мачты.

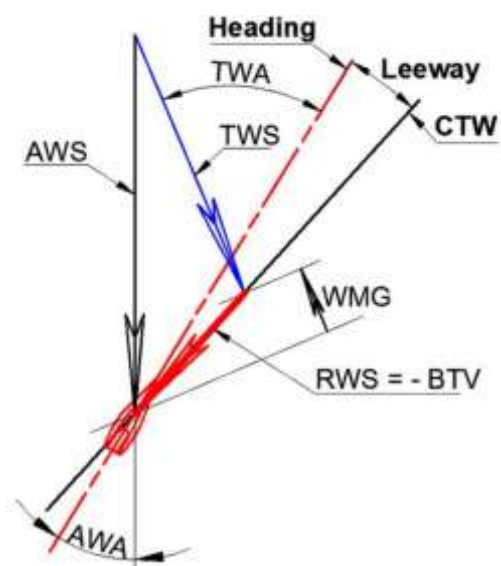
Пока считаем, что здесь проблем точности измерений нет – влияние крена, «слива» ветра с парусов и т.д. не рассматриваем, чтобы не утонуть в деталях.

Скорость относительного ветра по модулю равна скорости судна относительно воды и определяется лагом судна. Мы не будем рассматривать углы дрейфа больше, скажем 7-8 градусов, чтобы не углубляться в вопросы о том, как разные лаги измеряют скорость судна относительно воды, т.е. тем самым как измеряется на ходу скорость относительного ветра. Хотя эта разница может быть принципиальной.

Пока будем считать, что измеряемая лагом скорость – это скорость движения центра масс судна относительно воды. Для буксируемых лагов это очевидно. Вертушечные лаги на яхтах также не меняют показания при изменении направления потока в пределах плюс-минус те же 8-10 градусов.

На первый взгляд кажется, что, зная модули векторов вымпельного и относительного ветров, и угол отклонения флюгарки можно составить треугольник скоростей и рассчитать скорость и угол истинного ветра (TWS и TWA).

На рис.4. поясняет особенность измерений TWS. Дело в том, что флюгарка показывает (и измеряет) угол между ДП судна (Heading) и направлением вымпельного ветра (AWA). А вектор относительной скорости (RWS) лежит по линии движения судна относительно воды (CTW). И эти два направления не совпадают! Угол между Heading и CTW есть угол дрейфа судна (Leeway).



- TWS** – скорость истинного ветра
- TWA** – угол истинного ветра (относительно ДП)
- AWS** – скорость вымпельного ветра
- AWA** – угол вымпельного ветра (относительно ДП)
- BTV** – (Boat True Velocity) то же, что и **STW** (Speed Through the Water),
- RWS** – Relative Wind Speed (= -BTV) – предлагаемый термин,
- CTW** = Course Through the Water – actual track through the water
- Leeway** = difference between the **Heading** of the boat and its actual **CTW**
- H** = **Heading** (relative to true north = ИК)
- VMG** = Velocity Made Good

Рис. 4. Влияние дрейфа на измерение TWS

Из рис.4. видно, что для правильного вычисления скорости TWS и угла TWA истинного ветра знать величину угла дрейфа Leeway. А именно по значениям TWS и TWA определяется на поляре скорость движения судна.

Интересно, что есть достаточно много рекомендаций по методам измерений углов дрейфа (буксировкой плавучести или с использованием GPS, например, статья G. Headifen [14]), однако ни одного результата систематических измерений углов дрейфа нет ни в одном справочнике, учебнике или публикации. Между тем, при лавировке в

сильный ветер некоторая потеря скорости потравливанием парусов окупается ростом VMG счет уменьшения угла крена, а, следовательно, и дрейфа.

Еще одну особенность плавания под парусом, а вместе с ней и некоторое разъяснение терминологии иллюстрирует рис.5.



Рис. 5. Уточнение значения некоторых терминов

Направление на контрольную точку маршрута (Course Made Good = CMG) определяется заранее по предварительной прокладке на карте. Со всей аккуратностью, учитывая влияние течения (в том числе на истинный ветер), склонения, девиации, дрейфа определяется курс (Course Through the Water = CTS) который нужно держать, чтобы попасть в нужную путевую точку. CMG и CTS константы для данного отрезка. Скорость продвижения по маршруту (Speed Made Good = SMG) определяется по наблюдениям.

Но, в реальных условиях из-за возможного (реально постоянного) изменения истинного ветра по силе и направлению изменялся бы (при неизменном курсе) и вымпельный ветер. А, значит, требовалась бы постоянное изменение настройки парусов. Вероятно, это не составляет проблему для больших судов, где управление парусами автоматизировано. Однако для малых судов бывает проще немного изменить курс судна (Heading) так, чтобы перенастройки парусов не требовалось. В этом случае направление, куда смотрит нос судна (Heading) постоянно меняется. А вместе с этим изменяются и Speed Over Ground = SOG, и Course Over Ground = COG.

Перейдем теперь к решению обозначенной в начале статьи проблемы парусного судна на течении, когда для нахождения курса надо знать скорость, а сама эта скорость, в свою очередь, зависит от курса.

Для разрешения проблемы нужно использовать поляру парусного судна.

Поляра парусного судна показывает с какой максимальной скоростью может это судно идти под парусами в зависимости от силы и направления истинного ветра. Именно истинного, так как сила и направления вымпельного ветра зависит от того, как управляется судно и как настроены его паруса. Направление истинного ветра определяется в этом случае относительно ДП судна и называется TWA (True Wind Angle). Если скорость судна оказывается меньше указанного в его поляре для данной силы и направления истинного ветра, то необходимо изменить настройку парусов или изменить курс.

Поляра строится на сетке, часть которой для полных курсов приведена на рис.6.

Центром поляры будем называть верхнюю левую точку, куда сходятся линии направлений истинного ветра относительно ДП судна. Эти направления указаны числами от 90 до 180 градусов по правому и нижнему краям сетки.



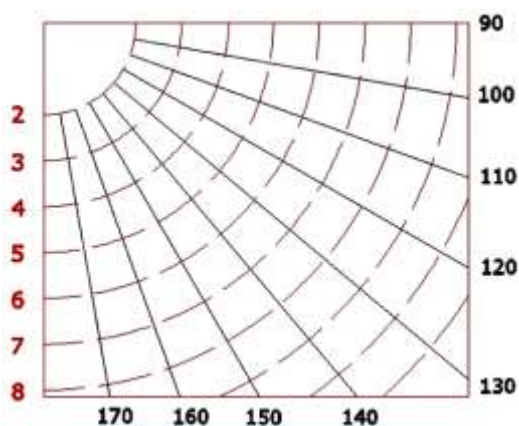


Рис. 6. Сетка для поляры судна

Числа от 2 до 8 на левой стороне (шкале) сетки определяют скорость судна в узлах. Пунктиром показаны окружности равных скоростей. Масштаб шкалы может быть в любых условных единицах, но именно в этом масштабе (в тех же условных единицах длины) нужно строить вектор истинного ветра по векторам географической скорости и скорости течения.

Будем рассматривать в этой работе плавание только полными курсами, чтобы не загромождать построения и рассуждения вопросами предельных углов лавировки, заметным ветровым дрейфом и т.п.

Хотя предлагаемая методика является универсальной и годится для всех возможных курсов. Важен принцип.

Скорость судна определяется по пунктирным линиям, являющимися частями окружностей с радиусами, соответствующими скорости судна относительно воды в узлах. Значения этих скоростей (2-8 узлов) указаны на левой стороне сетки.

Корректное построение поляры процедура не простая. Вероятно, единственным способом сделать это правильно является проведение измерений одновременно на движущемся судне и судне, стоящем в районе маневров на якоре. Естественно, при этом ветер должен быть достаточно ровным и отсутствовало бы течение. Все приборы тарированы и т.д.

Характерный вид ветвей поляры приведен на рис.7.

Цифры показывают скорость истинного ветра в узлах для каждой ветви. Маркерами на кривых отмечены наиболее выгодные направления при лавировке на попутном курсе.

Положение этих маркеров определяется по точке касания горизонтальной касательной к каждой ветви и курсы, соответствующие направлению на такой маркер при данной скорости истинного ветра, обеспечивают максимальную скорость потери высоты по ветру.

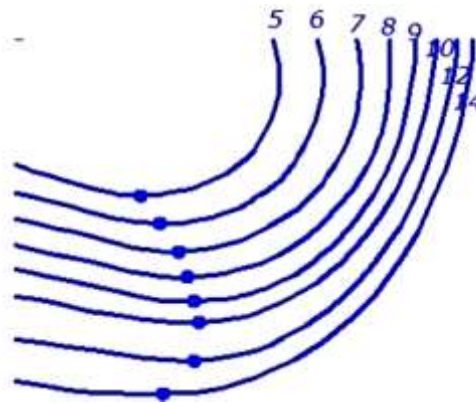


Рис. 7. Ветви поляры для различных скоростей ветра

Сетка и кривые вместе формируют поляру (вернее в данном случае ее часть), показанную на рис.8, которая (и только она) будет использоваться в дальнейших построениях.

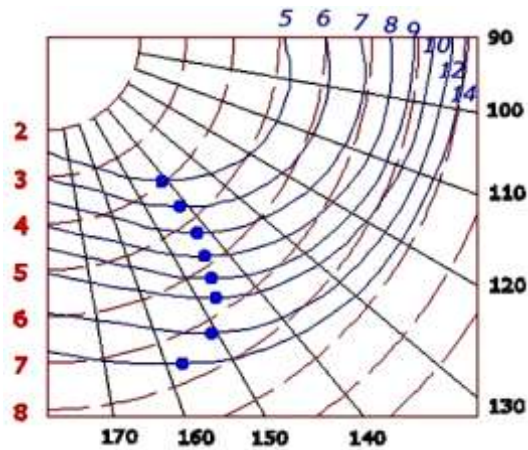


Рис. 8. Поляра для плавания полными курсами

Для наглядности и без ограничения общности дальнейших рассуждений и выводов будем рассматривать одно значение величины и направления географического ветра.

А именно далее везде направление географического ветра - чистый Север и скорость 7 узлов.

Рассмотрим, однако, вначале ситуацию при отсутствии течения, приведенную на рис.9.

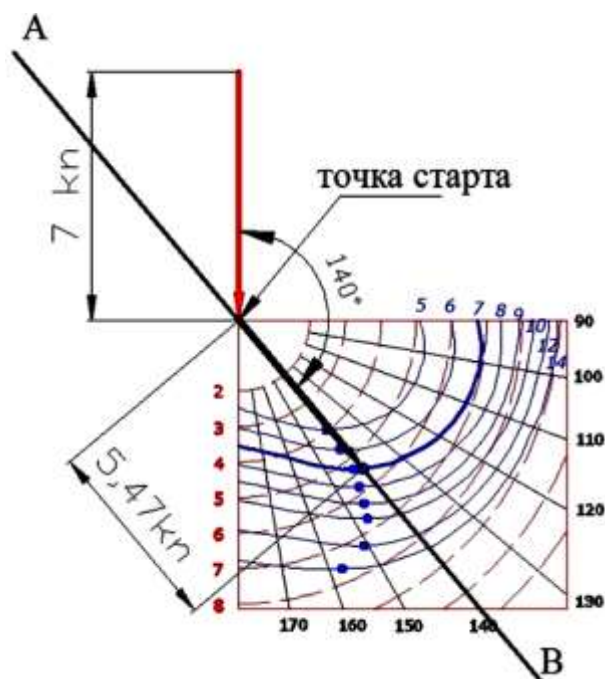


Рис. 9. Определение по поляре скорости движения судна по линии пути при отсутствии течения

Будем здесь и везде далее предполагать, что необходимая для перехода линия пути (AB) соответствует курсу 140 градусов.

Для того, чтобы определить с какой скоростью мы будем продвигаться по дистанции в этом случае нужно поместить начало поляры поместить в точку старта и выделить на ней ветвь, соответствующую скорости истинного ветра 7 узлов. По положению точки пересечения этой ветви и линий пути можно определить (по сетке пунктирных линий) скорость продвижения по заданному пути.

Учет течения приводит к изменению модуля скорости истинного ветра и его направления по сравнению со скоростью и направлением географического ветра.

На рис.10 показывается определение силы и направления истинного ветра при течении (DFT) 2 узла.

Географический (северный) ветер скоростью 7 узлов показан пунктирной линией.

Течение западное скоростью 2 узла создает переносный ветер той же скорости, направленный в сторону, противоположную направлению течения.

Истинный ветер для судна на воде складывается из географического и переносного.

Таким образом, истинным для судна будет ветер, скоростью 7,28 узла, отличающийся направлением от географического на 15,9 градуса.



Рис. 10. Определение силы и направления истинного ветра при течении (DFT) 2 узла

На следующем рисунке рис.11 показывает правильное применение поляры судна при течении скоростью 2 узла в западном (а) и восточном (б) направлениях. Модуль и направление вектора истинной скорости ветра определены так же, как показано на рис.10 (напомним, что здесь и везде географического ветер северный со скоростью 7 узлов).

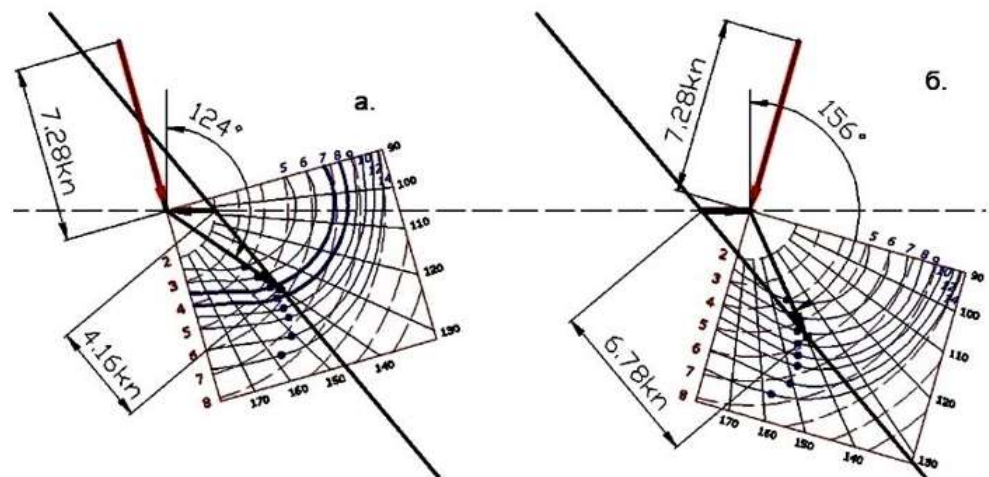


Рис.11. Влияние сносящих западного (а) и восточного (б) течений в 2 узла на курс и скорость движения судна по линии пути

Модуль истинной скорости ветра составил 7,28 узлов, а направление - как на рисунках.

Положение и направление линии пути такое же, как на рис.10 (140 град.) и, как указывалось, одинаково для всех рассматриваемых в этой работе случаев. Вспомогательная горизонтальная пунктирная линия проведена для простоты определения на рисунке точек старта (начала прокладки), по пересечению этой прямой с линиями пути.

Построения для определения курса судна для движения по линии пути начинаются «классически». Из точки старта строим вектор течения. В конец вектора течения помещаем начало поляры так, чтобы ее ориентация соответствовала направлению истинного (суммарного географического и переносного) ветра. Для этого удобно совместить конец вектора истинного ветра (как на рисунке 11). Саму

полярю удобно нарисовать на кальке, или другом прозрачном материале, чтобы ее можно было наложить на карту. Кроме того, при изменении галса плавания кальку с полярью нужно просто повернуть другой стороной.

Далее, нужно выбрать ветви поляры, соответствующие скоростям, между которыми лежит значение истинного ветра. Для случая 2-х узлового течения, перпендикулярного направлению географического ветра значение скорости истинного ветра составляет 7,28 узла. Следовательно, вектор, определяющий курс судна должен пойти в точку, расположенную между ветвями 7 и 8 узлов, расстояние между которыми нужно для аппроксимации разделить в соответствующей пропорции, как показано на рисунках 11а и 11б. Из построения получается, что курсы судна (CTS = Course to Steer) в зависимости от направления такого 2-3 узлового течения составляют 124 и 156 градусов, соответственно. При этом скорость продвижения по заданному направлению составит 4,16 и 6,78 узлов, соответственно.

На рисунке 12 приведены построения для попутного географическому ветру течения в 2 и 3 узла. Попутное течение не изменяет направления истинного ветра, но изменяет его скорость, что нужно учитывать при выборе ветви поляры, по которой определяется курс судна. Векторы течения и истинного ветра накладываются друг на друга, поэтому на рисунке дополнительно указаны значения скорости течения в 2 узла на Рис.12а и 3 узла на Рис.12б от точки старта.

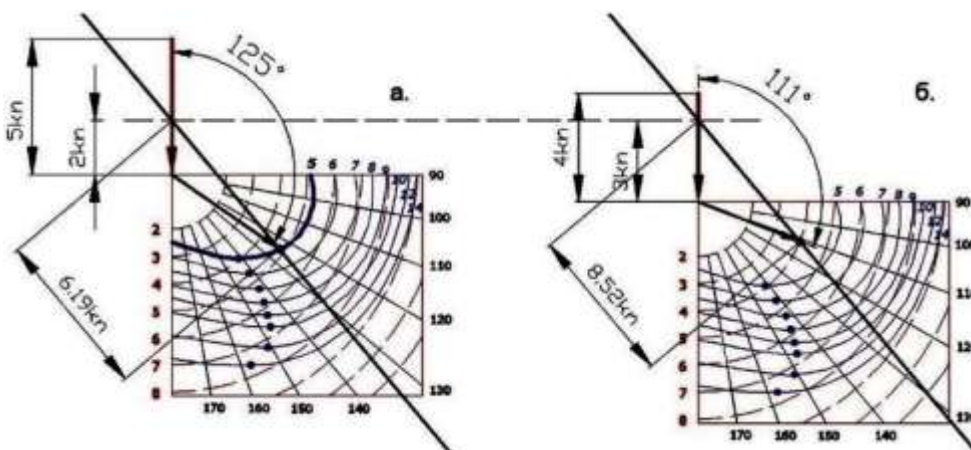


Рис. 12. Влияние попутных течений со скоростями 2 и 3 узла на курс и скорость движения судна по линии пути

В первом случае искомая точка на линии пути определяется просто по пересечению ветви поляры, соответствующей 5-ти узловому истинному ветру (Рис 12а). А для 3-х узлового течения из-за отсутствия ветви 4- узлового ветра эта точка взята оценочно, исходя из общей картины всех ветвей.

Видно, что несмотря на то, что попутное течение «вытряхивает» ветер из парусов и тем самым уменьшает ход судна относительно воды, тем не менее скорость продвижения по линии пути возрастает именно за счет этого попутного течения.

### Результаты

Предлагаемая в работе методика учета течения на курс и скорость парусного судна является универсальной и работает для любых доступных для плавания под парусами направлений линий пути.

Практически методика реализуется последовательным выполнением следующих действий.

1. В начале определяется построением на карте скорость и направление истинного ветра как векторной суммы географического и переносного ветров (переносный ветер равен по величине и направлен противоположно течению). Масштаб условных единиц длины определяется по масштабу шкалы скоростей поляры.
2. Из точки старта на линии пути строится вектор течения, как обычно - в направлении течения и в условных единицах пропорциональных его скорости.
3. Поляра судна, построенная на прозрачной кальке, располагается так, чтобы ее центр (верхняя левая точка, откуда расходятся линии углов истинного ветра относительно ДП судна) совпал с концом вектора течения.
4. Поляру затем поворачивая вокруг ее центра сориентировать так, чтобы направление истинного ветра (исправленного на наличие течения) соответствовал бы направлению 0-180 градусов сетки поляры - для ориентации поляры удобно скопировать вектор скорости истинного ветра и перенести конец этого вектора в конец вектора течения (не меняя, естественно его направления).
5. Зная скорость истинного ветра (исправленного на влияние течения) выбрать нужную ветвь поляры, соответствующую этой скорости, или две ветви, если полученное значение скорости истинного ветра лежит между ними.
6. Точка пересечения этой ветви поляры с линией пути (или на расстоянии между двумя ветвями поляры) и дадут искомую точку на линии пути, по которой определяют курс судна, который нужно держать для движения по линии пути (Course to Steer = CTS) и скорость продвижения судна по заданному пути.

Если полученный таким методом курс попадает в недоступный для парусного судна сектор углов (против ветра под парусом идти невозможно), то нужно планировать раскладку галсов, когда во внимание принимаются разные соображения, но непременно применяя и в этом случае методику учета влияния течения на ветер, который судно имеет для своего движения.

При лавировке нужно, конечно, учитывать еще и ветровой дрейф, значения которого индивидуально для разных судов, но, как правило, известные капитану.

### **Обсуждение**

Возможно, для крупных судов, где парус применяется как чисто вспомогательное оборудование и скорость которых определяется в первую очередь работой главного двигателя, эта методика окажется излишней. Однако, для судов, которые ходят преимущественно под парусами, не говоря уже о парусных яхтах, эта методика может оказаться полезной если не непосредственно в переходе, то при его планировании во всяком случае. И, соответственно, использоваться при обучении яхтсменов и курсантов управлению парусными судами.

Кроме того, она безусловно полезна с точки зрения академической точности и строгости.

С этой же точки зрения полезно использование новых в парусном деле терминов переносный и относительный ветер, введенных в данной работе. Трудно предположить, что названия эти (именно эти) приживутся на флоте, однако они представляются необходимыми для краткого и корректного описания влияния течения на вымпельный ветер.

### **Заключение**

Представляется, что материалы, изложенные в настоящей работе, должны быть включены в том или ином объеме в соответствующие учебники, справочники и

пособия для судоводителей судов с парусным вооружением, как более точно решающие задачу влияния течения на курс и скорость парусного судна.

Вместе с тем, сделанное в работе замечание об отсутствии систематических измерений углов дрейфа для судов различных типов, с различным парусным вооружением, оставляет тему оценки влияния ветрового дрейфа на точность определения в плавании острыми курсами скорости и направления истинного ветра, пока открытой для обсуждения.

#### Список литературы

1. Bahtic, F. Smart Green Shipping, NTS to collaborate on new wing sail designs / Fatima Bahtic. – Текст : электронный // Offshore Energy. – June 2. – 2023. URL: <https://www.offshore-energy.biz/smart-green-shiping-nts-to-collaborate-on-new-wing-sail-designs/> (дата обращения: 07.10.2023).
2. Smith, Tr. Researchers Are Looking To A Surprisingly Old Idea For The Next Generation Of Ships: Wind Power / Tristan Smith. – Текст : электронный // IFLScience. – August 8. – 2015. URL: <https://www.iflscience.com/researchers-are-looking-surprisingly-old-idea-next-generation-ships-wind-power-29924/> (дата обращения: 07.10.2023).
3. Bahtic, F. Thordon's solution to support Aloft's wind propulsion systems / Fatima Bahtic. – Текст : электронный // Offshore Energy. – March 17 – 2023. URL: <https://www.offshore-energy.biz/thordons-solution-to-support-alofts-wind-propulsion-systems/> (дата обращения: 07.10.2023).
4. Leary, K. New Ship With Rigid Solar Sails Harnesses the Power of Sun and Wind at the Same Time / Kyree Leary. – Текст : электронный // Futurism. – 2018. URL: <https://futurism.com/new-ship-rigid-solar-sails-harnesses-power-sun-wind-same-time> (дата обращения: 07.10.2023).
5. DNV Assesses Windship Technology's Zero Emissions Concept – Текст : электронный // Maritime Propulsion: [сайт]. – 2021. – URL: <https://www.maritimepropulsion.com/> (дата обращения: 07.10.2023).
6. Saul, J. Cargill Testing New Sail Technology for Cargo Ships to Cut Emissions / Jonathan Saul – Текст : электронный // Maritime Propulsion. – March 1. – 2023. URL: <https://www.maritimepropulsion.com/news/cargill-testing-new-sail-603286> (дата обращения: 07.10.2023).
7. Raunek. Top 7 Green Ship Concepts Using Wind Energy / Raunek – Текст : электронный // MarineInsight. – June 29. – 2019. URL: <https://www.marineinsight.com/green-shiping/top-7-green-ship-concepts-using-wind-energy/> (дата обращения: 07.10.2023).
8. Sharda. The Ultimate Green Yacht: Ocean Supremacy / Sharda – Текст : электронный // MarineInsight. – April 6. – 2019. URL: <https://www.marineinsight.com/boating-yachting/the-ultimate-green-yacht-ocean-supremacy/> (дата обращения: 07.10.2023).
9. Бонд, Б. Справочник яхтмена. / Б. Бонд. – Текст : непосредственный // Ленинград. – 1989г. – 336 с.
10. Dedekam, Ivar. Illustrated navigation. / Ivar Dedekam – Текст : непосредственный // 2 edition. Fernhurst Book. – England. – 2011г. – 85 с.
11. Slooff, J. The Aero- and Hydromechanics of Keel Yachts. / J. Slooff – Текст : непосредственный // Springer. – 2015. – 625 с.
12. Сидоров, В.И. Морская навигация. / В.И. Сидоров, В.В. Романов – Текст : непосредственный // Москва: Ад фонтас, – 2003. – 193 с.
13. Колс, К.А. Под парусом в шторм. / К.А. Колс – Текст : непосредственный // Ленинград, Гидрометеиздат. Перевод с английского Л.И.Лопатухина – 1985. – 128 с.
14. Headifen, G. Measuring your leeway for better sailing. / G. Headifen – Текст : электронный // Sail-world. – 2010. URL: [www.sail-world.com/71221](http://www.sail-world.com/71221) (дата обращения: 07.10.2023).

#### References

1. Bahtic, F. Smart Green Shipping, NTS to collaborate on new wing sail designs / Fatima Bahtic. – Text : electronic // Offshore Energy. – June 2. – 2023. URL: <https://www.offshore->

- energy.biz/smart-green-shipping-nts-to-collaborate-on-new-wing-sail-designs / (accessed: 07.10.2023).
2. Smith, Tr. Researchers Are Looking To A Surprisingly Old Idea For The Next Generation Of Ships: Wind Power / Tristan Smith. – Text : electronic // IFLScience. – August 8. – 2015. URL: <https://www.iflscience.com/researchers-are-looking-surprisingly-old-idea-next-generation-ships-wind-power-29924> / (accessed: 07.10.2023).
  3. Bahtic, F. Thordon's solution to support Aloft's wind propulsion systems / Fatima Bahtic. – Text : electronic // Offshore Energy. – March 17 – 2023. URL: <https://www.offshore-energy.biz/thordons-solution-to-support-alofts-wind-propulsion-systems/> (accessed: 07.10.2023).
  4. Leary, K. New Ship With Rigid Solar Sails Harnesses the Power of Sun and Wind at the Same Time / Kyree Leary. – Text : electronic // Futurism. – 2018. URL: <https://futurism.com/new-ship-rigid-solar-sails-harnesses-power-sun-wind-same-time> (accessed: 07.10.2023).
  5. DNV Assesses Windship Technology's Zero Emissions Concept – Text : electronic // Maritime Propulsion: [website]. – 2021. – URL: <https://www.maritimepropulsion.com/> (accessed: 07.10.2023).
  6. Saul, J. Cargill Testing New Sail Technology for Cargo Ships to Cut Emissions / Jonathan Saul – Text : electronic // Maritime Propulsion. – March 1. – 2023. URL: <https://www.maritimepropulsion.com/news/cargill-testing-new-sail-603286> (accessed: 07.10.2023).
  7. Raunek. Top 7 Green Ship Concepts Using Wind Energy / Raunek – Text : electronic // MarineInsight. – June 29. – 2019. URL: <https://www.marineinsight.com/green-shipping/top-7-green-ship-concepts-using-wind-energy/> (accessed: 07.10.2023).
  8. Sharda. The Ultimate Green Yacht: Ocean Supremacy / Sharda – Text : electronic // MarineInsight. – April 6. – 2019. URL: <https://www.marineinsight.com/boating-yachting/the-ultimate-green-yacht-ocean-supremacy/> (date of reference: 07.10.2023).
  9. Bond, B. Yachtsman's Handbook. / B. Bond. – Text : direct // Leningrad. – 1989g. – 336 p.
  10. Dedekam, Ivar. Illustrated navigation. / Ivar Dedekam – Text : immediate // 2nd edition. Fernhurst Book. – England. – 2011. – 85 p.
  11. Slooff, J. The Aero- and Hydromechanics of Keel Yachts. / J. Slooff – Text : direct // Springer. – 2015. – 625 p.
  12. Sidorov, V.I. Marine navigation. / V.I. Sidorov, V.V. Romanov – Text : direct // Moscow: Ad fontas, - 2003. – 193 p
  13. Kols, K.A. Under sail in a storm. / K.A. Kols – Text : direct // Leningrad, Hydrometeoizdat. Translated from English by L.I.Lopatukhin – 1985. – 128 p.
  14. Headifen, G. Measuring your leeway for better sailing. / G. Headifen – Text : electronic // Sail-world. -2010. URL: [www.sail-world.com/71221](http://www.sail-world.com/71221) (accessed: 07.10.2023).

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

**Яковлев Владимир Николаевич, к.ф.-м.н.**  
доцент, Сибирский государственный  
университет водного транспорта, 630099, г.  
Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail:  
yvn@ngs.ru

**Vladimir N. Yakovlev, Ph.D., Associate**  
Professor, Siberian State University of Water  
Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina  
str., 33, e-mail: yvn@ngs.ru

Статья поступила в редакцию 03.11.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.  
Received 03.11.2023; published online 20.03.2024



**Научные проблемы  
водного транспорта**

**Russian Journal of Water  
Transport**

**№78(1), 2024**

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 17,81. Уч.-изд. л. 24,94.  
Заказ 033. 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.