



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

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

Научные проблемы водного транспорта

№73 (4) 2022

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

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
- 05.22.19 Эксплуатация водного транспорта, судовождение
- 08.00.05 Экономика и управление (по отраслям)

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

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



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

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

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

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

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

Редакция и Редколлегия

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Ответственный редактор

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

Ответственный секретарь

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

Члены Редколлегии

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

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

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

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

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

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

Гирин 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;

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;

Корнев Андрей Борисович, к.т.н., Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

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;

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;

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

Мареев Евгений Анатольевич, д.ф.-м.н., профессор, член-корр. 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;

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

Мордовченков Николай Васильевич, д.э.н. профессор, Княгининский университет, 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

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 №73 (4) 2022

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
- 05.22.19 Operation of water transport, navigation
- 08.00.05 Economics and management (in different industry areas)

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

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



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

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

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

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

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

Editorial Team

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

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

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

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

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

Editorial board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Andrey B. Korner, Sci. (Tech.), Volga state unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, 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;

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

Yelena A. Lavrentyeva., Dr. Sci. (Econ.), professor, FSBEE H.Ed. SUMRF named after admiral Makarov, St.-Petersburg, Russia;

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

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

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

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

Nikolay V. Mordvichenkov, Dr. Sci. (Econ.), professor, FSBEE H.Ed, 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 unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

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

Alexandr N. Sitnov, Dr. Sci. (Tech.), professor, Volga state unuversity 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 unuversity 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

Е.М. Грамузов, Н.В. Калинина, А.Г. Ларин, Е.М. Ларина

Прогнозирование ходкости грузопассажирского парома при движении в битых льдах 15

М.В. Китаев

Анализ влияния условий эксплуатации на проектные характеристики балкеров 27

С.А. Королев, А.Г. Назаров

Сравнительный анализ критериев местной прочности судовых конструкций из композиционных материалов 45

Е.П. Роннов, Ю.А. Кочнев

Обоснование высоты борта наливного судна смешанного (река-море) плавания на начальных стадиях проектирования 57

Эксплуатация судового энергетического оборудования

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

Особенности параллельной работы дизель-генераторных агрегатов судовой электростанции 67

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

Стенд для исследования термического обезвреживания нефтесодержащих вод 79

Экономика, логистика и менеджмент на транспорте

В.М. Бунеев, М.Г. Сеницын, М.В. Седунова

Проблемы северного завоза в регионах Сибири и пути их решения 88

С.Д. Гордлеев, О.Л. Трухинова

Разработка системы критериев хаусботов с целью обоснования инвестиционного выбора 101

Е.А. Заостровских

Влияние пандемии на морской транспорт Дальневосточного региона 113

М.И. Классовская

Построение процессно-ориентированной системы управления транспортным предприятием в условиях цифровизации экономики 124

В.В. Крайнова

Тренды развития экономики морского и речного транспорта в условиях пост-пандемии и новых санкций 137

А.О. Ничипорук, О.И. Карташова, И.И. Ганчеренок

Методика определения оптимального территориального размещения транспортно-логистических терминалов на речном транспорте 148

В.Г. Соловьева

Менеджмент процессов как основа совершенствования деятельности речного порта 160

Эксплуатация водного транспорта, судовождение и безопасность судоходства

Н.В. Гончарова

Анализ современного состояния перевозок минеральных удобрений и обоснование выбора транспортно-логистических систем доставки с участием внутреннего водного транспорта 173

О.И. Карташова

Современное состояние и направления развития научно-методического обеспечения региональных грузовых перевозок с участием водного транспорта 185

М.А. Мельников, В.И. Плющев

Исследование влияния погрешностей измерения навигационных параметров на качество процесса управления безэкипажным судном 196

А.Ю. Платов, Ю.И. Платов

Эффективное вычисление волнового сопротивления судна с помощью интеграла Мичелла 206

П.Н. Токарев

Аналитический расчет параметров маневра судна «движение лагом» 216

Луис Г. Эвиденте, Картик Каннан, В.А. Логиновский, Юсуке Мори, А.Р. Шошин

Влияние предварительной навигационной тренажерной подготовки на развитие навыков владения ситуацией у вахтенных помощников 226

Водные пути, порты и гидротехнические сооружения

Ю.Е. Воронина, М.В. Молчанова

Оценка проблемных участков плотовых перевозок на Верхней Каме от с. Бондюг до г. Соликамск, вызванных русловыми деформациями, и пути их устранения 243

М.В. Шестова, А.В. Добрынина

Исследование современного состояния нижнего бьефа Нижегородской ГЭС с учетом русловых деформаций и влияния дноуглубительных работ 255

Техносферная безопасность

М.Д. Павликова, А.Н. Бородин, А.Е. Пластинин

Оценка качества воды реки Волги в районе Подновского рейда нефтеналивных судов по азотосодержащим соединениям 266

С.В. Петрашёв, А.А. Панасенко, О.В. Москаленко

Судовая система подачи активного вещества в зону загрязнения 276

CONTENTS

Shipbuilding, ship repair and ecological safety of the ship

- Evgeny M. Gramuzov, Nadezhda V. Kalinina, Alexander G. Larin, Elizaveta M. Larina***
Forecasting the propulsion of a cargo-passenger ferry when moving in broken ice 15
- Maksim V. Kitaev***
Analysis of the impact of operation conditions on the bulk carriers design characteristics.. 27
- Sergey A. Korolev, Albert G. Nazarov***
Comparative analysis of criteria for local strength of ship structures made of composite materials..... 45
- Evgeniy P. Ronnov, Yuri A. Kochnev***
Optimization of a combined tanker/platform type vessel based on simulation modeling 57

Operation of ship power equipment

- Sergey V. Popov, Oleg A. Burmakin, Yuriy S. Malyshev***
Peculiarities of parallel operation of diesel-generator units of a ship power plant 67
- Vladimir A. Chernov, Oleg P. Shurayev, Alexander G. Chichurin***
Stand for the study of thermal neutralization of oily waters 79

Economics, logistics and transport management

- Viktor M. Buneev, Mikhail G. Sinitsyn, Marina V. Sedunova***
Problems of northern delivery in the regions of Siberia and ways to solve them 88
- Sergey D. Gordleev, Olga L. Trukhinova***
Development of a system of criteria for houseboats in order to justify the investment choice 101
- Elena A. Zaostrovskikh***
The impact of the pandemic on the maritime transport of the Far Eastern region 113
- Maria I. Klassovskaya***
Building a process-oriented management system for a transport enterprise in the context of digitalization of the economy 124
- Vera V. Krainova***
Trends in the development of the economy of sea and river transport in the post-pandemic and new sanctions environment 137
- Andrey O. Nichiporuk, Olga I. Kartashova, Igor I. Hancharonak***
Methodology for determining the optimal territorial location of river transport logistics terminals 148
- Vitaliya G. Solovjeva***
Process management as a basis for improving the activities of the river port 160

Operation of water transport, navigation and safety of navigation

Natalia V. Goncharova

Analysis of the current state of mineral fertilizers transportation and justification of the choice of transport and logistics delivery systems involving inland waterway transport ... 173

Olga I. Kartashova

Current state and directions for development of scientific and methodological support for regional freight transportation involving water transport 185

Michael A. Melnikov, Valery I. Plyushchaev

Investigation of influence of navigation parameters measurement errors on the quality of an unmanned vessel control process 196

Alexander J. Platov, Juri I. Platov

Efficient computation of ship's wave-pattern resistance using Michell's integral 206

Pavel N. Tokarev

Analytical calculation of vessel maneuver «sideways movement» parameters 216

Luis G. Evidente, Karthik Kannan, Vladimir A. Loginovsky, Yusuke Mori, Artur R. Shoshin

The effect of preparatory bridge simulator training on development of situation awareness skills of watchkeepers 226

Waterways, ports and hydraulic engineering constructions

Yulia E. Voronina, Marianna V. Molchanova

Assessment of problematic sections of raft transportation on the Verhnyaya Kama river from Bondyug village to Solikamsk caused by riverine deformations and ways to eliminate them 243

Marina V. Shestova, Akeksandra V. Dobrinina

Investigation of the current state of the tailwater of the Nizhny Novgorod hydroelectric power station, taking into account channel deformations and the effect of dredging 255

Technosphere safety

Maria D. Pavlikova, Alexey N. Borodin, Andrey E. Plastinin

Assessment of the water quality of the Volga River in the area of the Podnovsky roadstead of oil tankers for nitrogen-containing compounds 266

Sergey V. Petrashev, Andrey A. Panasenko, Oleg V. Moskalenko

Ships system for supplying the active substance to the contaminated area 276

СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА

SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ECOLOGICAL SAFETY OF THE SHIP

УДК 629.124.79

DOI: 10.37890/jwt.vi73.311

Прогнозирование ходкости грузопассажирского парома при движении в битых льдах

Е.М. Грамузов¹

ORCID: 0000-0003-1549-2063

Н.В. Калинина¹

ORCID: 0000-0001-8474-9665

А.Г. Ларин¹

ORCID: 0000-0001-6841-9180

Е.М. Ларина¹

ORCID: 0000-0003-3052-2080

¹Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований ледовой ходкости грузопассажирского парома проекта CNF22 с бульбообразной носовой оконечностью, транцевой кормой, спроектированного на класс Российского морского регистра судоходства с ледовыми усилениями Ice2 в опытовом бассейне. Обоснован выбор модели битого льда. Получены кривые сопротивления модели судна на чистой глубокой воде и в битом льду толщиной 0,5 м сплоченностью 4, 6, 8 баллов при движении носом и кормой вперед. Представлен алгоритм пересчета результатов испытаний с модели на натурное судно. Спрогнозирована ходкость судна при движении на чистой воде и в мелкобитом льду.

Ключевые слова: битый лед, сплоченность льда, ледовое сопротивление, опытовый бассейн, теория моделирования, модельный лед, кривые ледопроеходимости.

Forecasting the propulsion of a cargo-passenger ferry when moving in broken ice

Evgeny M. Gramuzov¹

ORCID: 0000-0003-1549-2063

Nadezhda V. Kalinina¹

ORCID: 0000-0001-8474-9665

Alexander G. Larin¹

ORCID: 0000-0001-6841-9180

Elizaveta M. Larina¹

ORCID: 0000-0003-3052-2080

¹Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev

Abstract. The results of experimental studies of the ice propulsion of the CNF22 project passenger-and-freight ferry model are given in the article. The vessel has a bulbous bow, a transom stern and is designed for the class of the Russian Maritime Register of Shipping with ice reinforcements Ice2 in test basin. The choice of the broken ice model is justified in the article. The resistance curves of the vessel model in clear deep water and in broken ice 0.5 m thick with ice concentration of 4, 6, 8 points when moving bow and stern forward were obtained. An algorithm for recalculating test results from a model to a full-scale vessel is presented. The propulsion of the vessel when moving on clear water and in broken ice is predicted.

Keywords: broken ice, ice cohesion, ice resistance, test basin, modeling theory, model ice, icebreaking curves.

Введение

Значительная часть прибрежной территории России, перспективная с точки зрения морской коммерческой деятельности, находится в районах с традиционно низкими зимними температурами, серьёзно затрудняющими судоходство. Замерзание морей делает коммерческое судоходство невозможным пять-восемь месяцев в году. Рост грузооборота приводит к необходимости продления навигации как одному из важных резервов удовлетворения потребностей перевозок, поскольку сезонность речного и морского транспорта ограничивает провозную способность, ведёт к увеличению нагрузки на другие виды транспорта.

Для организации регулярного пассажирского сообщения между морскими портами Дальневосточного федерального округа (Камчаткой и Курилами) спроектировано и строится грузопассажирское судно (паром) проекта CNF22. Сейчас эту функцию в основном выполняют авиаперевозки.

Автомобильно-пассажирский паром с бульбообразной носовой оконечностью и транцевой кормой, с избыточным надводным бортом, с носовым расположением жилой надстройки, машинным отделением в корме, с двухвинтовой дизельной пропульсивной установкой, кормовым и носовым подруливающими устройствами, оборудованный угловой аппарелью, расположенной в корме по правому борту, предназначен для перевозки 150 пассажиров, легковых и грузовых автомобилей, автобусов, колесной и гусеничной автотехники, 20-ти и 40-футовых контейнеров, с кормовой схемой грузообработки.

Судно проектируется и строится на класс Российского морского регистра судоходства с ледовыми усилениями Ice2 и предназначено для эксплуатации в Японском, Охотском и Беринговом морях, включая острова Курильской гряды и прилегающие участки Тихого океана в мелкобитом разреженном льду неарктических морей толщиной до 0,5 м. Натурные испытания судна в ледовых условиях являются достоверным, но дорогим способом прогнозирования его ходкости. Следовательно, прибегают к испытаниям моделей судов в опытовых бассейнах. Поэтому актуальным является прогнозирование ледовой ходкости судна при движении в битых льдах различной сплоченности при движении как носом, так и кормой вперед в опытовом бассейне.

Моделирование ледовых условий в опытовом бассейне

Процесс взаимодействия судов с битым льдом носит сложный характер. Его изучение связано с определенными трудностями, которые обусловлены тем, что структура льда имеет большое разнообразие. Свойства льда зависят от истории образования, температуры окружающей среды, солёности воды и других природных факторов. Поэтому поиск материалов, имитирующих лед, технологии проведения модельных испытаний, способы пересчетов результатов с модели на натуру постоянно совершенствуется. Основной проблемой моделирования ледового

сопротивления является создание физической модели льда, адекватно отображающей его взаимодействие с судами в натуральных условиях [1, 2, 3, 4, 5].

Условия подобия при моделировании в битом льду определяются зависимостями [1]:

$$\frac{L_n}{L_m} = \frac{B_n}{B_m} = \dots = \frac{h_n}{h_m} = \lambda; Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} = \text{idem}; \rho_{лн} = \rho_{лм}; S = \text{idem}; f = \text{idem} \quad (1)$$

где L, B – линейные размеры судна; h – толщина льда; Fr – число Фруда; λ – масштаб модели; $\rho_{лf}$ – коэффициент трения; S – сплоченность льда; «н» - индекс для натурального судна и «м» - для модели.

Большое разнообразие ледовых условий, нестабильность свойств и характеристик битых льдов делают достаточно сложным точно и определенно зафиксировать многочисленные параметры, характеризующие натурную ледовую обстановку (в том числе толщину, форму и размеры льдин, их сплоченность). Поэтому в эксперименте приближенно моделируется движение судна в некоторой условной среде с осредненными характеристиками. Условия подобия соблюдаются лишь в отношении наиболее важных характеристик битого льда (толщин, сплоченности, ширине канала, плотности и коэффициента трения обломков льда о корпус).

Это дает возможность моделировать битый лед с помощью плиток из полиэтилена высокого давления одинаковой формы и размеров $l/h = \text{const}$ (l – размер обломков в плане) и обеспечить повторяемость опытов.

По данным [1, 6, 7, 8] плотность однолетнего морского льда составляет $\rho_{л} = 0,86 \dots 0,92 \text{ т/м}^3$, коэффициент трения льда о сталь составляет $0,08 \dots 0,12$.

У полиэтилена высокого давления плотность близка к $0,92 \text{ т/м}^3$. Коэффициент трения полиэтилена о корпус окрашенной модели составляет $0,11 \div 0,13$ [5]. Учитывая нестабильность физико-механических свойств натурального льда, зависящих от температуры, истории и времени намерзания, погодных условий можно считать условия (1) удовлетворительными для моделирования.

Модель автомобильно-пассажирского парома

Для прогнозирования ледовой ходкости парома (рис. 1) был выбран масштаб модели 1:50 (рис. 2) в соответствии с теоретическим чертежом судна. Основные характеристики натурального судна и модели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные элементы судна проекта CNF22 и модели

Характеристики	Судно	Модель (М 1:50)
Длина расчетная, м	110,10	2,20
Ширина, м	17,50	0,35
Осадка на мидель шпангоуте, м	4,50	0,09
Площадь смоченной поверхности, м ²	2380	0,952
Водоизмещение	5902 т	47,22 кг
Мощность главных двигателей, кВт	2x3500	-
Скорость на глубокой тихой воде при 85% мощности главных двигателей, уз	17,50	2,48

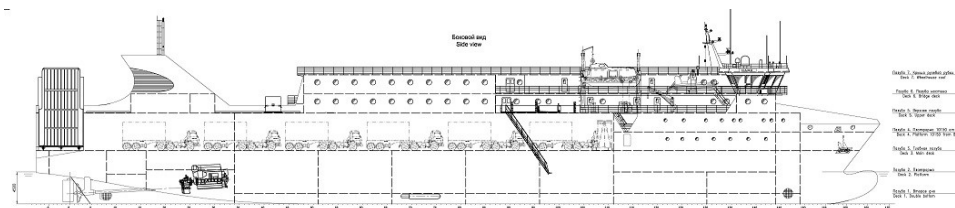


Рис. 1. Боковой вид автомобильно-пассажирского парома проекта CNF22

Испытания модели судна в опытовом бассейне

Испытания модели судна в чистой воде и битом льду проводились в опытовом бассейне с размерами: длина 50,0 м; ширина 5,0 м; глубина воды 2,5 м.

Такие испытания не требуют искусственного или естественного холода и могут проводиться в любое время года. Методика и технология проведения испытаний изложена в [2, 5]. Для проведения исследований использована буксировочная система гравитационного типа. На рис. 3 и рис. 4 приведен общий вид бассейна с чистой водой и с модельным льдом сплоченностью 4 балла.

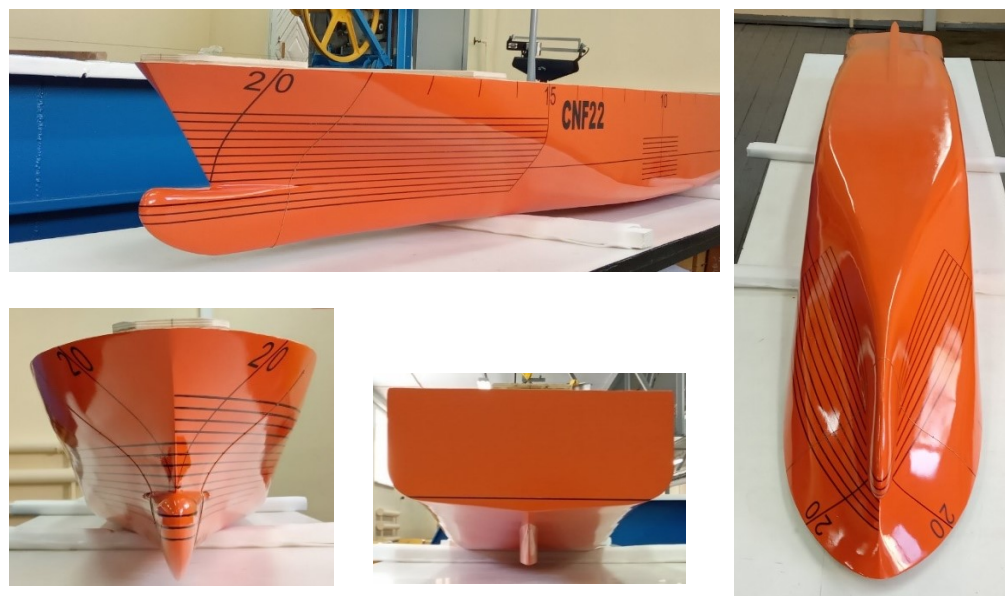


Рис. 2. Фото модели судна проекта CNF22



Рис. 3. Общий вид опытового бассейна



Рис. 4. Поле битого льда сплоченностью 4 балла в опытовом бассейне

Во время испытаний измерялись следующие величины:

- сопротивление окружающей среды (вода и лед) – весом буксировочного груза (при установившемся движении),
- скорость движения модели,
- температура воздуха и воды,
- глубина воды в бассейне,
- размеры модели льда,
- сплоченность битого льда.

Испытания модели судна проведены при движении на чистой глубокой воде и в битом льду различной сплоченности 4, 6, 8 баллов при движении носом и кормой вперед. Битый лед имитирован плитками полиэтилена высокого давления толщиной 10 мм, имеющими форму в плане в виде равнобедренного прямоугольного треугольника с катетами 100 мм. Для натурального льда это соответствует толщине 50 см.

Фрагменты испытаний приведены на рис. 5...8.

Результаты испытаний модели судна представлены в виде кривых сопротивления при движении носом и кормой вперед (рис. 9, 10).



Рис. 5. Фрагмент испытаний модели при движении носом на скорости для натуре ~ 8 узлов



Рис. 6. Фрагменты испытаний при движении модели кормой во льду сплоченностью 4 балла и скоростью ~ 6 уз.



Рис. 7. Фрагменты движения модели носом во льду сплоченностью 6 баллов и скоростью ~ 6 уз.



Рис. 8. Фрагменты движения модели носом во льду сплоченностью 8 баллов и скоростью ~ 12 уз.

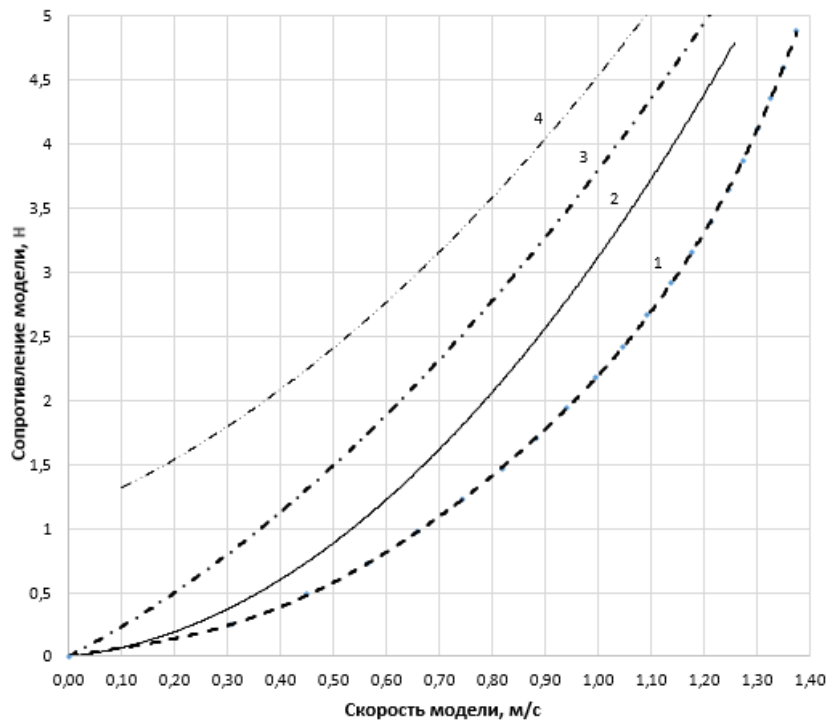


Рис. 9. Буксировочные кривые при движении модели носом:
1 - чистая вода; 2 – сплоченность льда 4 балла;
3 – сплоченность льда 6 баллов; 4 – сплоченность льда 8 баллов

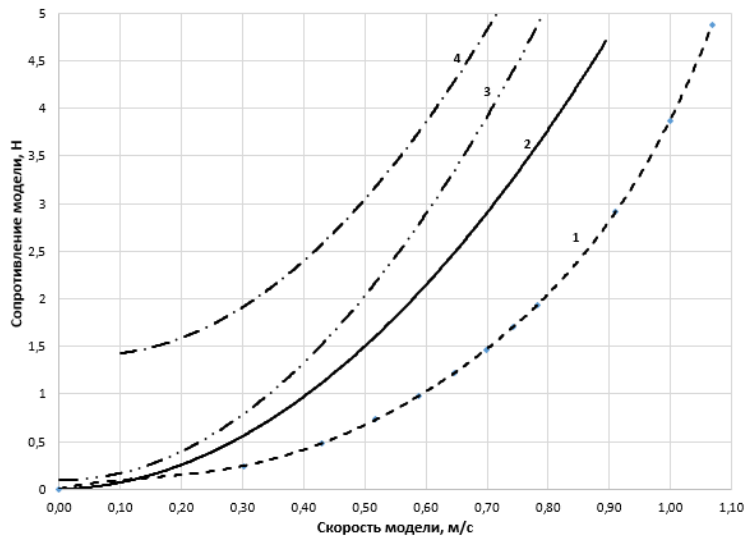


Рис. 10. Буксировочные кривые при движении модели кормой:
1 - чистая вода; 2 – сплоченность льда 4 балла;
3 – сплоченность льда 6 баллов; 4 – сплоченность льда 8 баллов

Пересчет результатов испытаний с модели на натуру

Пересчет гидродинамического сопротивления при движении на чистой воде с модели на натурное судно осуществляется обычными методами теории корабля.

При движении в битом льду пересчет результатов испытаний на натуру для воды и льда проводится по разным условиям моделирования. При этом необходимо выделить чистое ледовое сопротивление, которое связано с взаимодействием модели судна со льдом [1].

Чистое ледовое сопротивление модели:

$$R_M^{чл} = R_M - R_M^в,$$

где R_M – полное сопротивление модели в бассейне; $R_M^в$ – сопротивление модели на чистой воде.

При выполнении условий моделирования чистое ледовое сопротивление $R_M^{чл}$ пересчитывается по закону подобия Фруда [1].

С другой стороны, чистое ледовое сопротивление можно представить в виде:

$$R_M^{чл} = R_M^{пр} + R_M^{ск},$$

где $R_M^{пр}$ – прямое сопротивление, не зависящее от скорости, определяется при скорости $v \rightarrow 0$; $R_M^{ск}$ – скоростное сопротивление, зависящее от скорости.

Испытания модели проводятся в пресной воде плотностью $\rho_m = 1,00 \text{ т/м}^3$, а эксплуатация судна – в морской. Плотность морской воды зависит от солености, температуры и глубины. В расчетах плотность морской воды принята $\rho_n = 1,025 \text{ т/м}^3$.

Прямое сопротивление льда пересчитывается по формуле:

$$R_n^{пр} = \lambda^3 \frac{\rho_n^h - \rho_n^m}{\rho_m^h - \rho_m^m} R_m. \tag{2}$$

Скоростное сопротивление в обломках льда пересчитывается так:

$$R_n^{ск} = \frac{\rho_n^h}{\rho_m^h} \lambda^3 R_m^{ск}. \tag{3}$$

Чистое ледовое сопротивление с модели на натуру пересчитываются по формуле

$$R_n^{чл} = R_n^{пр} + R_n^{ск}. \tag{4}$$

Полное сопротивление воды и обломков

$$R = R_{чл} + R_в.$$

Алгоритм пересчета результатов модельных испытаний на натуру следующий:

- определение скорости движения и сопротивления модели v_m в поле битого льда R_m ;
- определение сопротивления воды при движении модели $R_m^в$;
- определение чистого ледового сопротивления $R_M^{чл} = R_M - R_M^в$;
- пересчет на натуру прямой и скоростной составляющих сопротивления в битом льду по (2) ... (4);
- пересчет на натуру сопротивление воды;
- определение ледового сопротивления натуре $R_n = R_n^{чл} + R_n^в$;
- построение зависимостей ледового сопротивления от скорости движения для различной сплоченности льда.

Кривые сопротивления при движении судна носом приведены на рис. 11. На этом же рисунке представлена тяга гребных винтов. Кривые сопротивления при движении судна кормой вперед приведены на рис. 12. На заднем ходу тяга принята 0,8 от тяги на переднем ходу [9].

Результаты испытаний

Точки пересечения кривых сопротивления и тяги винтов дают значения достижимых скоростей (диаграммы ледопроеходимости) на расчетных режимах и представлены на рис.13 при движении судна носом и кормой вперед.

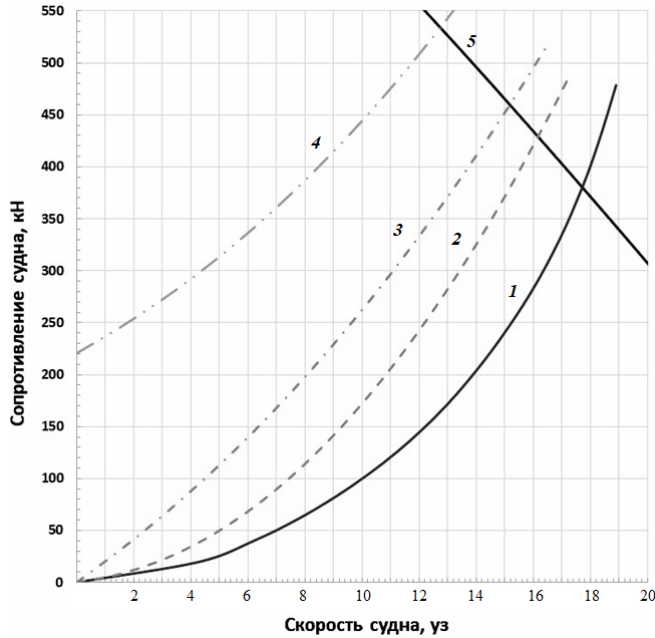


Рис. 11. Кривые полного сопротивления при движении судна носом:

- 1 - сопротивление воды и воздуха;
- 2 – сопротивление воды, воздуха и мелкобитого льда толщиной 0,5 м и сплоченностью 4 баллов;
- 3 – сопротивление воды, воздуха и мелкобитого льда толщиной 0,5 м и сплоченностью 6 баллов;
- 4 – сопротивление воды, воздуха и мелкобитого льда толщиной 0,5 м и сплоченностью 8 баллов;
- 5- тяга винтов

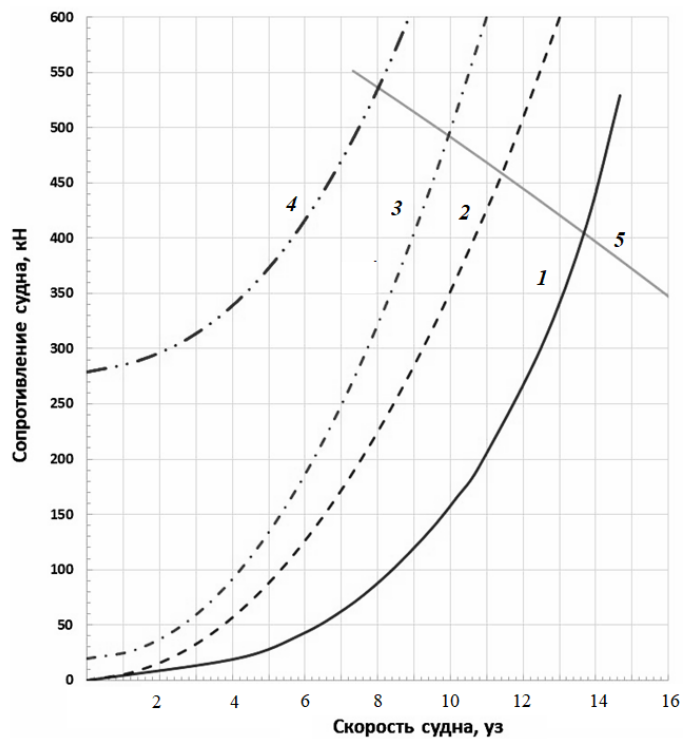


Рис. 12. Кривые полного сопротивления при движении судна кормой:

- 1 - сопротивление воды и воздуха;
- 2 – сопротивление воды, воздуха и мелкобитого льда толщиной 0,5 м и сплоченностью 4 балла;
- 3 – сопротивление воды, воздуха и мелкобитого льда толщиной 0,5 м и сплоченностью 6 баллов;
- 4 – сопротивление воды, воздуха и мелкобитого льда толщиной 0,5 м и сплоченностью 8 баллов;
- 5- тяга винтов

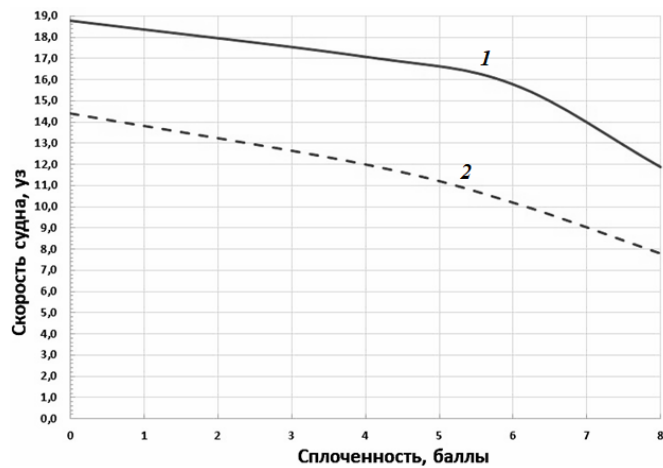


Рис. 13. Кривая достижимых скоростей судна (диаграмма ледопроеходимости) судна при ходе носом (1) и кормой (2) в битом льду толщиной 0,5 м различной сплоченности

Полное сопротивление воды при движении судна кормой вперед значительно выше, чем при движении носом. При движении судна кормой вперед на больших числах Фруда наблюдалось интенсивное волнение. В аналогичных условиях движения носом волнение заметно ниже.

Заключение

На основе проведенных испытаний и результатов исследований ходкости судна на чистой воде и в ледовых условиях были сделаны следующие выводы. При использовании 100% мощности на спокойной глубокой воде при движении судна носом достигается скорость 18,8 узла, при использовании 85% мощности двигателя 18,0 узлов. Сопротивление воды при движении судна носом значительно меньше по сравнению с ходом кормой. Интенсивное волнообразование при ходе судна носом заметно меньше. Прогнозируемая скорость хода при использовании 100% мощности в мелкобитом льду толщиной 0,5 м и сплоченностью 4 балла при движении носом составляет ~17,1 узлов, при сплоченности 6 баллов ~15,8 узлов, при сплоченности 8 баллов ~ 11,9 узлов. Волнообразование при движении судна в ледовых условиях значительно меньше, по сравнению с движением на воде.

Испытания выполнены в соответствии с договором № 21/2547 между АО «Судостроительный завод имени Б.Е. Бутомы» г. Керчь и Нижегородским государственным техническим университетом им. Р.Е. Алексева.

Представленные исследования ледовой ходкости выполнены по проекту № 22-19-00376 «Экспериментально-теоретическое исследование полуэмпирических моделей взаимодействия судов со льдом» в рамках гранта РФФИ.

Список литературы

1. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судна.: -СПб.: Судостроение, 2001. – 512 с.
2. Zuev V. A., Gramuzov E.M., Appolonov E.M. And Vaganov A.B. Physical simulation of ice cover for investigation into icebreaking ship performance // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET) - Scopus Indexed. Volume: 9, 2018. Issue: 11, Pages:1637-1646.
3. Зуев В.А., Грамузов Е.М. Новые подходы к моделированию ледовой среды при модельных испытаниях судов // Полярная механика, №3, 2016. С.31-42.
4. Timco G.W. EG/AD/S/F new type of model ice for refrigerated towing tanks // Cold Regions Science and Technology, Vol. 2, 1986. P. 175-195.
5. Беляков В.Б. Экспериментальные исследования ледопроеходимости судов в новой модели льда // Проектирование средств продления навигации: Межвуз. Сб. Горьков. Политехн. Ин-та. Горький, 1986. С. 79-84.
6. Зуев В.А. Средства продления навигации на внутренних водных путях. – Л.: Судостроение, 1986. – 208 с.
7. Сазонов К.Е. Методы коррекции экспериментальных данных по ледовой ходкости судна в модельных и натурных условиях // Полярная механика, №3, 2016. С.406-416.
8. Enkvist E. Ice model tests as a ship design tool/ Proceeding of the IAHR Ice Symposium. 1990.Vol.1. P.15-45. Espoo, Finland.
9. Ионов Б.П., Грамузов Е.М., Зуев В.А. Проектирование ледоколов.: -СПб.: Судостроение, 2013. – 512 с.

References

1. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya khodkost' sudna.: -SPb.: Sudostroenie, 2001. – 512 s.

- Zuev V. A., Gramuzov E.M., Appolonov E.M. And Vaganov A.B. Physical simulation of ice cover for investigation into icebreaking ship performance // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET) - Scopus Indexed. Volume: 9, 2018. Issue: 11, Pages:1637-1646.
- Zuev V.A., Gramuzov E.M. Novye podkhody k modelirovaniyu ledovoi sredy pri model'nykh ispytaniyakh sudov // Polyarnaya mekhanika, №3, 2016. S.31-42.
- Timco G.W. EG/AD/S/F new type of model ice for refrigerated towing tanks // Cold Regions Science and Technology, Vol. 2, 1986. P. 175-195.
- Belyakov V.B. Ehksperimental'nye issledovaniya ledoprokhodimosti sudov v novoi modeli l'da // Proektirovanie sredstv prodleniya navigatsii: Mezhevuz. Sb. Gor'kov. Politekhn. In-ta. Gor'kii, 1986. S. 79-84.
- Zuev V.A. Sredstva prodleniya navigatsii na vnutrennikh vodnykh putyakh. – L.: Sudostroenie, 1986. – 208 s.
- Sazonov K.E. Metody korrektsii ehksperimental'nykh dannykh po ledovoi khodkosti sudna v model'nykh i naturnykh usloviyakh // Polyarnaya mekhanika, №3, 2016. S.406-416.
- Enkvist E. Ice model tests as a ship design tool/ Proceeding of the IAHR Ice Symposium. 1990.Vol.1. P.15-45. Espoo, Finland.
- Ionov B.P., Gramuzov E.M., Zuev V.A. Proektirovanie ledokolov.: -SPb.: Sudostroenie, 2013. – 512 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Грамузов Евгений Михайлович, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Кораблестроение и авиационная техника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО НГТУ), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: terkor@nntu.ru

Калинина Надежда Викторовна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Кораблестроение и авиационная техника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО НГТУ), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: nvk5133@mail.ru

Ларин Александр Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры «Кораблестроение и авиационная техника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО НГТУ), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: alexandr_ks1@mail.ru

Ларина Елизавета Михайловна, ассистент кафедры «Кораблестроение и авиационная техника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО НГТУ), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: rohministrovaliza@mail.ru

Evgeny M. Gramuzov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department "Shipbuilding and Aviation Technology", Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 24, Minin st., Nizhny Novgorod, 603950

Nadezhda V. Kalinina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Shipbuilding and Aviation Technology", Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 24, Minin st., Nizhny Novgorod, 603950

Alexander G. Larin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Shipbuilding and Aviation Technology", Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 24, Minin st., Nizhny Novgorod, 603950

Elizaveta M. Larina, assistant of the Department "Shipbuilding and Aviation Technology", Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 24, Minin st., Nizhny Novgorod, 603950

Статья поступила в редакцию 17.08.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 17.08.2022; published online 20.12.2022.

УДК 629.123

DOI: 10.37890/jwt.vi73.277

Анализ влияния условий эксплуатации на проектные характеристики балкеров

М.В. Китаев

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5345-6333>

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

Аннотация. В статье приводятся результаты сравнительной оценки проектных характеристик судов, осуществляющих в настоящее время перевозки угля морем из портов Дальнего востока в страны АТР, с проектными характеристиками, полученными в результате математического моделирования и оптимизации последних по экономическим критериям. Оценена эффективность и целесообразность использования судов на рассматриваемых направлениях перевозок. Приведены результаты анализа влияния условий эксплуатации на оптимальные значения основных проектных характеристик (скорость и грузоподъемность) и экономические показатели функциональной эффективности судов рассматриваемого типа. Для определения оптимальных значений проектных характеристик балкеров использовалась математическая модель, включающая основные расчеты по теории корабля и проектированию судов, выполняемые на начальных стадиях проектирования. Расчеты выполнены для условий работы специализированного терминала с высокотехнологичной перевалкой угля и расположенного на юге Приморского края. Проанализированы внешние факторы, в наибольшей степени влияющие на экономическую эффективность перевозок и установлены диапазоны их изменения. Результаты работы могут использоваться на начальных этапах проектирования при обосновании основных проектных характеристик балкеров, а также при закреплении судов-претендентов за альтернативными направлениями перевозок.

Ключевые слова: балкер, перевалка угля, экономическая эффективность, проектные характеристики, математическая модель.

Analysis of the impact of operation conditions on the bulk carriers design characteristics

Maksim V. Kitaev

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5345-6333>

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract. The paper presents the results of a comparative analysis of the design characteristics of ships currently used for coal transporting from the ports of Far East of Russia to the Asia-Pacific countries with mathematical modeling and optimization results oriented to the economic criteria. The effectiveness and expediency of using ships in the certain directions of coal transportation is considered. The results of the analysis of the influence of operating conditions to the optimal values of the design characteristics (speed and payload capacity) and economic criteria of the functional efficiency of bulk carriers are given. The mathematical model for optimal values of the design characteristics of bulk carriers was used. The model takes into an account basic calculations of ship design and theory disciplines which are used at the initial stages of design. The calculations were made for the operating conditions of a specialized high-tech coal transshipment terminal with is located in the south part of Primorsky Krai.

The economic efficiency affecting factors and their variations ranges were analysed. The research results can be used at the preliminary stages of ship design for general characteristics calculation and transportation costs optimization.

Keywords: bulk carrier, coal transportation, economic efficiency, design characteristics, mathematical model.

Введение

Продолжительность проектирования и постройки судов в РФ составляет от 2 до 5 лет и более. Как правило, суда проектируются для заданных условий эксплуатации с учетом анализа текущих и прогноза будущих значений внешних факторов, влияющих на их эффективность. В то же время внутренние и внешнеэкономические условия, влияющие на эффективность судов в эксплуатации, характеризуются высокой степенью динамичности и несмотря на прогнозные оценки к моменту сдачи судна могут существенно от них отличаться [1]. Для оценки эффективности и целесообразности использования судов с конкретными проектными характеристиками на заданных линиях перевозок, а также с целью определения оптимальных значений основных проектных характеристик судов для заданных условий эксплуатации необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ условий эксплуатации судов на заданных линиях;
- разработать математическую модель для определения характеристик судна;
- определить оптимальные сочетания значений проектных характеристик для заданных условий эксплуатации;
- оценить влияние исходных данных, характеризующих условия эксплуатации на значения основных проектных характеристик и экономическую эффективность.

С целью оценки достоверности результатов и адекватности математической модели исходные данные для анализа и расчетов приняты на примере условий работы специализированного терминала по перевалке угля АО «Восточный Порт». Это позволит проанализировать динамику и условия эксплуатации судов, сравнить результаты математического моделирования и оптимизации (оптимальные сочетания значений проектных характеристик), с характеристиками реальных судов, осуществляющих в настоящее время перевозки угля морем в страны АТР.

Анализ условий эксплуатации судов

Специализированный терминал по перевалке угля АО «Восточный Порт» (далее – Порт), расположен в ДВФО (г. Находка, бухта Врангель). Порт специализируется на рейферной перевалке угля, добываемого в Кузбассе (см. рис. 1) [2].



Рис.1. Угольный терминал порта
(Фото пресс-службы АО «Восточный Порт»)

По официальным данным, в 2021 году Портом обработано 529 крупнотоннажных судов, из которых 30 балкеров типа «Capesize» (дедвейт более 150 тыс. т.) и 294 судна типа «Panamax» (дедвейт от 60 до 80 тыс. т.). Динамика грузооборота показана в табл. 1 [2].

Таблица 1

Показатели работы Порта

Год	1998	2003	2008	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Перевалка угля, млн. т.	5,5	11,8	14,4	17,7	21,8	22,8	23,5	23,2	24,3	25,5	26,85	26,57

Основными грузополучателями угольной продукции Порта являются: Япония, Китай, Тайвань, Республика Корея, Вьетнам, Индия, Малайзия, Индонезия, Филиппины, Таиланд и др. страны Азиатско-тихоокеанского региона. Распределение объемов доставки (угольной продукции), отгружаемого Портом, по странам АТР за 2021 год показано на рис. 2 [3].

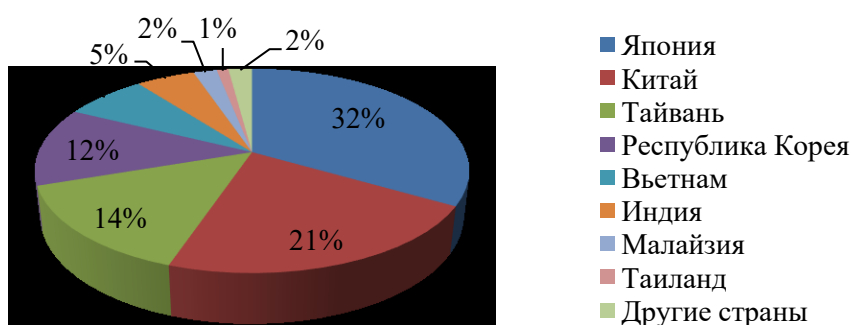


Рис.2. Распределение объемов доставки угольной продукции по странам АТР

В табл. 2 приведены средние значения протяженности линий морских перевозок (R) для основных потребителей угольной продукции Порта.

Таблица 2

Протяженность линии перевозок

Направление перевозок/расстояние	Тайвань	Южная Корея	Китай	Малайзия	Индия	Пакистан	Таиланд	Вьетнам	Шри-Ланка	Индонезия	Филиппины	Япония
R, миль	1594	669	1150	4017	6424	7012	4000	2891	5344	3348	2096	784

Гавань Порта незамерзающая, глубины на фарватере достигают 22 метров, что позволяет обслуживать крупнотоннажные суда и работать на перспективу. К причалам Порта могут швартоваться суда с разрешенной осадкой до 16,0 м (см. табл. 3) [4].

Таблица 3

Характеристика причалов Порта

№ причала	Специализация	Длина, м.	Глубина, м.	Осадка судов, м.	Эксплуатирующая организация
<i>Универсальный производственно-перезгрузочный комплекс (ППК-1)</i>					
11	Генеральные грузы, Навалочные грузы	190,0	11,5	11,0	АО "Восточный порт"
12		190,0	11,5	11,0	
13		200,0	12,7	12,2	
14		200,0	12,7	12,2	
<i>Угольный комплекс (ППК-3)</i>					
49	Уголь	381,4	16,5	16,0	АО "Восточный порт"
50		381,4	16,5	16,0	

Порт оснащен судопогрузочными машинами производительностью до 3500 тонн и 3800 тонн угля в час, в том числе машинами, оснащенными специальной системой очистки угля перед погрузкой на судно с помощью магнитных барабанов. Общая производительность судопогрузочных машин Порта достигает 18 тыс. тонн угля в час [2].

Значения фрахтовых ставок для основных направлений перевозки угля в страны АТР приведены в табл. 4 для судов двух типов Panamax и Handymax соответственно [5, 6].

Таблица 4

Ставки фрахта на перевозку угля в долл./т

Год	2019		2020	2021
	Panamax	Handymax	Handymax	Handymax
Тип судна	долл./т.	долл./т.	долл./т.	долл./т.
Направление перевозок	долл./т.	долл./т.	долл./т.	долл./т.
Восточный (Россия) – Южная Корея	4-5	-	-	-
Восточный (Россия) - Япония	4,5-5	-	-	-
Восточный (Россия) – Тайван (Китай)	4-5	-	-	-
Ванино (Россия) - Шанхай (Китай)	-	10-11	6-12	12-23
Находка (Россия) - Далянь (Китай)	-	6-7	-	-
Ванино (Россия) - Далянь (Китай)	-	13-14	12-14	14-26

Современные балкеры оснащаются двигателями, способными работать на дизельном топливе и мазуте. Наиболее востребованными сортами бункеровочного топлива являются мазуты IFO180, IFO380 (Intermediate Fuel Oil), дизельное топливо MDO (Marine Diesel Oil) с содержанием серы 0,5-2,0% и газойль MGO (Marine Gas Oil) с содержанием серы до 0,5% или 0,1%. MGO в основном используют для прохода через зоны контроля выбросов.

Анализ цен на топливо в портах АТР говорит об их ежегодном росте и динамичности. Максимального значения цены на топливо достигают к концу года (см. табл. 5) [7].

Таблица 5

Динамика цен на бункеровочное топливо в долл./т.

Порт	IFO 380				MGO			
	298	273	490	748	657	460	770	1270
Находка	06.12.2019	08.12.2020	08.12.2021	07.03.2022	02.12.2019	02.12.2020	13.12.2021	08.03.2022
	-	-	-	-	701	466	763	1261
Далянь	-	-	-	-	02.12.2019	09.12.2020	06.12.2021	08.03.2022
	338	341	480	662	673	458	766	1201
Шанхай	02.12.2019	02.12.2020	03.12.2021	07.03.2022	20.12.2019	17.12.2020	08.12.2021	07.03.2022
	281	340	535	839	441	545	859	1067
Осака	10.12.2019	01.12.2020	06.12.2021	09.03.2022	29.08.2019	07.01.2021	06.12.2021	09.03.2022
	403,00	339,00	500,00	823,00	683	438	720	1310
Гаосюн	20.12.2019	08.12.2020	06.12.2021	09.03.2022	05.12.2019	01.12.2020	02.12.2021	09.03.2022
	420	347	499,5	776	664	445	667	1419
Ичхон	17.12.2019	01.12.2020	06.12.2021	09.03.2022	02.12.2019	04.12.2020	08.12.2021	09.03.2022

Анализ условий эксплуатации судов позволяет сформировать вектор исходных данных для дальнейшего использования этих величин в математической модели для поиска оптимальных сочетаний значений проектных характеристик судов.

Описание математической модели

Математические модели широко используются на начальных стадиях проектирования судов для анализа альтернативных вариантов решений. С позиций системного подхода модель оптимизации проектных характеристик, использованная в настоящем исследовании (см. рис. 3), относится к нижнему уровню внешней задачи проектирования судов [8], а зависимости, составляющие ее основу, являются нелинейными. Модель, реализована в виде программы для ЭВМ и отличается от аналогичных [1, 9, 10] тем, что является усовершенствованной в частях касающихся расчетов главных размерений, сопротивления движению, характеристик гребного винта и выбора главного двигателя, оценки строительной стоимости и критериев экономической эффективности. Так, для расчета главных размерений использованы формулы, полученные в результате обработки данных современных судов-прототипов; сопротивление воды рассчитывалось по методике [11], доработанной в части расчетов сопротивления трения, выступающих частей и аэродинамической составляющей; гидродинамические характеристики гребных винтов [12] определялись по специально полученным для коэффициента K_{DT} (диаметр-упор) полиномам. Кроме того, при решении оптимизационной задачи учитывались требования к остойчивости, прочности и допустимой осадке по условию захода в порт погрузки/разгрузки приведенные в [10]. Оценка показателей функциональной эффективности производилась по результатам работы судна за год.

К числу исходных данных относятся – тип двигателя, число лопастей винта, ставки портовых сборов и заработной платы экипажа, характеристики ветра и волнения и др.

Варьируемые параметры – протяженность линии, цена топлива, нормы грузообработки.

Оптимизируемые переменные - скорость V_s и грузоподъемность P_g .

Ограничения – допустимая осадка, момент в миделевом сечении, диапазоны изменения метацентрической высоты и периода бортовой качки, числа Фруда, коэффициента общей полноты, а также отношений главных размерений.

Требования к переменным – диапазоны изменения оптимизируемых переменных V_s и P_g .

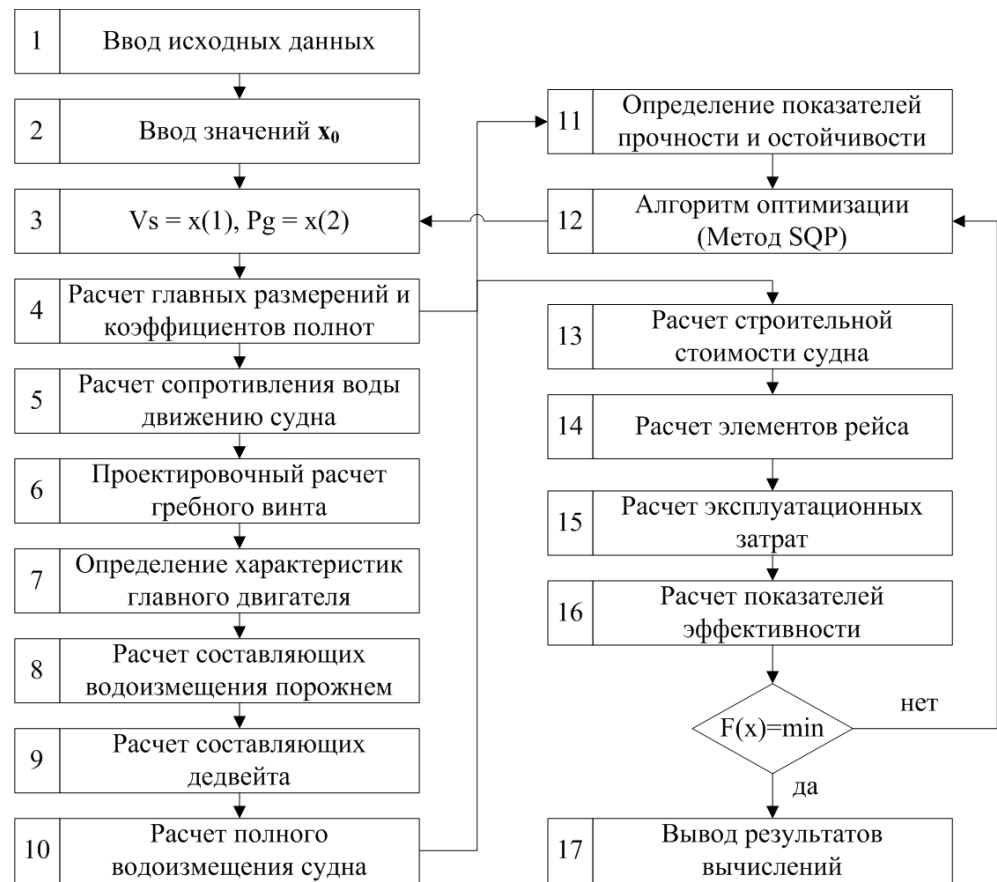


Рис.3. Блок-схема модели оптимизации характеристик балкера

Для расчета главных размерений и коэффициентов полнот корпуса судна в модели использовались формулы, полученные в результате обработки данных судов-прототипов (данные для анализа взяты из регистражной книги ABS - American Bureau of Shipping):

- длина габаритная (наибольшая теоретическая):

$$L_{нб} = 8,752DW^{0,288}; \tag{1}$$

- длина расчетная:

$$L = 1,003L_{нб} - 7,498; \tag{2}$$

- ширина габаритная:

$$B = 1,290DW^{0,293}; \quad (3)$$

- высота борта:

$$H = 0,575DW^{0,311} \quad (4)$$

- осадка расчетная:

$$T = 0,526DW^{0,286}; \quad (5)$$

- коэффициент общей полноты:

$$C_b = 0,87 \cdot 10^{-6} DW + 0,78; \quad (6)$$

- коэффициент полноты мидель-шпангоута [10]:

$$C_m = 1,012 C_b^{1/12} - 0,005; \quad (7)$$

- коэффициент полноты конструктивной ватерлинии (КВЛ) [10]:

$$C_{wp} = 1,015 C_b^{2/3}. \quad (8)$$

Водоизмещение судна порожнем вычислялось по формуле:

$$D_0 = P_s + P_o + P_m, \quad (9)$$

где P_s – масса корпуса и корпусных конструкций; P_o – масса оборудования корпуса; P_m – масса энергетической установки.

Слагаемые в выражении (9) рассчитываются по формулам, полученным в результате анализа данных судов прототипов [10]:

$$P_o = L^{0,8} B^{0,6} H^{0,3} C_b^{0,1}, \quad (10)$$

$$P_m = 0,17 N^{0,9}, \quad (11)$$

$$P_s = 0,034 L^{1,7} B^{0,7} H^{0,4} C_b^{0,5}. \quad (12)$$

Дедвейт рассчитывается по формуле:

$$DW = P_g + P_{fl} + P_{cr} + P_b, \quad (13)$$

где P_g – полезная грузоподъемность; P_{fl} – масса топлива; P_{cr} – масса экипажа с провизией и багажом; P_b – балласт.

Для расчета полного сопротивления воды движению судна использован метод, обобщающий результаты модельных и натурных испытаний транспортных судов различных типов (в основном зарубежной постройки) [11]:

$$R = C \frac{\rho V^2}{2} S, \quad (14)$$

где C – коэффициент полного сопротивления; ρ – массовая плотность морской воды; S – площадь смоченной поверхности; V – скорость хода судна.

Коэффициент полного сопротивления определяется по формуле:

$$C = C_f (1 + k) + C_w + C_{rh} + C_{app} + C_{air}, \quad (15)$$

где C_f – коэффициент сопротивления трения; k – форм-фактор (учитывает сопротивление формы); C_w – коэффициент волнового сопротивления; C_{rh} – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости обшивки; C_{app} – коэффициент,

учитывающий сопротивление выступающих частей корпуса судна; C_{air} – коэффициент сопротивления воздуха.

Гидродинамические характеристики гребного винта определялись по полиномам, полученным в результате обработки кривых (серия В [12]) коэффициента K_{DT} (диаметр-упор). В проектировочных расчетах диаметр гребного винта принимался максимальным по условию его размещения в кормовом подзоре корпуса судна, а число лопастей учитывалось поправочным коэффициентом. Формулы для расчета относительной поступи J , шагового отношения P/D и коэффициента полезного действия гребного винта (КПД) η_0 следующие:

$$J_0 = -0,0548 K_{DT}^2 + 0,5598 K_{DT} - 0,015, \quad (16)$$

$$P/D = 0,0417 K_{DT}^3 - 0,2481 K_{DT}^2 + 0,7064 K_{DT} + 0,449, \quad (17)$$

$$\eta_0 = 0,0444 K_{DT}^3 - 0,3008 K_{DT}^2 + 0,7708 K_{DT} + 0,011. \quad (18)$$

$$N = \frac{RV}{\eta_p \eta_s \eta_r}, \quad (19)$$

где V - скорость хода; R - сопротивление воды движению судна; η_p – пропульсивный КПД; η_r - КПД передачи; η_r - КПД редуктора.

Водоизмещение судна рассчитывалось по формуле:

$$D = D_0 + DW. \quad (20)$$

Алгоритм расчета водоизмещения и составляющих нагрузки представлен на рис. 4 и основан на итерационной процедуре, связанной с подбором искомого параметра в рассматриваемом выражении, в качестве которого выступает DW судна. Вычисления выполняются до тех пор, пока расчетное значение грузоподъемности судна P_{gc} не будет равно заданному (проектному) значению.

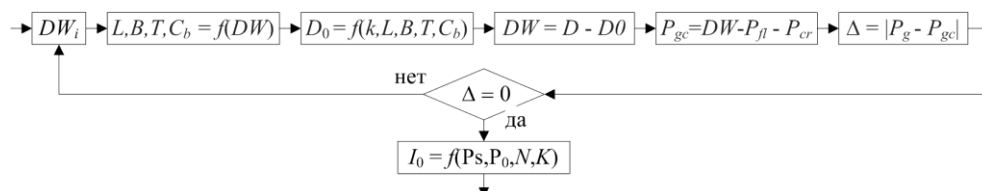


Рис.4. Алгоритм расчета водоизмещения и составляющих нагрузки

Время, затрачиваемое на проведение погрузочно-разгрузочных работ, рассчитывается:

$$T_{pr} = 2 ((P_g/q_{lu}) + t_a) \quad (21)$$

где q_{lu} – нормы выполнения погрузочно-разгрузочных работ; t_a – вспомогательное время.

Количество рейсов, совершаемых судном в течение года:

$$n_{rt} = T_{yr} / (T_r + T_{pr}) \quad (22)$$

где T_{yr} - период навигации судна с учетом простоев; T_r – время кругового рейса; T_{pr} – время нахождения судна в портах погрузки / разгрузки.

Годовой грузооборот судна вычисляется по формуле:

$$Q = P_g n_{rt}. \quad (23)$$

Строительная стоимость рассматриваемого судна определяется по формуле [10]:

$$I_0 = K_1 K_2 (2000 P_s^{0,85} + 3500 P_0 + 2400 N^{0,8}). \quad (24)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий интерес судостроительной верфи; K_2 – коэффициент, учитывающий количество судов в серии (серийность судов).

Суммарные эксплуатационные годовые расходы вычисляются по формуле [10]:

$$C_A = C_c + C_r + C_v, \quad (25)$$

где C_c – отчисления на административные нужды; C_r – годовые расходы, связанные с техническим обслуживанием и эксплуатацией судна; C_v – текущие рейсовые расходы.

Для оценки эффективности судов в рассматриваемой модели использовались интегральные показатели, широко применяемые в отечественных и зарубежных исследованиях при выполнении технико-экономических обоснований [1, 10, 13 - 17].

Транспортные издержки (Transportation cost):

$$TRC = \frac{C_A}{Q}. \quad (26)$$

Требуемая фрахтовая ставка (Required Freight Rate):

$$RFR = \frac{(CR)I_0 + C_A}{Q}. \quad (27)$$

Чистый приведенный доход (Net Present Value):

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{A'}{(1+i)^t} - I_0, \quad (28)$$

где i_d – коэффициент дисконтирования; N – нормативный срок службы судна; A' – доход после уплаты налога [14].

Результаты вычислений

Представленная выше математическая модель позволяет выполнить сопоставление проектных характеристик судов, осуществляющих в настоящее время перевозки угля морем из АО «Восточный Порт» в страны АТР, с оптимальными значениями характеристик, полученных в результате моделирования и оптимизации, а также оценить влияние условий эксплуатации на оптимальные значения характеристик (скорость и грузоподъемность) и экономические показатели, характеризующие функциональную эффективность судов.

Для иллюстрации влияния целевой направленности принятого в расчетах критерия на значения оптимальных проектных характеристик в настоящем исследовании использовались как минимизируемый (TRC), так и максимизируемый (NPV) показатели сравнительной экономической эффективности [14, 15].

В качестве примера, на рис. 5 показаны результаты расчетов, выполненных для критерия TRC. При этом были приняты следующие диапазоны изменения основных параметров, характеризующих внешние условия эксплуатации судов:

- протяженность линии эксплуатации: 500, 1250, 2500, 3750 и 5000 миль (см. рис. 5 а);
- производительность судопогрузочных машин: 3500, 7000 и 10500 т/час (см. рис. 5 б);

– стоимость бункеровочного топлива: 200, 500 и 1000 долл./т (см. рис. 5 в).

На приведенных графиках поверхности расположены в порядке возрастания указанных выше параметров (снизу вверх), характеризующих условия эксплуатации судов.

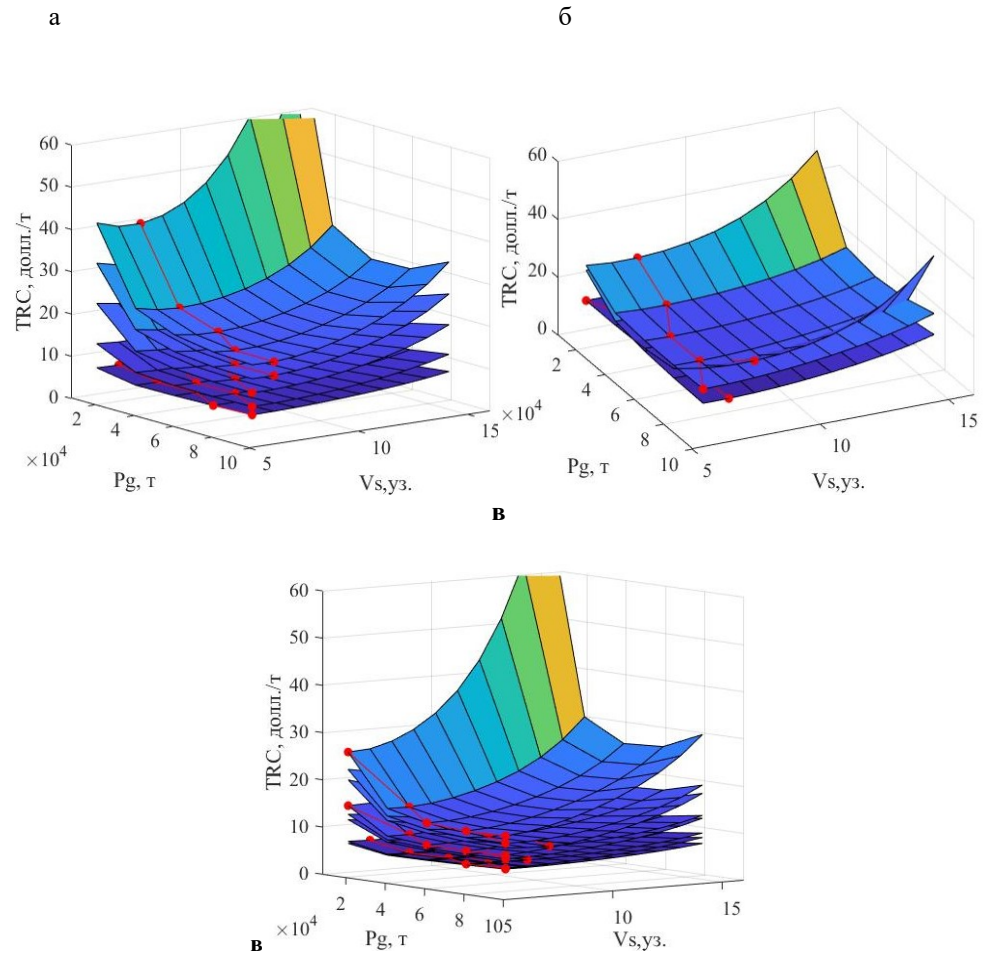


Рис. 5. Влияние параметров модели из числа исходных данных на критерий TRC:
 а - протяженности линии; б - производительность судопогрузочных машин;
 в – стоимость бункеровочного топлива

На рис. 5а линии, соответствующие оптимальным значениям скорости хода (экономически эффективной по критерию TRC), отмечены на графиках красным цветом. Таким образом, анализ вышеприведенных графических зависимостей позволяет определить оптимальные значения критерия TRC и скорости хода при заданной грузоподъемности судна. Результаты приведены в табл. 6 – 8.

Таблица 6

Зависимость скорости хода от грузоподъемности и протяженности линии

R, миль	500		1250		2500		3750		5000	
Pg, т	TRC, долл.	Vs, уз.	TRC, долл.	Vs, уз.	TRC, долл.	Vs, уз.	TRC, долл.	Vs, уз.	TRC, долл.	Vs, уз.
10000	6,57	7,00	12,04	7,00	21,10	6,00	30,17	7,00	39,24	8,00

30000	5,08	8,00	7,87	8,00	12,52	8,00	17,19	8,00	21,87	8,00
50000	5,20	7,00	7,48	7,00	11,22	8,00	14,98	8,00	18,74	8,00
70000	5,48	6,00	7,52	7,00	10,90	8,00	14,29	7,00	17,70	7,00
90000	5,80	6,00	7,77	6,00	11,06	7,00	14,32	7,00	17,60	7,00

Таблица 7

Зависимость скорости хода от грузоподъемности и производительности судопогрузочных машин

$q_{ш}$, т/час	3500		7000		10500	
Pg, т	TRC, долл.	Vs, уз.	TRC, долл.	Vs, уз.	TRC, долл.	Vs, уз.
10000	22,43	7,00	11,06	6,00	20,66	8,00
30000	14,69	8,00	10,90	7,00	11,80	8,00
50000	14,04	7,00	11,22	8,00	10,28	8,00
70000	14,20	7,00	12,52	8,00	9,80	7,00
90000	14,76	6,00	21,10	7,00	9,80	7,00

Таблица 8

Зависимость скорости хода от грузоподъемности и стоимости топлива

$f_{пр}$, долл./т	200		500		1000	
Pg, т	TRC, долл.	Vs, уз.	TRC, долл.	Vs, уз.	TRC, долл.	Vs, уз.
10000	10,07	9,00	12,04	7,00	14,25	6,00
30000	6,95	10,00	7,87	8,00	8,98	7,00
50000	6,75	9,00	7,48	7,00	8,32	6,00
70000	6,89	8,00	7,52	7,00	8,27	6,00
90000	7,18	7,00	7,77	6,00	8,55	6,00

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

- увеличение протяженности линии приводит к увеличению оптимальной скорости хода судна по критерию TRC;
- линиям с протяженностью до 1000 миль соответствуют меньшие значения скоростей хода во всем просматриваемом диапазоне грузоподъемностей;
- судам грузоподъемностью до 70000 т соответствуют большие значения скоростей хода оптимальных по критерию TRC;
- с увеличением грузоподъемности судна значения TRC уменьшаются и разница тем больше, чем больше грузоподъемность и протяженность линии;
- увеличение производительности судопогрузочных машин порта приводит к снижению простоев судна и уменьшению TRC. С увеличением грузоподъемности этот эффект более заметен;
- для заданных значений производительности судопогрузочных машин порта и протяженности линии всегда можно определить вариант судна (оптимальный по грузоподъемности) и являющийся наиболее эффективным с позиций критерия TRC;

- повышение стоимости бункеровочного топлива приводит к увеличению значений TRC и снижению оптимальной скорости хода. Более коротким линиям соответствуют меньшие значения скоростей хода при равной стоимости топлива;
- для заданных значений стоимости топлива, производительности судопогрузочных машин и протяженности линии всегда можно определить оптимальный по грузоподъемности и скорости хода судна вариант с позиций критерия TRC (причем скорость хода такого судна не всегда принимает минимальные значения);
- для перевозок угля в страны АТР, наиболее подходящими по критерию TRC, являются суда грузоподъемностью 70 ÷ 80 тыс. тонн и оптимальной (экономичной) скоростью хода порядка 7,0 узлов.
- В табл. 9, 10 по аналогии с вышеприведенными представлены результаты вычислений для критерия NPV, а на рис. 6, 7 для прочих показателей экономической эффективности.

Таблица 9

Зависимость скорости хода от грузоподъемности и фрахтовой ставки

P_g , т	RFR, долл./т	14	16	18	20
10000	V_s , уз.	8,00	9,00	9,00	9,00
	NPV, млн. долл.	0,28	2,86	5,6	8,35
30000	V_s , уз.	10,00	10,00	11,00	11,00
	NPV, млн. долл.	11,35	17,5	23,65	29,95
50000	V_s , уз.	9,00	10,00	10,00	10,00
	NPV, млн. долл.	14,35	21,77	29,4	37,02
70000	V_s , уз.	8,00	9,00	9,00	9,00
	NPV, млн. долл.	14,24	22,39	30,73	39,06
90000	V_s , уз.	7,00	8,00	8,00	9,00
	NPV, млн. долл.	12,61	21,14	29,87	38,42

В табл. 9 результаты получены при фиксированных значениях протяженности линии, производительности судопогрузочных машин, стоимости топлива ($R = 1000$ миль, $f_{pr} = 500$ долл./т и $q_{lu} = 7000$ т/час, $N = 24$ года, $i_p = 0,12$ и $i_d = 0,15$). Для каждого значения грузоподъемности изменялась фрахтовая ставка.

В результате расчетов установлено, что с увеличением значений фрахтовой ставки оптимальная (с точки зрения критерия NPV) скорость хода судна увеличивается (\approx на 1 узел), а зависимость между критериями NPV от RFR - линейная. Оптимальные значения скоростей хода судов грузоподъемностью от 50000 т и более на 1,0 – 2,0 узла меньше, чем у судов грузоподъемностью до 50000 т.

В табл. 10 приведены результаты оптимизации характеристик судна по критерию NPV. Расчеты выполнены для следующих исходных данных: $R = 1000$ миль, $f_{pr} = 800$ долл./т и $q_{lu} = 7000$ т/час, RFR = 12 ÷ 20 долл./т. На рис. 6 а показан пример оптимизации характеристик судна по критерию NPV для RFR = 12 долл./т.

Таблица 10

Зависимость проектных характеристик судна от RFR

RFR, долл./т	12	14	16	18	20	22
V_s , уз.	7,50	8,00	8,00	8,00	8,50	8,50
P_g , т	50000	60000	65000	75000	75000	80000

На рис. 6 б, в показаны примеры оптимизации характеристик по критериям TRC и RFR, при следующих значениях $R = 1000$ миль, $f_{pr} = 800$ долл./т и $q_{lu} = 7000$ т/час.

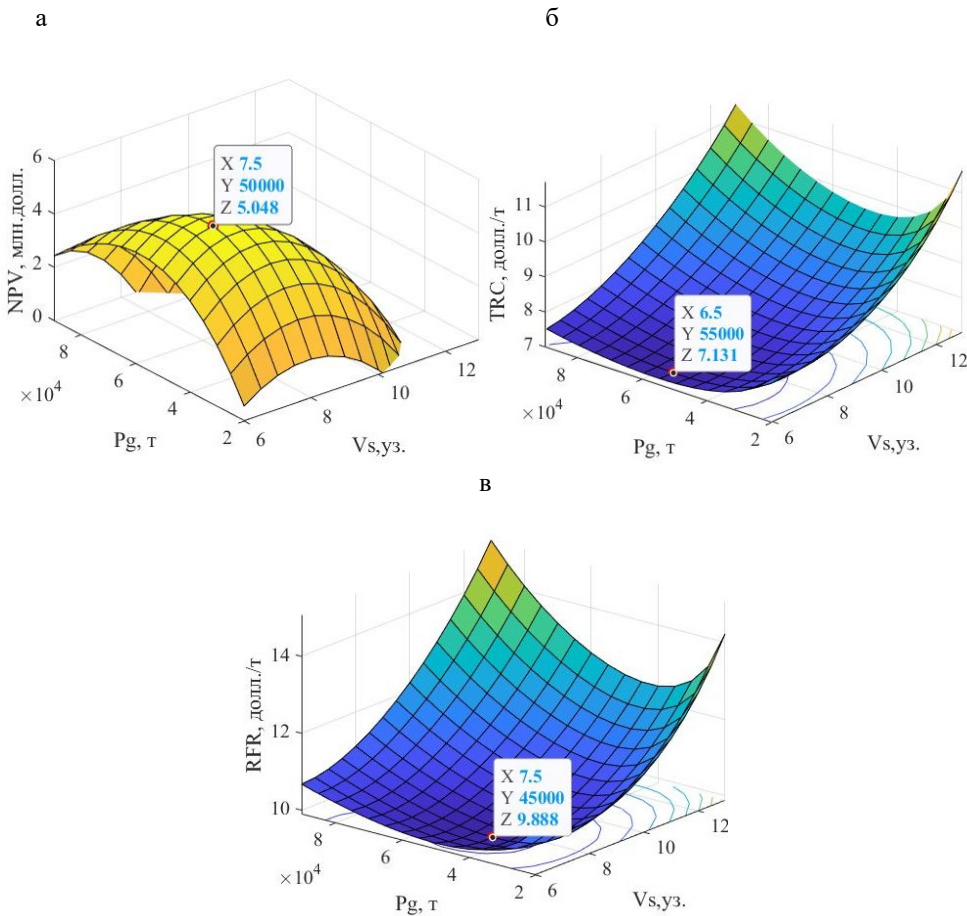


Рис. 6. Результаты оптимизации характеристик судна по критериям:
а – чистый приведенный доход; б – транспортные расходы; в – требуемая фрахтовая ставка

На рис. 7 показаны примеры оптимизации характеристик балкеров по критериям А (годовой доход [14]) и CF (прибыль до уплаты налога [15]). Исходных данные в этом расчете приняты, как и в предыдущем примере (рис. 6), а значение RFR = 10 и 12 долл./т.

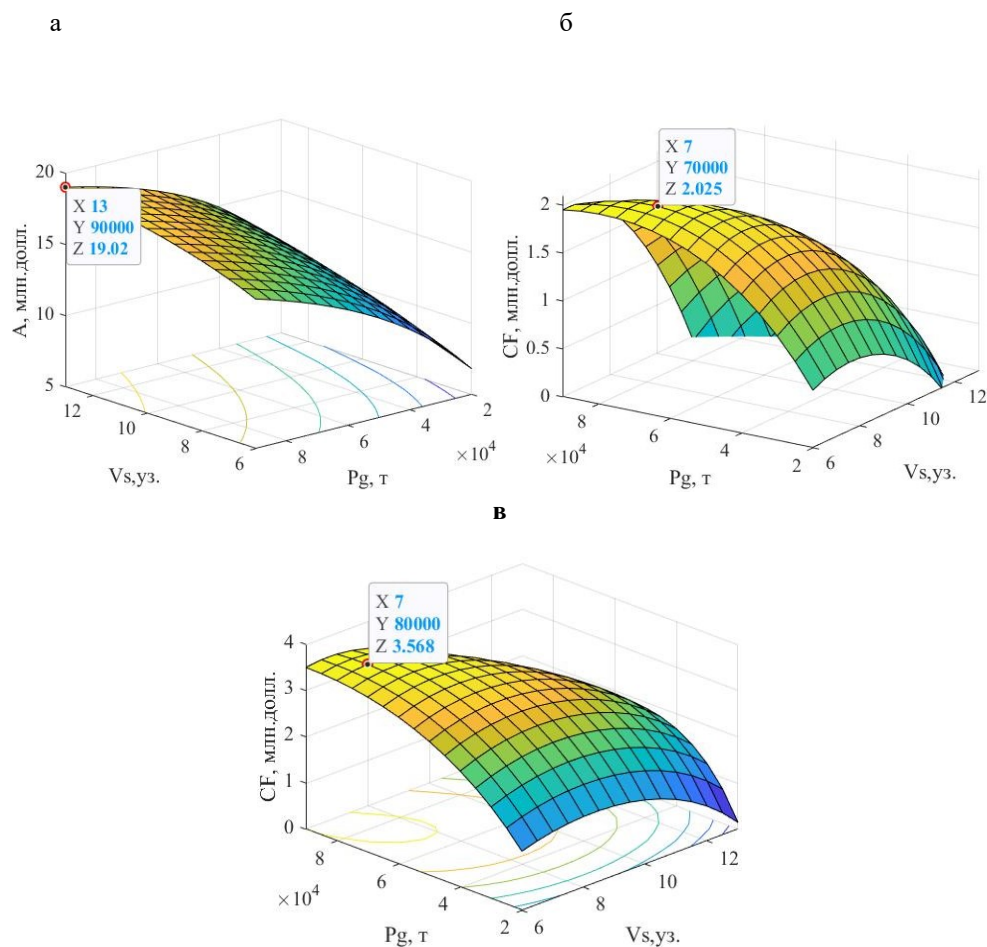


Рис. 7. Результаты оптимизации характеристик судна по критериям:
 а – валовый годовой доход; б – прибыль до уплаты налога (RFR = 10 долл./т);
 в – прибыль до уплаты налога (RFR = 12 долл./т)

Из анализа данных, приведенных на рис. 7, следует, что при максимизации валового годового дохода получается наибольшее (по грузоподъемности) судно с максимальной скоростью. При оптимизации по критерию CF результаты зависят от величины RFR.

В качестве примера результаты оптимизации характеристик судна по критерию «фактор возврата капитала» (CR1) для трех значений RFR представлены на рис. 8.

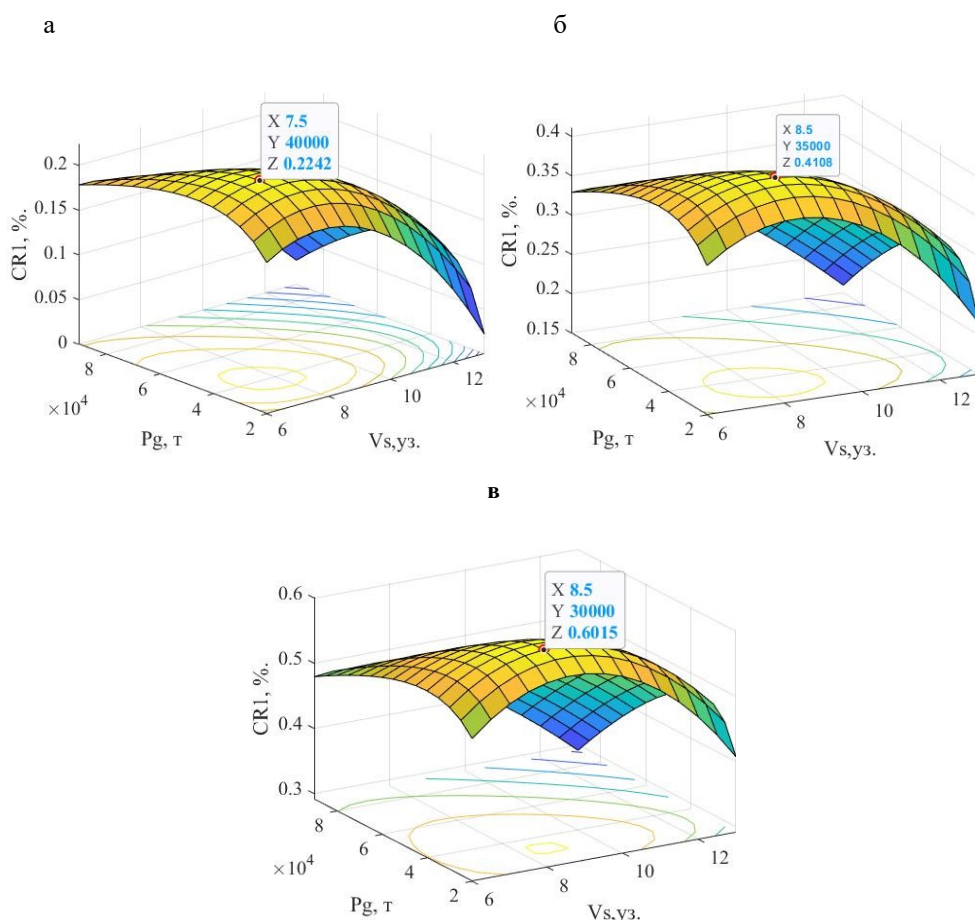


Рис. 8. Результаты оптимизации характеристик судна по критерию фактор возврата капитала:
 а – RFR = 12 долл./т; б – RFR = 16 долл./т; в – RFR = 20 долл./т

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

- повышение стоимости топлива приводит к уменьшению значения NPV и оптимальной (экономически эффективной) скорости хода;
- с повышением фрахтовой ставки наблюдается рост оптимальных значений грузоподъемности и скорости хода;
- оптимальная скорость хода судна при изменении протяженности линии в два и более раза уменьшается на 1,0 – 2,0 узла;
- диапазон оптимальных (экономически эффективных) скоростей хода судов, осуществляющих перевозки угля с страны АТР, лежит в диапазоне 7,0 ÷ 11,0 уз.
- установлено, что при текущих (на момент написания статьи) значениях фрахтовых ставок (14 – 22 долл./т) перевозку угля из п. Восточный в страны АТР целесообразно осуществлять судами грузоподъемностью 60 ÷ 75 тыс. тонн, что соответствует дедейту порядка 60 ÷ 80 тыс. тонн. Предельная осадка таких судов (при полной загрузке) 12 ÷ 14 метров, что в полной мере согласуется с

глубинами акватории Порта и проектными характеристиками судов, осуществляющих перевозки в настоящее время.

Заключение

В статье представлены результаты сопоставления проектных характеристик балкеров, осуществляющих перевозки угля из портов Дальнего востока в страны АТР, с проектными характеристиками, полученными в результате математического моделирования и оптимизации последних по экономическим критериям. Для этого разработана математическая модель оптимизации проектных характеристик балкеров. Все расчеты выполнены с привязкой к реальным условиям работы угольного терминала порта Восточный, что позволило сопоставить результаты вычислений с реальными данными. Результаты в полной мере согласуются с характеристиками судов, осуществляющих перевозки угля морем в настоящее время.

Приведены результаты анализа влияния факторов, характеризующих условия эксплуатации (протяженность линии, стоимость топлива, нормы грузообработки, фрахтовая ставка), на оптимальные значения основных проектных характеристик (скорость и грузоподъемность) и экономические показатели функционирования судов рассматриваемого типа.

Оценена эффективность и целесообразность (с учетом особенностей акватории порта) использования судов с определенными характеристиками на рассматриваемых направлениях перевозок.

Результаты исследования могут использоваться на начальных этапах проектирования при обосновании проектных характеристик балкеров, а также при закреплении судов-претендентов за альтернативными направлениями перевозок.

Список литературы

1. Yang, Y., A study on the preliminary ship design method using deterministic approach and probabilistic approach including hull form / Y. Yang, C. Park, K. Lee, J.C. Suh // Journal Structural and Multidisciplinary Optimization – 2007. 33 (6). Pp. 529-539. <https://doi.org/10.1007/s00158-006-0063-5>.
2. Официальный сайт АО "Восточный Порт". [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.vostport.ru> (дата обращения: 25.03.2022).
3. Сетевое издание PRIMPRESS. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://primpress.ru/article/79986> (дата обращения: 25.03.2022).
4. Информационно-аналитическое агентство «ПортНьюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/news/273629/> (дата обращения: 25.03.2022).
5. Официальный сайт Компании ООО «Уголь Инвест» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://coalinvest.ru/stavki-frahta-na-perevozki-uglya-t/> (дата обращения: 25.03.2022).
6. Состояние и динамика цен на угольную продукцию. Ежемесячный информационный бюллетень. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.rosugol.ru> (дата обращения: 25.03.2022).
7. Информационно-аналитическое агентство Oil Monster. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.oilmonster.com/bunker-fuel-prices> (дата обращения: 25.03.2022).
8. Вашедченко А.Н. Автоматизированное проектирование судов. Учебное пособие. - Л.: Судостроение, 1985. - 164 с.
9. Papanikolaou A. Ship Design - Methodologies of Preliminary Design. - Springer Publishers, 2014. 628 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8751-2>.
10. Hannapel S., Vlahopoulos N. Introducing Uncertainty in Multidiscipline Ship Design. Naval Engineers Journal. 2010. 122(2). P. 41 – 52. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.2010.00267.x>
11. Титов А.И. Определение мощности энергетической установки транспортных судов на начальных стадиях проектирования / А.И. Титов, А.Н. Четыркин, М.В. Михайлов. – Л.: Судостроение. – 1997. - № 6. - С. 42- 46.

12. Molland, A.F., Turnock, S. R. and Hudson, D.A. Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power. Cambridge University Press. 2011. 544 pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511974113>.
13. Бронников А.В. Разработка основных технико-эксплуатационных требований на проектирование морского судна Учебное пособие. - СПб.: изд. центр СПбГМТУ, 1997. 56 с.
14. Buxton I.L. Engineering economics and ship design. 3rd ed. (University of Newcastle upon Tyne, Dept of Marine Technology). BSRA, 1987, 143 p. <https://doi.org/10.1080/00137917208902718>.
15. Соколов В.П. Постановка задач экономического обоснования судов. Л.: Судостроение, 1987. 162 с.
16. Watson D.G.M. Practical Ship Design. 2nd ed. Elsevier, 2002. 531 pp.
17. Бреслав Л.Б. Технико-экономическое обоснование средств освоения Мирового океана. Л.: Судостроение, 1982. 240 с.

References

1. Yang. Y., A study on the preliminary ship design method using deterministic approach and probabilistic approach including hull form / Y. Yang, C. Park, K. Lee, J.C. Suh // *Journal Structural and Multidisciplinary Optimization* – 2007. 33 (6). Pp. 529-539. <https://doi.org/10.1007/s00158-006-0063-5>.
2. Oficial'nyj sajt AO "Vostochnyj Port". Web. 25 Mar. 2022 <<https://www.vostport.ru>>
3. Setevoe izdanie PRIMPRESS. Web. 25 Mar. 2022 <<https://primpress.ru/article/79986>>.
4. Informacionno-analiticheskoe agentstvo «PortN'yus». Web. 25 Mar. 2022 <<https://portnews.ru/news/273629/>>.
5. Oficial'nyj sajt Kompanii OOO «Ugol' Invest». Web. 25 Mar. 2022 <<http://coalinvest.ru/stavki-frahta-na-perevozki-uglya-t/>>.
6. Sostoyanie i dinamika cen na ugol'nyyu produkciyu. Ezhemesyachnyj informacionnyj byulleten'. Web. 25 Mar. 2022 <<https://www.rosugol.ru>>.
7. Informacionno-analiticheskoe agentstvo Oil Monster. Web. 25 Mar. 2022 <<https://www.oilmonster.com/bunker-fuel-prices>>.
8. Vashedchenko A.N. Avtomatizirovannoe proektirovanie sudov. Uchebnoe posobie. - L.: Sudostroenie, 1985. 164 p.
9. Papanikolaou A. Ship Design - Methodologies of Preliminary Design. - Springer Publishers, 2014. 628 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8751-2>.
10. Hannapel S., Vlahopoulos N. Introducing Uncertainty in Multidiscipline Ship Design. *Naval Engineers Journal*. 2010. 122(2). P. 41 – 52. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.2010.00267.x>
11. Titov A.I. Opredelenie moshchnosti energeticheskoy ustanovki transportnyh sudov na nachal'nyh stadiyah proektirovaniya (Determining the capacity of the power plant of transport ships at the initial stages of design) *Sudostroenie* 6. (1997): 42- 46.
12. Molland, A.F., Turnock, S. R. and Hudson, D.A. Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power. *Cambridge University Press*. 2011. 544 pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511974113>.
13. Bronnikov A.V. Razrabotka osnovnyh tekhniko-ekspluatatsionnyh trebovanij na proektirovanie morskogo sudna Uchebnoe posobie. - SPb.: izd. centr SPbGMTU, 1997. 56 p.
14. Buxton I.L. Engineering economics and ship design. 3rd ed. (*University of Newcastle upon Tyne, Dept of Marine Technology*). BSRA, 1987, 143 p. <https://doi.org/10.1080/00137917208902718>.
15. Sokolov V.P. Postanovka zadach ekonomicheskogo obosnovaniya sudov. L.: Sudostroenie, 1987. 162 p.
16. Watson D.G.M. Practical Ship Design. 2nd ed. *Elsevier*, 2002. 531 p.
17. Breslav L.B. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie sredstv osvoeniya Mirovogo okeana. L.: Sudostroenie, 1982. 240 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Китаев Максим Владимирович, к.т.н.,
доцент, департамента Морской техники и
транспорта, Политехнический институт
(Школа), Дальневосточный федеральный
университет (ФГАОУ ВО «ДВФУ»),
690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс-
10, E-mail: kitaev.mv@dvfu.ru

Maksim V. Kitaev, Candidate of Engineering
Sciences, Associate Professor, department of
Marine Engineering and Transport, Polytechnic
Institute (School), Far Eastern Federal University,
10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922

Статья поступила в редакцию 23.09.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 23.09.2022; published online 20.12.2022.

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi73.274

Сравнительный анализ критериев местной прочности судовых конструкций из композиционных материалов

С.А.Королев¹

ORCID: 0000-0001-8425-3096

А.Г.Назаров^{1,2}

ORCID: 0000-0002-6313-6277

¹ *АН Марин Консалтинг, Россия*

² *Albatross Marine Design, Таиланд*

Аннотация. Применение композиционных материалов в судостроении обеспечивает неоспоримые преимущества в массовых характеристиках конструкций. Однако достижение этих преимуществ связано с обоснованным применением методов проектирования таких конструкций. В статье рассмотрены особенности наиболее применяемых стандартов и правил, приведено сравнение результатов тестовых расчетов, даны рекомендации по совершенствованию российских нормативных документов. Поставлена задача создания программного обеспечения, предназначенного для расчета конструкций из композитов для рынка РФ.

Ключевые слова: композиционные материалы, проектирование судов, местная прочность

Comparative analysis of criteria for local strength of ship structures made of composite materials

Sergey A. Korolev¹

ORCID: 0000-0001-8425-3096

Albert G. Nazarov^{1,2}

ORCID: 0000-0002-6313-6277

¹ *AN Marine Consulting, Russia*

² *Albatross Marine Design, Thailand*

Abstract. The application of composite materials in shipbuilding provides undeniable advantages in the mass characteristics of structures. However, the achievement of these advantages is associated with the reasonable application of design methods for such structures. The article discusses the features of the most commonly used standards and rules, compares the results of test calculations, and gives recommendations for improving Russian regulatory documents. The task was set to create software designed to calculate structures made of composites for the Russian market.

Keywords: composite materials, ship design, local strength

Современное судостроение невозможно представить без применения композиционных материалов (КМ). В сегменте рекреационных судов из КМ строится до 90% численности флота; расширяется сфера применения КМ для коммерческих судов и рыболовных судов длиной до 30м (рис. 1), ведутся работы по внедрению КМ в

«конвенционное» судостроение. Среди преимуществ КМ: снижение массы конструкций и стоимости при крупносерийной постройке, минимальный объем межсезонного ремонта, отсутствие коррозии и т.д. Зачастую применение КМ сдерживается сложностью и «разнобоем» в методах их расчетов, а также отсутствия у ряда классификационных обществ (КО) требований к таким судам.



Рис. 1. Суда из КМ (проекты AMD): а) служебный катер пр.МОВ14 (Индия), класс GL; б) спасательный катамаран с противопожарным оборудованием пр.СМFF18 (ОАЭ), класс LR.

Целью статьи является повышение эффективности проектирования конструкций из КМ путем совершенствования методов их расчета. В статье поставлены следующие задачи: выполнить анализ существующих критериев прочности, провести сравнительные расчеты элементов конструкций, используемых в правилах КО и стандартах, дать рекомендации по применению и разработке нормативных документов, выполнить тестирование расчетов с использованием разработанной авторами программы SigmaLAM.

Особенности расчета прочности судовых конструкций из КМ

Расчет прочности судовых конструкций из КМ традиционно сводится к ряду задач анализа: а) общей прочности корпуса судна как балки, б) местной прочности пластин и балок, в) прочности элементов, таких как фундаменты двигателя, мачты, крепления и т.д. Для большинства судов длиной до 40м определяющей является именно местная прочность [4], для расчета которой конструкция представляется в виде комбинации пластин обшивки (однослойных либо трехслойных) и балок набора. Особенности расчета конструкций из КМ является то, что КМ в общем случае является анизотропным материалом. Сам материал образуется в процессе постройки судна, а прочностные характеристики решающим образом зависят от технологических факторов.

Таблица 1

Критерии прочности судовых конструкций из КМ для трехслойных пластин

	LR	DNV	GL	BV	ABS	ISO12215-5		IRS	PMPC	PPP	РД
						2019	2008				
	[8]	[13]	[12]	[10]	[11]	[5]	[4]	[9]	[16]	[17]	[14]
Основные критерии											
Нормальных напряжений	+			+		+	+		+	+	+
Минимальный момент сопротивления (зависящий от нормальных напряжений)					+			+			
Удлинения (strain)		+	+								
Касательных напряжений в заполнителе	+	+	+	+					+	+	+
Минимальная толщина заполнителя или всей панели (зависящая от касательных напряжений в заполнителе)					+	+	+	+			
Деформаций без учета сдвига		+	+								
Деформаций с учетом сдвига	+								+	+	+
Минимальный момент инерции					+		+				
Межслойный сдвиг	Н	Н	+	+		Н	Н				
Дополнительные критерии											
Минимальной толщины оболочек					+			+	+	+	+
Минимальной массы арматуры оболочек	+	+				Р	+				
Потери устойчивости оболочек	А	А	А	А	А	А	А		+	+	+
Минимальной прочности заполнителя на сдвиг	+	+			+	+	+		+		
Минимальной прочности заполнителя на сжатие	+	+				+			+	+	

Р – только для рабочих судов; Н – в методике рассчитывается, но не нормируется;
А – используется формула (1) из книги Аллена [1].

Обзор существующих методов оценки местной прочности представлен в [15]. Для большинства современных КО и стандартов в задачах местной прочности характерны «пакетные» методы анализа либо классическая теория ламинатов (CLT), а также использование метода конечных элементов (МКЭ); все это требует использования специализированного программного обеспечения.

Типы критериев прочности

Условно все используемые критерии прочности можно разделить на две группы (см.табл.1):

- Основные, непосредственно характеризующие разрушение конструкций – это критерии напряжений (либо удлинения) и деформаций.
- Дополнительные, накладывающие добавочные ограничения на конструкции – например, критерии потери устойчивости, минимальной толщины либо массы арматуры оболочек, пропорций балок набора, минимальной плотности либо прочности пенопласта и т.д.

Особый случай составляют критерии прочности в случае применения метода конечных элементов (МКЭ), где вместо первой группы используются тензорные критерии. Критерии второй группы оценить с использованием МКЭ практически невозможно.

Как правило, в грамотно составленной методике расчета критерии не дублируются; в «компилированных» из разных источников методиках такое дублирование встречается.

Зарубежные классификационные общества

Регистр Ллойда был одним из первых, разработавших правила для судов из КМ (точнее - из стеклопластиков). Методика Ллойда 1960-х базировалась на упрощенном подходе с директивной шпацией и зависящей от нее толщиной обшивки. В настоящее время требования Ллойда к конструкциям из КМ изложены в правилах LR SSC [8] и основаны на пакетном анализе ламинатов. Ллойдом разработана и оригинальная программа для расчетов общей и местной прочности, в которой это КО принимает и проверяет проектные расчеты. Допускаемые нормальные напряжения 0,25...0,33 от предела прочности, в зависимости от положения и воздействия нагрузок от слеминга; касательные напряжения для заполнителя 0,35...0,45 от предела прочности. Прочностные свойства материалов заложены в LR SSC в виде аппроксимированных формул в зависимости от типа материала и содержания арматуры. Опыт работы с LR показывает, что правила хорошо подходят для рабочих судов (рис.1б), предназначенных для тяжелых условий эксплуатации, включая ограниченные ледовые условия.

Подходы и правила Американского бюро судоходства ABS [11] в части судов из КМ в 1980-90-х были наиболее прогрессивными; например, они использовались для проектирования гоночных океанских яхт. Фактически с тех пор они не претерпели существенных изменений и базируются на квази-изотропном подходе к анализу конструкций, когда свойства слоев в ламинатах «усредняются» и расчет выполняется подобно изотропной пластине или балке набора. Допускаемые напряжения в оболочках и заполнителе 0,33 и 0,30...0,40 (в зависимости от типа заполнителя). В то же время, в преамбуле к разделу из КМ предусмотрена и возможность «пакетного», CLT и МКЭ анализа.

Из практического опыта проектирования (рис.1а), пожалуй, наиболее удачные правила для судов из КМ были разработаны Германским Ллойдом (GL) в редакции 2012 года [12], основанные на подходе CLT (classic laminate theory). В новой редакции объединенного общества DNV (после слияния DNV и GL в 2013) для объединенных

правил расчетный метод анализа композитов был перенесен из GL, а расчётные нагрузки – на основе старых правил DNV, причем привести нагрузки к адекватному виду удалось лишь в редакции 2018 года. Правила DNV HSLC [13] оказались неоправданно усложнены: например, для каждой трехслойной пластины из КМ требуется выполнять расчет в нескольких точках, что существенно увеличивает трудоемкость расчетов. Кроме того, у DNV имеются также правила ST0342 [2] для судов длиной до 24м, где применён упрощенный метод анализа КМ.

Следует отметить, что во всех перечисленных выше правилах используется критерий устойчивости сжатых оболочек трехслойных конструкций в форме, приведенной в книге Аллена [1]:

$$\sigma_c = B' \times \sqrt[3]{E_{CS} E_{CC} G_{CC}} \quad (1)$$

где σ_c - критическое напряжение сжатия в сжатой оболочке, B' – коэффициент, E_{CS} , E_{CC} – модули упругости материала оболочки и заполнителя, G_{CC} – модуль сдвига материала заполнителя. Различия наблюдаются только в величинах коэффициента B' – его теоретическое значение составляет 0,8, в то время как КО используют 0,5...0,6 и далее применяют к нему различные коэффициенты запаса.

Правила Индийского Регистра IRS [9] сравнительно новые в части КМ, но уже доказавшие свою эффективность в ряде проектов [6]. Правила содержат расчетные нагрузки и критерии прочности, но не включают методику расчетов, давая проектировщикам определенную свободу выбора инструментов проектирования. Допускаемые нормальные и касательные напряжения составляют 0,4 от предела прочности материала для зон с нагрузками от слеминга и 0,3 для всех остальных элементов.

Стандарты ISO12215-5 и VTT

Стандарт ISO12215-5 (и разработанный на его основе стандарт VTT для коммерческих судов) имеет более чем 20-летнюю историю применения и совершенствования, и являются в настоящее время основой для проектирования судов до 24м. Следует заметить, что иногда стандарт 12215-5 некорректно воспринимается как применимый исключительно для рекреационных судов: действительно, такое применение было оговорено в ранних его редакциях. Однако уже редакция 2008 включала «суда, используемые для чартера», а в редакции 2019 включены «коммерческие и рабочие суда», для которых применяются более высокие коэффициенты запаса и критерии минимальной массы арматуры оболочек. Так, допускаемые нормальные и напряжения рекреационных судов составляют 0,5 от предела прочности материала для оболочек, касательные 0,5...0,65 для заполнителя, в зависимости от типа заполнителя. Для рабочих судов те же величины составляют 0,33 и 0,33...0,43 соответственно. В стандартах ISO [5] принимается $B'=0,3$ в формуле (1). В основе расчета прочности конструкций из КМ по ISO12215-5 лежит процедура пакетного анализа ламинатов. В новой версии [5] также приведены рекомендации по применению CLT и МКЭ.

Отметим, что правила РМРС указывают на возможность применения стандартов этой группы для расчетов прочности высокоскоростных судов.

Российские нормативные документы

Говоря о российской нормативной практике, следует упомянуть РД51186-90 [14], который содержит методы расчета конструкций из КМ. При этом, пластины и оболочки трехслойных конструкций рассматриваются как де-факто изотропные, что в современных проектах применяется редко; балки набора вообще не рассматриваются.

В целом, документ устарел и использовать его как для практических расчетов, так и для разработки новых нормативных документов нецелесообразно.

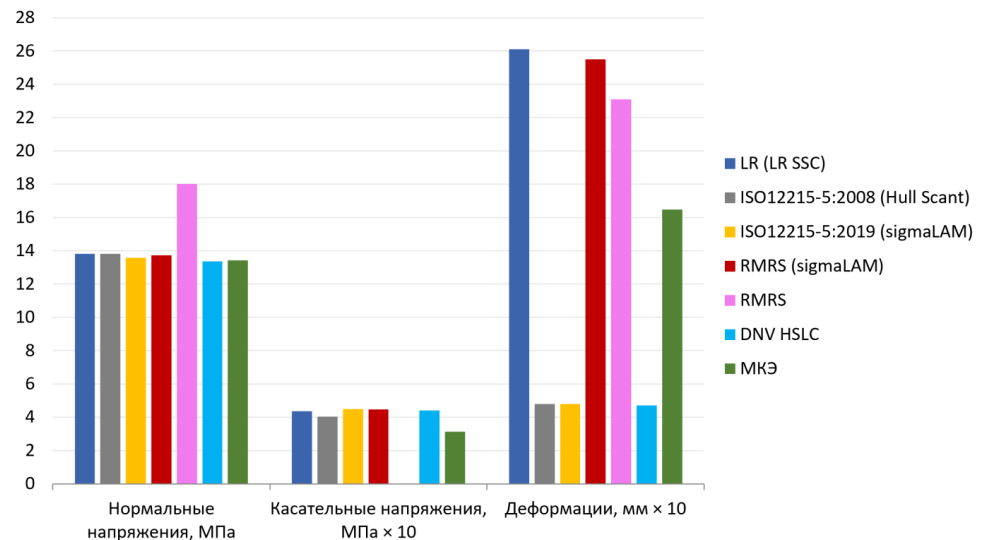


Рис. 2. Результаты расчета в абсолютных величинах трехслойной пластины борта размером 500×1000мм на давление 40кПа по различным методикам.

Правила PPP в части композитов достаточно статичны и претерпели минимум изменений за прошедшие десятилетия. PPP [17] не оговаривает методику расчетов конструкций из КМ, а задают лишь критерии прочности и требуемые коэффициенты запасов. Приоритет отдается общей продольной прочности, что для типичных судов из КМ (большинство из них – до 40м длиной) вообще не является определяющим случаем. Содержатся многочисленные директивные требования к продольной и поперечной шпации, применяемой системе набора и т.д. – все это не соответствует современной практике и видится «рудиментом» правил 1960-х годов. Также, прочностные характеристики КМ устанавливаются исключительно методом испытаний. Допускаемые нормальные и касательные напряжения составляют 0,15...0,60 от временного сопротивления материала в зависимости от положения и способа изготовления конструкции. В целом, правила PPP дают достаточную свободу проектирования конструкций, если удастся «вписаться» в требования к шпации и воспользоваться результатами проведенных ранее испытаний материалов.

Правила РМРС также были довольно статичны длительное время и основаны на «директивном подходе», когда толщина обшивки задавалась вместе со шпацией и другими элементами конструкции. В 2018 году правила РМРС претерпели значительное обновление, и сделана попытка разработать расчетный метод, базирующийся во многом на РД [14]. Тем не менее, правила до сих пор находятся в стадии становления. Так, в начале 2021 года был издан бюллетень изменений объемом 43 страницы, который включал корректировки значительного числа формул и графиков. Допускаемые нормальные напряжения составляют 0,27...0,49, касательные – 0,225 ... 0,56 от предела прочности в зависимости от положения и способа изготовления конструкции. Основные проблемы видятся в следующем:

- минимальные прочностные характеристики КМ, а также содержание арматуры в правилах завышены и находятся выше средних/достижимых в отрасли;

- назначение коэффициентов запаса имеет неоправданно запутанную структуру, причем слои в одном и том же элементе могут иметь разные коэффициенты запаса;
- рекомендуемый в правилах метод анализа конструкций не подразумевает послойный анализ, а использует усреднение свойств КМ, из которого состоит элемент;
- методика расчета делает значительный акцент на сжатые по краям пластины, в то же время в зарубежных КО такие случаи рассматриваются редко;
- многие графики, например, для расчета устойчивости, с трудом поддаются аппроксимации, что делает затруднительным автоматизацию расчетов прочности.
- использование критерия толщины оболочки вместо критерия массы арматуры стимулирует применение низкотехнологичных ламинатов.
- в правилах содержится большое количество конструктивных узлов, нетиповых для судов небольших размеров из КМ.

Выполненные авторами оценки показывают, что РМРС для однослойных пластин и балок набора работоспособны. В то же время, для трехслойных пластин формулы РМРС дают величины напряжений, превышающие таковые у всех КО и стандартов ISO12215-5, что говорит о необходимости проверки расчетных формул. При этом, следует отметить большую проделанную работу и стремление РМРС к совершенствованию правил для КМ.

Сравнительные расчеты прочности конструкций

Опыт показывает, что наибольшие расхождения в методиках и критериях различных КО и стандартов наблюдаются при выполнении расчетов трехслойных пластин. Для сравнения методик авторами выполнены тестовые расчеты ряда трехслойных пластин, имеющих размеры 500x1000мм, представляющие днищевую, бортовую и палубную конструкции. В качестве примера на рис.2 показаны результаты расчета для трехслойной бортовой пластины, изготавливаемой методом инфузии и имеющей армирование наружной и внутренней оболочек из 4 слоев двунаправленной ткани LT600, 0/90°, 600г/м², наполнитель среднего слоя – из пенопласта Divnucell H100 20мм. Расчет выполнен на равномерно распределенное давление 40кПа. Результаты представлены на рис.2 в абсолютных величинах и на рис.3 в виде «фактора соответствия» CF (compliance factor), показывающего, во сколько раз действующая величина критерия превышает допустимую величину, и определяемого как:

$$CF = \frac{\text{допускаемое значение}}{\text{действующее значение}} = \frac{\text{предельное значение} \times \text{коэффициент запаса}}{\text{действующее значение}}$$

При CF<1.0 критерий прочности не выполняется. В процессе выполнения расчетов анализировались несколько методик, в первую очередь основанных на «пакетном» анализе, и производилось сравнение полученных величин CF.

В расчете по ISO12215-5:2008 в программе HullScant используются коэффициенты запаса, применяемые в этом стандарте: 0,5 для нормальных и касательных напряжений в оболочках и 0,55 для касательных в наполнителе. Прочностные характеристики также взяты из указанной редакции стандарта, для метода «b» (содержание арматуры в ламинате подтверждено тестами).

Расчет по ISO12215-5:2019 выполнен двумя способами – с использованием программ HullScant2.0 и SigmaLAM. Приняты коэффициенты запаса для рабочих судов. Прочностные характеристики материалов определены по внутренним

формулам стандарта с коэффициентом 0,95, учитывающим применяемую методику расчета.

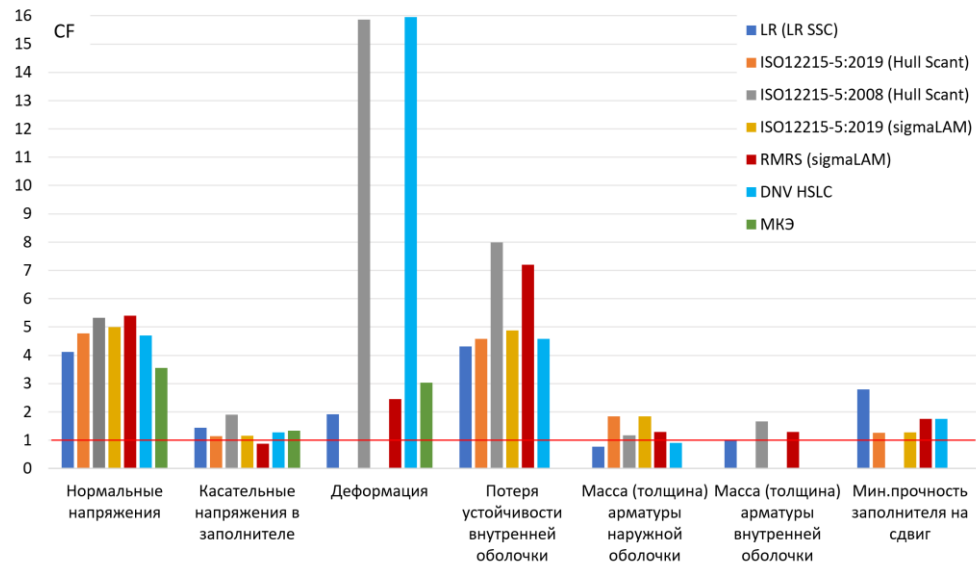


Рис. 3. Результаты расчетов (CF) трехслойной пластины борта размером 500×1000мм на давление 40кПа по различным методикам.

Расчет по LR SSC выполнен с использованием оригинальной программы и критериев, используемых этим КО. Прочностные характеристики материалов и коэффициенты запаса определены по внутренним формулам и требованиям LR SSC и составляют 0,33 - для бортовой обшивки в зоне слеминга.

Расчет по правилам РМРС на рис.2 выполнен «вручную», при этом пластины в расчете полагаются «квази-изотропными» с учетом подходов РМРС.

Расчет с использованием критериев РМРС в программе SigmaLAM выполнен с использованием методики, разработанной авторами. Прочностные характеристики материалов приняты по формулам из стандарта ISO12215-5:2019 с коэффициентом 0,95. Коэффициенты запаса по напряжениям для бортовой пластины, расположенной ниже ВЛ приняты для нормальных напряжений – 0,36, для касательных – 0,30

Особенности применения МКЭ для расчетов местной прочности

Существуют специализированные программы МКЭ, предназначенные для работы с конструкциями из КМ. На рис.4 представлены результаты расчета бортовой пластины (из рис.2, 3) с использованием программы Strand7. Пластина закреплена по всем кромкам, слой представлен в виде ортотропной модели с использованием свойств материалов из ISO12215-5:2019. Для представления результатов использовались тензорные критерии напряжений и Цзя-Ву, а также сдвиговые напряжения в заполнителе и деформации. На рис.3 результаты расчета МКЭ приведены с коэффициентом запаса 0.33 для нормальных и касательных напряжений. Характерно, что МКЭ более достоверно учитывает геометрию пластины при расчете деформаций.

Можно отметить, что применение МКЭ для расчета местной прочности в большинстве случаев нецелесообразно (кроме случаев панелей сложной конфигурации, со значительной кривизной или естественными элементами жесткости) из-за высокой трудоемкости моделирования и расчета. Имеющиеся на

рынке программы МКЭ не позволяет оценивать критерии устойчивости оболочек и ряд других дополнительных критериев. Сложностью в РФ является требование «признания» программного обеспечения российскими КО – как правило, разработчики специализированных программ МКЭ композитов не заинтересованы в формальной сертификации своих программных продуктов.

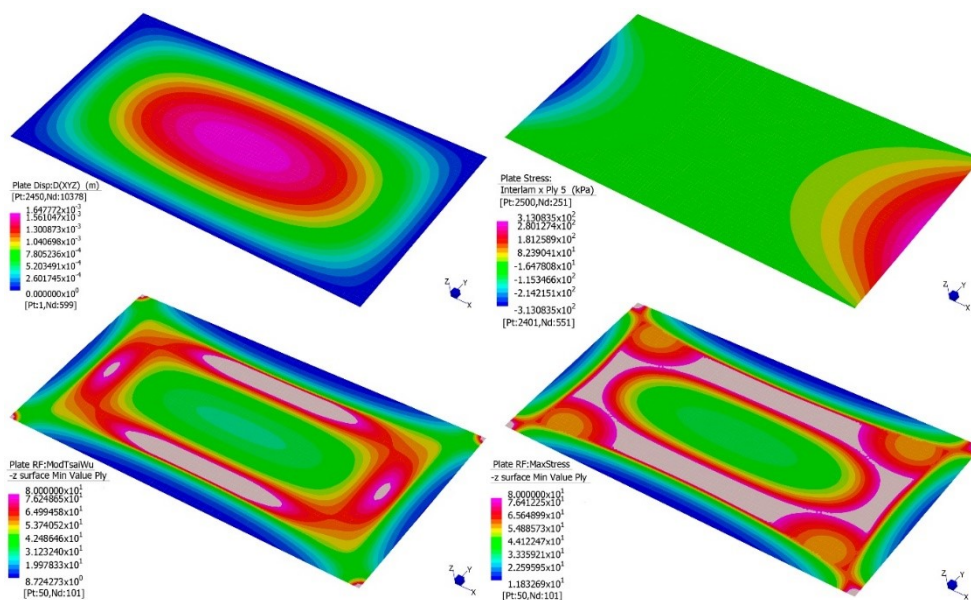


Рис. 4. Результаты расчета трехслойной пластины борта размером 500×1000мм на давление 40кПа с использованием МКЭ.

В целом, стандарт ISO12215-5:2019 и ряд КО позволяют де-факто снижать запасы прочности при использовании для расчетов МКЭ. Однако на практике какое-либо существенное снижение массы корпуса получить таким способом невозможно. В этих условиях, выглядит оправданной разработка программного обеспечения реализующего методику «пакетного» анализа и привязанного к требованиям конкретного КО.

Анализ результатов и рекомендации по расчетам КМ

Как видно из данных представленных на рис.2, абсолютные значения нормальных и касательных напряжений, вычисленные по методикам различных КО, в том числе и с использованием программы SigmaLAM отличаются незначительно (например, для нормальных напряжений разница составляет всего 3%). Исключение составляют лишь напряжения посчитанные «вручную» по новой методике РМРС [16], где по нормальным напряжениям разница составляет 30%.

Результаты расчетов деформаций делятся на две группы, учитывающие влияние сдвига на деформацию и не учитывающие. При этом видно, что для рассматриваемого примера, влияние сдвига на деформацию существенно.

Анализ результатов расчета абсолютных напряжений и деформаций дает необходимую базу для сравнения методик. Как видно из рис.2, все «устоявшиеся» методики расчетов дают весьма близкие результаты, а имеющиеся расхождения могут быть объяснены.

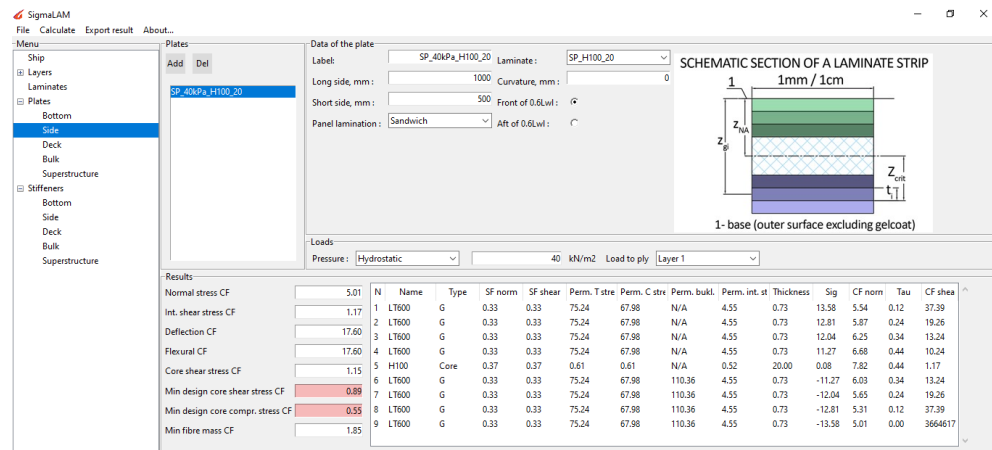


Рис. 5. Окно расчета программы SigmaLAM по критериям PMPC

Наибольший практический интерес представляет анализ результатов оценки соответствия критериям прочности пластины в виде CF по разным правилам. Оказывается (и это подтверждено инженерной практикой), что одна и та же пластина при расчете на одну и ту же нагрузку «проходит» по одним правилам, и «не проходит» по другим (рис.3). Наиболее часто несоответствие возникает из-за дополнительной группы критериев – толщин или массы ламината оболочек или минимальных свойств заполнителя.

Так, рассматриваемая пластина удовлетворяет всем критериям по ISO12215-5:2019. При попытке расчета этой же пластины по LR SSC она легко удовлетворяет критериям напряжений, но «не проходит» по критериям минимальной массы арматуры оболочек, что является следствием довольно жесткого нормирования этого критерия в LR SSC. Указанное нормирование затрудняет применение LR SSC для судов сверхлегкой конструкции и судов длиной до 15м.

На рис.3 также можно отметить близкое совпадение по фактору CF для критерия потери устойчивости внутренней оболочки, для разных методик. «Выпадает» из этой группы расчет в SigmaLAM по критериям PMPC, где используется формула (1) и обратный коэффициент запаса 1,5 по устойчивости из [16] (у остальных рассмотренных КО этот коэффициент составляет 3,0). Заметим также, коэффициент 1,5 используется и в правилах PPP [17]. Также, различия заметны в расчете по ISO12215-5:2008, где используется формула (1), но коэффициент запаса относится к прогулочным судам.

Значительный разброс наблюдается в CF и для основных критериев. Например, для нормальных напряжений, рассчитанных по методикам различных КО, разница с CF составляет 31%, что обусловлено различиями методик определения предела прочности материалов и величин допускаемых напряжений.

Выполненные авторами расчеты для других пластин серии показывают, что для высоконагруженных пластин определяющим критерием часто оказывается прочность на сдвиг материала заполнителя. Результаты также свидетельствуют, что критерии потери устойчивости оболочек удовлетворяются с большим запасом для подавляющего большинства реальных конструкций, за исключением, пожалуй, конструкций со сверхтонкими оболочками.

Заключение

Развитие компетенций в области проектирования и постройки судов из КМ связано с разработкой методик расчета таких судов, а также созданием программного обеспечения, позволяющего реализовывать эти методики. В настоящее время назрела

острая необходимость совершенствования имеющейся нормативной базы РФ для обеспечения внутреннего рынка качественными судами отечественной постройки, не уступающим зарубежным аналогам. Одним из шагов в этом направлении является разработка авторами статьи программы SigmaLAM (рис.5), позволяющей выполнять оценку местной прочности судовых конструкций из КМ по критериям РМРС и в перспективе - PPP. Немаловажным преимуществом программы является параллельная оценка прочности с использованием методики и критериев ISO12215-5, что дает проектировщику дополнительную возможность верифицировать полученные результаты на этапе совершенствования отечественных правил. Экспериментальное применение программы SigmaLAM для ряда тестовых расчетов (в том числе, приведенных в настоящей статье) и проектов судов доказывает ее эффективность и достоверность получаемых результатов.

Список литературы

1. Allen H.G. Analysis and design of structural sandwich panels/ H.G. Allen// Pergamon Press, 1969.
2. DNV-GL Standard 0342 – Craft. DNV, 2016.
3. Guidelines for Commercial Craft. VTT. Version 2016-2.
4. ISO-12215 - 5:2008 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.
5. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.
6. Kamath P., Nazarov A. Design and Construction of SM16 Fast Interceptor Craft: Case Study /P. Kamath , A. Nazarov. //WARSHIP 2013: Minor Warships – 12-13 June 2013, Bath, UK – p.131-139.
7. Nazarov A. Composite High Speed Craft: Practical Design Approaches/ A. Nazarov // 4nd Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2014.
8. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd’s Register, 2020.
9. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. IRS, 2021.
10. Rules and Guidance notes. Hull in Composite Materials and Plywood, Material Approval, Design Principles, Construction and Survey, BV, 2018
11. Rules for Building and Classing. High Speed Craft, ABS, 2022
12. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. German Lloyd, 2012.
13. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV, 2021.
14. Корпуса и корпусные конструкции из стеклопластика. Правила проектирования и методические указания по расчетам прочности. РД5.1186-90
15. Назаров А.Г. Подходы к оценке прочности и расчетные нагрузки для маломерных рыболовных судов / А.Г. Назаров// IX Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», с.122-129, Калининград, 2021.
16. Правила классификации и постройки морских судов. Российский Морской Регистр Судоходства, 2022.
17. Правила классификации и постройки судов. Российский Речной Регистр, 2022.

References

1. Allen H.G. Analysis and design of structural sandwich panels/ H.G. Allen// Pergamon Press, 1969.
2. DNV-GL Standard 0342 – Craft. DNV, 2016.
3. Guidelines for Commercial Craft. VTT. Version 2016-2.
4. ISO-12215 - 5:2008 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.
5. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.

6. Kamath P., Nazarov A. Design and Construction of SM16 Fast Interceptor Craft: Case Study /P. Kamath , A. Nazarov. //WARSHIP 2013: Minor Warships – 12-13 June 2013, Bath, UK – p.131-139.
7. Nazarov A. Composite High Speed Craft: Practical Design Approaches/ A. Nazarov // 4nd Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2014.
8. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd's Register, 2020.
9. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. IRS, 2021.
10. Rules and Guidance notes. Hull in Composite Materials and Plywood, Material Approval, Design Principles, Construction and Survey, BV, 2018
11. Rules for Building and Classing. High Speed Craft, ABS, 2022
12. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. German Lloyd, 2012.
13. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV, 2021.
14. Korpusa i korpusnye konstrukcii iz stekloplastika. Pravila proektirovaniya i metodicheskie ukazaniya po raschetam prochnosti [Hulls and hull structures in fiberglass. Rules for design and methodical guidelines on calculations of strength] RD5.1186-90
15. Nazarov A.G. Podhody k ocenke prochnosti i raschetnye nagruzki dlya malomernyh rybolovnyh sudov [Approaches to assessment of strength and design loads for small fishing ships] / A.G. Nazarov// IX Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoy industrii», s.122-129, Kaliningrad, 2021.
16. Pravila klassifikacii i postrojki morskih sudov. [Rules of classification and construction of marine ship] Rossijskij Morskoj Registr Sudohodstva, 2022.
17. Pravila klassifikacii i postrojki sudov. [Rules of classification and construction of ship] Rossijskij Rechnoj Registr, 2022.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Назаров Альберт Георгиевич, к.т.н., FRINA, CEng, MSNAME, директор, конструкторское бюро "Albatross Marine Design", Таиланд; «АН Марин Консалтинг», Россия, email: an@amdesign.co.th

Albert G. Nazarov, Cand Sci (Tech), FRINA, CEng, MSNAME, director, design bureau «Albatross Marine Design», Thailand; «AN Marine Consulting», Russia, email: an@amdesign.co.th

Королев Сергей Александрович, инженер-конструктор «АН Марин Консалтинг», Россия, email: s_a_korolev@mail.ru

Sergei A. Korolev, design engineer «AN Marine Consulting», Russia, email: s_a_korolev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.06.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 29.06.2022; published online 20.12.2022.

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi73.329

Обоснование высоты борта наливного судна смешанного (река-море) плавания на начальных стадиях проектирования

Е.П. Роннов¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3022-1926>

Ю.А. Кочнев¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6864-4473>

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

Аннотация. Выбор высоты борта грузового судна, как правило, выполняется на основе решения уравнения грузоместимости, при этом остальные требования к его величине выступают в качестве ограничений. Однако если соотношения главных размерений и требований к минимальной высоте надводного борта носят несколько условный характер, то обеспечение мореходных качеств, к которым при выборе высоты борта следует относить прежде всего непотопляемость, требует качественного учета. В статье приведена математическую модель и результаты численного эксперимента по назначению высоты надводного борта, учитывающей требования Правил Российского Классификационного Общества к проверке посадки и остойчивости при затоплении одного или нескольких смежных регламентируемых отсеков. Дается анализ влияния на высоту борта затопления различных отсеков нефтеналивного судна смешанного (река-море) плавания и предложена приближённая формула для её расчёта на начальных этапах проектирования.

Ключевые слова: надводный борт, высота борта, плавучесть, танкер, непотопляемость

Justification of a combined tanker (river-sea) side height at the initial stages of design

Evgeniy P. Ronnov¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3022-1926>

Yuri A. Kochnev¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6864-4473>

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

Abstract. The choice of the side height of a cargo vessel, as a rule, is carried out on the basis of solving the equation of cargo capacity, while the remaining requirements for its size act as restrictions. However, if the ratios of the main dimensions and the requirements for the minimum freeboard height are somewhat conditional, then ensuring seaworthiness, which, in addition to capacity, when choosing the side height, should include unsinkability, requires high-quality accounting. The article presents a mathematical model for assigning the freeboard height, taking into account the requirements of the Rules of the Russian Classification Society for checking the landing and stability during flooding of one or several adjacent regulated compartments. The analysis of the effect of flooding of various compartments of a combined oil tanker (river-sea) on the side height is carried out and an approximate formula for calculating it at the initial stages of design is proposed.

Keywords: freeboard, side height, buoyancy, tanker, unsinkability

Введение

Одной из основных задач начального этапа проектирования судна является определение и обоснование его главных размерений. Обоснование длины, ширины и осадки, если речь не идёт просто о максимально возможных размерах судна, ведётся на основе решения уравнения масс и плавучести с учетом обеспечения основных мореходных качеств и вместимости, варьированием безразмерных параметров, либо их обоснованием на основе статистических данных.

Высота борта определяется в виде наибольшего значения из условия грузовместимости, требований Правил [4] на соотношение главных размерений и к величине минимального надводного борта. В тоже время на последнее оказывает существенное влияние посадка судна в случае затопления регламентируемых отсеков корпуса [1,2], что не всегда учитывается при назначении минимальной высоты борта.

Результаты

Высота борта наливного судна должна соответствовать:

- условию обеспечения необходимой грузовместимости ($W_{zp}(LBH)$) [3]

$$H_1 \geq \frac{W_{zp}(LBH)}{LB},$$

где L, B, H – соответственно длина, ширина и высота борта судна;

- условию обеспечения соотношения главных размерений

$$H_2 = \frac{L}{(L/H)'},$$

$$H_3 = \frac{B}{(B/H)'},$$

где $(L/H)'$, $(B/H)'$ – максимально допустимые соотношение длины и ширины к высоте борта соответственно [4];

- условию обеспечения минимального надводного борта для выполнения требований к нему Правил РКО [4] H_3 ;
- условию обеспечения непотопляемости

$$H_4 = T_{КВЛ} + H_{НБ},$$

где $T_{КВЛ}$ – осадка судна по КВЛ;

$H_{НБ}$ – минимальная высота надводного борта, обеспечивающая запас плавучести, при условии удовлетворении требований к общей прочности и аварийной устойчивости, определяемая как требованиями Регистра к минимальному надводному борту, так и требованиям о безопасной посадке после затопления одного или нескольких отсеков.

Соответственно, окончательная высота борта судна будет определяться как максимальная из приведённых выше значений

$$H = \max \{H_1, H_2, H_3, H_4\}.$$

Особенности выбора величины H_2, H_3 приведены в действующих Правилах РКО или правилах иного классификационного общества, по которому ведётся проектирование. Вопросы выбора высоты борта из условия вместимости рассматривались, например, в работах [3, 6]. Требования [4] по непотопляемости танкера смешанного (река-море) плавания должны выполняться при затоплении одного любого отсека корпуса при следующих размерах повреждения борта и днища,

$$\text{длина повреждения борта } l_n^{\bar{o}} = L^{2/3}/3;$$

$$\text{длина повреждения днища } l_n^{\partial} = \begin{cases} L^{2/3}/3 & \text{при } 0,5L \geq x \geq 0,2L \\ 5 \text{ м} & \text{при } 0,2L \geq x \geq -0,5L \end{cases},$$

где x – абсцисса отсека;

$$\text{глубина повреждения борта } b_n^{\bar{o}} = B/5;$$

$$\text{ширина повреждения днища } b_n^{\partial} = \min \begin{cases} B/6 \\ 5 \text{ м} \end{cases}$$

$$\text{высота повреждения борта } h_n^{\bar{o}} = \infty;$$

$$\text{высота повреждения днища } h_n^{\partial} = B/15.$$

В целях математического моделирования процесса затопления судна в математической модели приняты следующие размеры возможных затапливаемых отсеков. Они для нефтеналивного судна класса «М-СП» приведённые в таблицах 1 - 2 для судна с диаметральной переборкой, вторыми бортами и вторым дном в районе грузовых танков, получены на основе анализа требований Правил РКО к различным типам отсеков в части конструкции корпус, охраны окружающей среды и особенностей перевозки опасных грузов, к которым, в целях настоящей работы, отнесены нефтепродукты.

Таблица 1

Длина затапливаемых отсеков танкера

Наименование отсека	Длина, l , м
Форпик	$l_1 = B / 2$
Ахтерпик	$l_2 = 0,02L$
Машинное отделение	Определяется конструктивно на каждом судне $l_3 = f(\Delta l_{\text{шп}}, L, B, H, P_{2p})$
Отсек вторых бортов и второго дна	$l_4 = n_{\text{шп}} \times D l_{\text{шп}}$ или $l_4 = 15 \times 0,55 = 8,25$
Отсек грузового танка	$l_5 = n_{\text{шп}} \times D l_{\text{шп}}$, при этом $l_5 \leq 0,2L$, при $b^{2\delta} / B \geq 0,2$ $l_5 \leq (0,25 \times b^{2\delta} / B + 0,15) \times L$, при $b^{2\delta} / B < 0,2$ или $l_5 = 24 \times 0,55 = 13,2$ при $H \leq 2,5$ м $l_5 = 36 \times 0,55 = 19,8$ при $H > 2,5$ м
Симметричный отсек	$l_6 = f(\Delta l_{\text{шп}}, L, B, H, P_{2p})$

Таблица 2

Ширина и высота затапливаемых отсеков танкера

Наименование отсека	Ширина, b , м	Высота, h , м
Форпик	$B(x)$	$h = H$
Ахтерпик	$B(x)$	$h = H$
Машинное отделение	$B(x)$	$h = H$
Отсек вторых бортов и второго дна по борту	$b^{2\delta} = 0,4 + 2,4 \times Dw / 20000 \geq 0,9$ м, если $Dw < 5000$ т $b^{2\delta} = 0,5 + Dw / 20000 \geq 1,0$ м, если $Dw \geq 5000$ т	$h' = H$
Отсек вторых бортов и второго дна по днищу	$0,5B(x)$	$h'' = B / 15$ $h'' \geq 0,8$ м, если $Dw < 5000$ т $h'' \geq 1,0$ м, если $Dw \geq 5000$ т
Отсек танка	$b^{mp} = B(x) / 2 - b^{2\delta}$	$h^{2m} = H - h''$
Симметричный отсек	$B(x)$	$h = H$

В таблицах приняты следующие обозначения: Δl_{unn} – практическая шпация судна; n_{unn} – количество шпангоутов в отсеке; $b^{2\sigma}$ – ширина вторых бортов; f – некоторая функция, устанавливающая взаимосвязь между главными элементами судна и размерами отсека; b^{mp} – ширина трюма; h'' – высота междудонного пространства; h^{em} – высота грузового трюма.

После затопления отсека осадка в произвольном сечении x будет определяться уравнением

$$T_x = T_M + x \times tg\psi + B_x(x) \times tg\theta,$$

где T_M – осадка судна на миделе;

x – абсцисса сечения, в которой определяется осадка;

$B_x(x)$ – полуширина судна в рассматриваемом сечении;

θ, ψ – углы крена и дифферента, вызванные затоплением отсека.

Таким образом, минимальный требуемый надводный борт судна из условия запаса плавучести определяется как разница между максимальной осадкой (T_{max}), при которой считаются выполненными требований к непотопляемости, и осадкой судна по КВЛ

$$H_{НБ} = T_{max} - T_{КВЛ}.$$

Требования [4] к непотопляемости можно считать выполненными, если

- предельная линия погружения не входит в воду;
- углы крена до спрямления не превышают 20°;
- малая метацентрическая высот более 0,05 м;
- значение максимального плеча диаграммы аварийной остойчивости не менее 0,1 м;
- протяженность положительной части диаграммы при симметричном затоплении не менее 30° и при не симметричном затоплении не менее 20°.

Учитывая, что корпус судна может иметь седловатость или бак и ют, то максимальная осадка, должна определяться в наиболее опасном сечении с точки зрения совместного действия крена, дифферента и с учетом геометрии корпуса

– при гладкой палубе

$$T_{max} = \max(T_x);$$

– при наличии седловатости или бака и юта

$$\text{если } |tg\psi| < \left| \frac{h'}{L'} \right| \quad T_{max} = \max \left\{ T_x \Big|_{x=L/2-L'}, T_x \Big|_{x=-L/2+L'} \right\},$$

$$\text{если } |tg\psi| \geq \left| \frac{h'}{L'} \right| \quad T_{max} = \max(T_x),$$

где h', L' – соответственно высота и длина бака, юта или седловатости, которые в задаче назначения высоты борта примем стандартными, в соответствии с Правилами [4].

Определение максимальной осадки можно рассматривать как оптимизационную задачу, в которой за критерий оптимальности будет выступать непосредственно осадка, а в качестве варьируемых параметров затопляемые отсеки, которые могут менять свое положение и размеры, т.е.

$$T_x(X_1, X_2) \rightarrow \max,$$

где X_1 – вектор исходных данных по корпусу, включающий данные по геометрии корпуса судна $y_k(x, z)$, координаты центра тяжести и т.д.;

X_2 – вектор изменяемых параметров, включающий границы затопляемых отсеков.

Ограничения, которые необходимо учитывать в рассматриваемой модели, включают учет длины повреждений, т.е.

$$l_i < \max(l_n^{\delta}, l_n^{\partial}),$$

где l_i – длина i -ого рассматриваемого отсека (см. таблица 1), а в случае невыполнения условия (1) необходим дополнительно учёт смежного отсека

$$l_i + l_{i+1} < \max(l_n^{\delta}, l_n^{\partial}).$$

Наиболее распространённая схема современного танкера смешанного (река-море) плавания приведена на рисунке 1. На них, как правило, выгрузка нефтепродуктов осуществляется погружными насосами, поэтому отсек насосного отделения отсутствует. Длины рассматриваемых отсеков для этапа исследовательского проектирования либо обоснования главных размерений находятся по формулам [5].

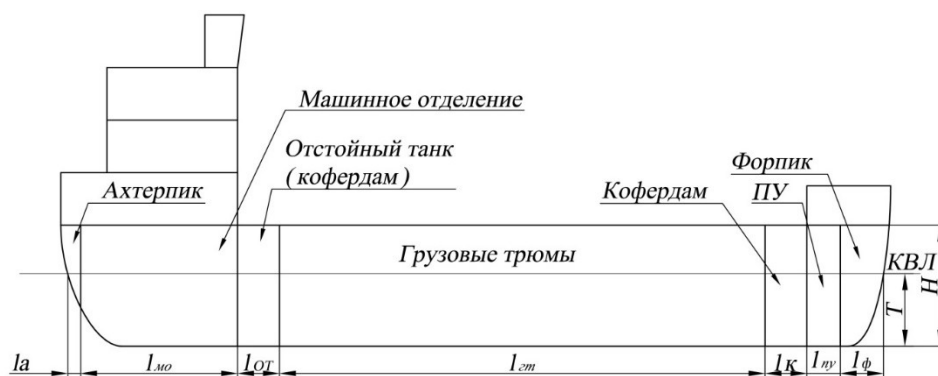


Рис. 1. Компоновка нефтеналивного судна смешанного (река-море) плавания

На этапе обоснования требуемого надводного борта будем считать, что весовое водоизмещение не зависит от окончательной высоты борта судна и принятой компоновочной схемы, а определяется только уравнением масс и плавучести

$$D = \rho \delta LBT$$

Аналогичное допущение сделаем и касательно аппликаты центра тяжести судна. В математических моделях она, как правило, зависит от высоты борта судна, однако, в решаемой задаче последняя величина не известна, что требует определяя центр тяжести через грузоподъёмность по статистической зависимости

$$z_g = 3,135 \times P \times 10^{-4} + 2,403.$$

где P – грузоподъёмность судна.

Для анализа наибольшего влияния затопляемых отсеков на надводный борт по разработанной математической модели рассмотрено затопление форпика, МО, ахтерпика и дополнительных отсеков, приведённых в таблице 3, в зависимости от варианта принятого компоновочного решения характерного для судов смешанного (река-море) плавания.

Таблица 2

Дополнительные отсеки в различных компоновочных решениях танкера (отсеки в корпусе)

№ компоновочного решения	Затопляемые отсеки
1	подруливающее устройство, балластный (сухой) отсек, отсек двойных бортов и двойного дна в районе отстойного танка, отсек двойных бортов и двойного дна в районе грузового танка
2	подруливающее устройство, балластный (сухой) отсек, отсек двойных бортов и двойного дна в районе грузового танка, отсек двойных бортов и двойного дна в районе отстойного танка (перед МО)
3	подруливающее устройство (балластный отсек), отсек двойных бортов и двойного дна в районе отстойного танка, отсек двойных бортов и двойного дна в районе грузового танка,
4	подруливающее устройство (балластный отсек), отсек двойных бортов и двойного дна в районе грузового танка, отсек двойных бортов и двойного дна в районе отстойного танка (перед МО)

Анализируя варианты компоновочных решений, учитывая данные по размерам отсеков, для начального этапа проектирования, и требования Правил РКО [4] можно сделать следующие выводы

- длина пробоины больше длины отсеков второго дна в районе отстойных танков, а глубина больше ширины межбортового пространства, соответственно необходимо рассматривать совместное затопление отсеков второго дна и борта в районе отстойного и грузового танков, а также замещение груза нефтепродукта в грузовом танке;
- аналогичная ситуация по длинам затопления при размещении отстойных танков как в носу, так и в корме. Однако, затопленный объем в кормовой части будет иметь меньшее плечо дифференцирующего момента, следовательно, компоновочные решения 2 и 4 менее опасны чем 1 и 3 соответственно;
- затопление балластного отсека (коффердама в носу) и отсека подруливающего устройства, исходя из условий размеров повреждения, определяемых Правилами РКО, по отдельности практически невозможно, следовательно, они должны затопляться совместно с соседними отсеками, в настоящей работе в качестве такого отсека примем форпик;
- совместное затопление трёх носовых отсеков наиболее опасно, поэтому далее будем рассматривать только компоновочное решение 1;

- влиянием на надводный борт ахтерпика (румпельного отделения) можно пренебречь, так как его размеры много меньше длины МО, а плечо дифференцирующего момента будет мало отличаться.

Определение максимально опасной осадки после затопления и минимально необходимого надводного борта выполнено методом постоянного водоизмещения с применением твердотельного моделирования в среде AutoCAD для диапазона длин, соответствующего длинам нефтеналивных судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания. Ширина и осадка судна принята по статистическим зависимостям [7]. Высота борта условно назначена много больше максимальной, чтобы исключить в численном эксперименте влияние заливания палубы и резкого изменения геометрии корпуса судна, то есть считалось, что масса корпуса, устройств и, в конечном счёте, водоизмещение порожнём не зависят от конечной высоты борта.

Результаты численного эксперимента по определению максимальной величины надводного борта приведены на рис. 2.

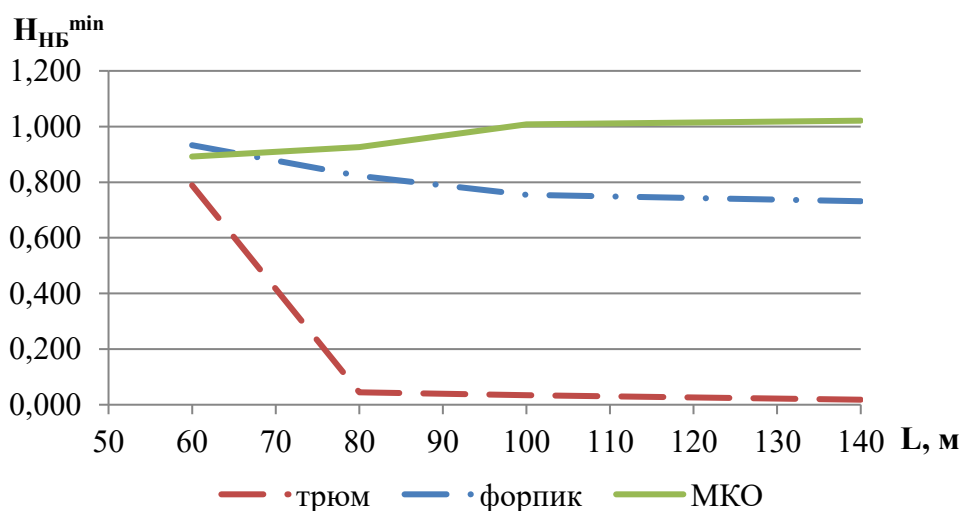


Рис. 2. Зависимость минимально необходимого надводного борта от длины судна при затоплении различных отсеков

Наибольший надводный борт при затоплении второго дна и замещении груза в трюме оказывает существенное влияние на наименьший надводный борт только для судов небольшой длины, которых среди танкеров смешанного (река-море) плавания крайне мало, в связи с их не конкурентоспособностью.

Для основного состава флота судов, которые могут использоваться на смешанных (река-море) перевозках характерно наибольшее влияние на надводный борт затопления МКО, расположенного в кормовой оконечности.

Предположим, что значение минимально необходимого надводного борта будет иметь нелинейную зависимость от главных проектных элементов судна, к которым на этапе исследовательского проектирования целесообразно отнести: длину, ширину, осадку и коэффициент общей полноты корпуса. Для уменьшения числа необходимых опытов составлена матрица дробного факторного эксперимента типа 3^k [8], которая позволила учесть нелинейность.

Таблица 5

Результаты математического эксперимента

№ опыта	L, м	B, м	T, м	δ	D, т	Z _г , м	L _{МО} , м	Ψ, град	T, м	H _{НБ} ^{min} , м
1	80,0	10,0	1,75	0,77	1105,0	2,639	11,58	-0,837	1,945	0,738
2	80,0	10,0	3,12	0,93	2379,3	2,923	11,45	-1,823	3,612	1,675
3	80,0	10,0	4,50	0,85	3136,5	3,099	11,11	-2,380	5,111	2,157
4	80,0	15,0	1,75	0,93	2001,8	2,838	11,54	-1,030	2,028	0,947
5	80,0	15,0	3,12	0,85	3262,0	3,128	11,08	-1,653	3,543	1,496
6	80,0	15,0	4,50	0,77	4262,0	3,369	10,65	-1,811	4,920	1,597
7	80,0	20,0	1,75	0,85	2439,5	2,937	11,29	-0,851	1,945	0,748
8	80,0	20,0	3,12	0,77	3939,9	3,290	10,72	-1,262	3,411	1,110
9	80,0	20,0	4,50	0,93	6863,4	4,039	10,62	-2,339	5,124	2,144
10	110,0	10,0	1,75	0,93	1835,0	2,800	15,94	-0,760	2,032	0,960
11	110,0	10,0	3,12	0,85	2990,1	3,064	15,33	-1,062	3,459	1,287
12	110,0	10,0	4,50	0,77	3906,8	3,282	14,75	-1,339	4,927	1,623
13	110,0	15,0	1,75	0,85	2515,7	2,955	15,49	-0,614	1,944	0,742
14	110,0	15,0	3,12	0,77	4063,1	3,320	14,70	-0,928	3,414	1,122
15	110,0	15,0	4,50	0,93	7077,9	4,098	14,56	-1,698	5,123	2,139
16	110,0	20,0	1,75	0,77	3038,6	3,076	15,05	-0,547	1,923	0,661
17	110,0	20,0	3,12	0,93	6543,1	3,953	14,67	-1,195	3,558	1,505
18	110,0	20,0	4,50	0,85	8625,4	4,535	13,90	-1,277	4,902	1,542
19	140,0	10,0	1,75	0,85	2134,6	2,868	19,90	-0,487	1,948	0,751
20	140,0	10,0	3,12	0,77	3447,4	3,172	18,97	-0,766	3,430	1,180
21	140,0	10,0	4,50	0,93	6005,5	3,811	18,82	-1,365	5,139	2,190
22	140,0	15,0	1,75	0,77	2900,5	3,044	19,21	-0,432	1,924	0,665
23	140,0	15,0	3,12	0,93	6245,7	3,874	18,75	-0,945	3,561	1,515
24	140,0	15,0	4,50	0,85	8233,3	4,421	17,80	-0,964	4,885	1,481
25	140,0	20,0	1,75	0,93	4670,9	3,470	19,21	-0,552	2,008	0,885
26	140,0	20,0	3,12	0,85	7611,2	4,245	17,98	-1,069	4,064	2,159
27	140,0	20,0	4,50	0,77	9944,6	4,930	16,78	-0,847	4,838	1,301

Выполняя регрессионный анализ результатов численного эксперимента можно предложить следующую зависимость для наименьшего надводного борта нефтеналивного судна смешанного (река-море) плавания

$$H_{НБ} = \left\{ 2,054 \times V^{0,182} \right\} T \delta \text{ при } \delta \leq 0,85,$$

$$H_{НБ} = \left\{ 1,295 \times V^{0,104} \right\} T \delta \text{ при } \delta > 0,85$$

Окончательно высота борта судна, которая будет удовлетворять требованиям к непотопляемости Правил Российского Речного Регистра, запишется в виде

$$H_4 = T_{КВЛ} + H_{НБ}$$

Выводы

Полученное уравнение может быть использованы на начальных этапах проектирования для обоснования высоты борта и других главных размерений и более точного прогнозирования водоизмещения порожнем, так как большая доля в его составе приходится на металлический корпус, а его масса, в свою очередь, во многом определяется необходимой высотой борта.

Список литературы

1. Данилин, Д. А. К вопросу о назначении минимальной высоты надводного борта судов внутреннего плавания / Д. А. Данилин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2004. – № 8. – С. 23-24.

2. Данилин, Д. А. Условия определения надбавок к минимальной высоте надводного борта / Д. А. Данилин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2004. – № 10. – С. 115-118.
3. Роннов Е.П. Вместимость сухогрузного судна внутреннего плавания // Вестник ВГАВТ, No 31 (2012) С. 86 – 92.
4. Российское Классификационное общество. Правила классификации и постройки судов. Москва, 2022. [Режим доступа]- <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PKPS.pdf?t=321>
5. Роннов Е.П. Методика расчёта массы металлического корпуса танкера смешанного (река-море) плавания / Е.П. Роннов, Ю.А. Кочнев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, Новосибирск. –2010. № 1.– с.114-118.
6. Грубов Д.А. Выбор главных размерений траулера на начальных этапах проектирования / Грубов Д.А., Комаров Н.Н. // Судостроение №6, 2002 – с. 10-12
7. Кочнев Ю.А. Анализ элементов и характеристик «малых» танкеров // 11-й международный научно-промышленный форум «Великие реки '2009». Труды конференции. Том 2. – Н.Новгород: ННГАСУ 2010. – с.300–302.
8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. - 280 с.

References

1. Danilin, D. A. K voprosu o naznachenii minimal'noi vysoty nadvodnogo borta sudov vnutrennego plavaniya. Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta, 2004, № 8, S. 23-24.
2. Danilin, D. A. Usloviya opredeleniya nadbavok k minimal'noi vysote nadvodnogo borta. Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta, 2004, № 10, S. 115-118.
3. Ronnov E.P. Vmestimost' sukhogruzного судна vnutrennego plavaniya. Vestnik VGAVT, No 31 (2012) S. 86 – 92.
4. Rossiiskoe Klassifikatsionnoe obshchestvo. Pravila klassifikatsii i postroiki sudov. Moskva, 2022. [Rezhim dostupa]- <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PKPS.pdf?t=321>
5. Ronnov E.P., Kochnev YU.A. Metodika rascheta massy metallichesкого корпуса tankera smeshannogo (reka-more) plavaniya. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka, Novosibirsk, 2010, № 1, s.114-118.
6. Grubov D.A., Komarov N.N. Vybor glavnykh razmerenii traulera na nachal'nykh etapakh proektirovaniya, Sudostroenie, №6, 2002, s. 10-12
7. Kochnev YU.A. Analiz ehlementov i kharakteristik «malykh» tankerov, 11-i mezhdunarodnyi nauchno-promyshlennyi forum «Velikie reki '2009». Trudy konferentsii. Tom 2., N.Novgorod: NNGASU 2010, s.300–302.
8. Adler YU.P., Markova E.V., Granovskii YU.V. Planirovanie ehksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovii., M.: Nauka, 1976. - 280 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Юрий Александрович Кочнев, к.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта», 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: tmnkochev@mail.ru

Yuri A. Kochnev, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Евгений Павлович Роннов, д.т.н., профессор, зав. кафедрой Волжский государственный университет водного транспорта», 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru,

Evgeniy P. Ronnov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Статья поступила в редакцию 10.11.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 10.11.2022; published online 20.12.2022.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

OPERATION OF SHIP POWER EQUIPMENT

УДК 621.314

DOI: 10.37890/jwt.vi73.313

Особенности параллельной работы дизель-генераторных агрегатов судовой электростанции

С.В. Попов¹

О.А. Бурмакин¹

Ю.С. Малышев¹

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

Аннотация. Изучение работы существующих на судах электростанций показывает необходимость обеспечения надежной параллельной работы дизель-генераторов (ДГ). Известно что, основной причиной неустойчивой параллельной работы ДГ является малый или различный статизм механических характеристик приводных двигателей. Исследование параллельной работы дизель-генераторных установок на судовой электростанции, состоящей из четырех генераторов с электронными регуляторами частоты вращения, обеспечивающими необходимый статизм, показало её неустойчивость. Проведенные измерения и рассмотрение физических процессов выявили неравномерное распределение реактивной мощности вследствие различия внешних характеристик генераторов. Устранение неустойчивости возможно только путем внедрения дополнительных устройств и выполнения точных настроек регуляторов для получения внешних характеристик генераторов с одинаковым статизмом. Безотказное функционирование предложенной системы подтверждено длительными испытаниями при работе судна в штатном режиме в течение навигации.

Ключевые слова: судовая электростанция, дизель-генераторные установки, параллельная работа генераторов, судовые потребители, механические характеристики двигателей, статизм характеристик, механический регулятор оборотов дизеля, электронный регулятор скорости вращения, корректор напряжения, распределение активной и реактивной мощности.

Peculiarities of parallel operation of diesel-generator units of a ship power plant

Sergey V. Popov¹

Oleg A. Burmakin¹

Yuriy S. Malyshev¹

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

Abstract. The study of the operation of power stations existing on ships shows the need to ensure reliable parallel operation of diesel generators (DGs). It is known that the main reason for the unstable parallel operation of the DG is a small or different droop of the mechanical characteristics of the drive motors. A study of the parallel operation of diesel generator sets at a ship power plant, consisting of four generators with electronic speed controllers that provide the necessary droop, also showed its instability. The measurements and consideration of physical processes revealed an uneven distribution of reactive power due to differences in the external characteristics of the generators. The elimination of instability is possible only by introducing additional devices and fine-tuning the regulators to obtain the external characteristics of generators with the similar droop. The trouble-free operation of the proposed system was confirmed by long-term tests during the operation of the ship in normal mode during navigation.

Keywords: ship power plant, diesel generator sets, parallel operation of generators, ship consumers, mechanical characteristics of engines, droop characteristics, mechanical diesel speed controller, electronic speed controller, voltage corrector, distribution of active and reactive power.

Введение

Для повышения мощности электростанции и обеспечения надежности электроснабжения судовых потребителей, а также, в некоторых случаях, для экономии топлива, необходима параллельная работа дизель-генераторных агрегатов [1-4].

Для введения на параллельную работу генераторов на переменном токе необходимо выполнить алгоритм их синхронизации. Преимущественно используется точная синхронизация, которая может быть как ручной, так и автоматической. При ручной синхронизации все действия по выравниванию значений напряжения и частоты выполняет электромеханик по измерительным приборам, а в автоматическом – электронный блок – синхронизатор.

После выполнения процесса синхронизации, когда главный генераторный автомат подключаемого генератора замкнут, необходимо загрузить генератор, включенный на параллельную работу, до определенного значения мощности. Соответственно, в ручном режиме это выполняется за счет воздействия на органы управления системами дизель-генератора (ДГ), а в автоматическом это выполняет электронный блок распределения нагрузок.

Электронный блок распределения нагрузок выполняет регулирование подачи топлива дизеля посредством серводвигателя и топливной рейки, а также величины напряжения генератора, воздействуя на систему возбуждения. Автоматическое регулирование, указанных параметров параллельно работающих ДГ, позволяет распределить активную и реактивную мощности с достаточной точностью. При ручном распределении мощности на процесс равномерности влияет вид характеристик двигателя и генератора.

Дизельный двигатель имеет механическую характеристику, которая показывает изменение скорости вращения от нагрузки. Для устойчивой параллельной работы необходимо иметь механические характеристики с одинаковым наклоном (статизмом). Следует отметить, что работа двигателей в параллельном режиме с характеристиками, имеющими малый статизм, является неустойчивой. При этом, может наблюдаться периодическое перераспределение мощности от одного ДГ к другому, что сопровождается бросками тока. В результате, может сработать один из генераторных автоматов, либо произойти одновременное отключение двух генераторов, работающих в параллель, что приведет к обесточиванию судна [5].

Методы

Для проведения исследований параллельной работы дизель-генераторных установок была использованная судовая электростанция, состоящей из четырех

генераторов мощностью 100 кВт каждый. На дизельных двигателях были установлены электронные регуляторы частоты вращения взамен механических. Для настройки механических характеристик двигателей были поочередно подключены одинаковые активные номинальные нагрузки и, воздействуя на регулятор оборотов двигателя, настроены характеристики со статизмом 3-4% [5-7].

Эксперимент показал, что при одиночной работе ДГ машины ведут себя практически одинаково. При введении двух любых генераторных агрегатов на параллельную работу наблюдается повышение тока как одного, так и другого генератора при неизменной нагрузке. При этом, стрелки амперметров показали их раскачивание с одновременным повышением токов генераторов, вплоть до максимального значения. Работа двигателей при эксперименте не была нормальной и по внешним признакам наблюдалась их перегрузка.

Для исследования физических процессов, происходящих между параллельно работающими генераторами, в силовые цепи генераторов были включены дополнительные измерительные приборы реактивной мощности – киловарметры. Эксперимент показал, что реактивная мощность, измеряемая прибором одного генератора, является положительной, а другого - со значительным заходом в область отрицательной мощности. В результате было установлено, что устойчивая параллельная работа генераторов невозможна по причине отсутствия корректного распределения реактивной мощности между генераторами.

На рис. 1 показана векторная диаграмма синхронного генератора СГ при работе на активную нагрузку различной мощности. Следует отметить, что диаграмма построена без учета потерь на активном сопротивлении обмотки якоря и ЭДС, индуцированной потоком рассеяния. Поэтому вектор напряжения генератора \dot{U}_r будет определяться из:

$$\dot{U}_r = \dot{E}_0 + \dot{E}_a,$$

где \dot{E}_0 – ЭДС холостого хода, \dot{E}_a – ЭДС, индуцируемая потоками якоря.

ЭДС самоиндукции можно представить в виде:

$$\dot{E}_a = -j\dot{I}_a x_{сн},$$

где \dot{I}_a – ток якоря, $x_{сн}$ – полное индуктивное сопротивление генератора с неявнополюсным ротором.

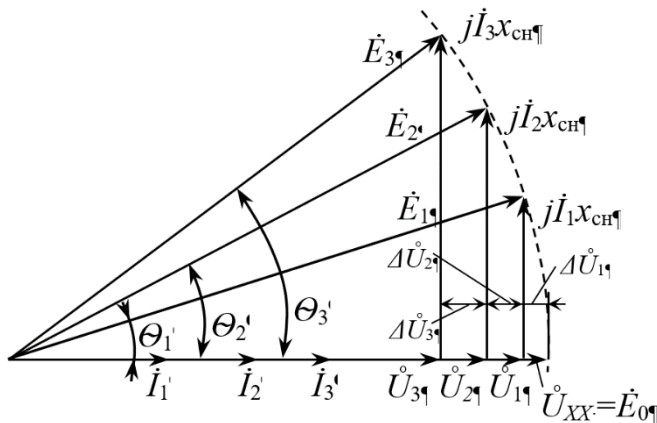


Рис. 1. Векторная диаграмма генератора без регулирования возбуждения с различной активной нагрузкой

На диаграмме показано, что при постоянстве напряжения на обмотке возбуждения ЭДС генератора \dot{E}_0 , работающего на холостом ходу, как и при изменении нагрузки, сохраняет свою величину. При увеличении нагрузки ($\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$) вектор ЭДС ($\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$) поворачивается на угол θ ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$), а повышающее значение реакции якоря приводит к падению напряжения ΔU ($\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$) генератора.

В реальных условиях каждый генератор оснащен системой возбуждения, которая обеспечивает регулирование напряжения генератора за счет изменения напряжения на обмотке возбуждения. Поэтому векторная диаграмма генератора при регулировании напряжения показана на рис. 2.

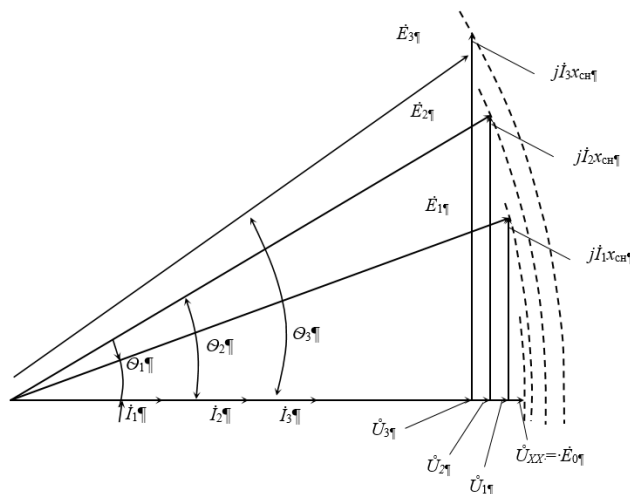


Рис. 2. Векторная диаграмма генератора при регулировании возбуждения с различной активной нагрузкой

На диаграмме показано, что регулирование напряжения на обмотке возбуждения приводит к изменению значения ЭДС ($\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$) генератора, что в свою очередь приводит к регулированию напряжения ($\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$) генератора.

В случае изменения и величины, и характера нагрузки ток генератора будет иметь две составляющие – активную и реактивную. Векторная диаграмма в таком случае будет иметь вид, представленный на рис. 3.

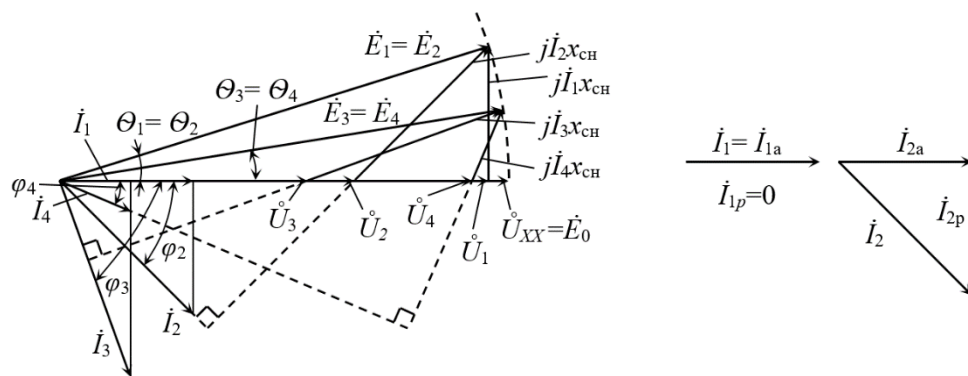


Рис. 3. Векторная диаграмма генератора без регулирования возбуждения с различной величиной и характером нагрузки

В случае с активно-индуктивной нагрузкой ток генератора ($\dot{I}_2, \dot{I}_3, \dot{I}_4$) будет иметь активную и реактивную составляющие. Реактивная составляющая тока генератора в значительной мере влияет на значение напряжения (\dot{U}_2, \dot{U}_3) генератора и на величину угла φ (φ_2, φ_3). Однако, при равенстве активных составляющих тока генератора угол нагрузки ($\theta_1=\theta_2, \theta_3=\theta_4$) остается неизменным.

Значение угла θ зависит от величины активного тока генератора, а значит от развиваемой дизелем мощности P , которая определяется количеством сгораемого топлива.

Векторная диаграмма генератора при регулировании ЭДС с различной величиной и характером нагрузки показана на рис. 4.

Исследования генераторов проводилось при подключении нагрузки на каждый генератор. По полученным данным были построены внешние характеристики генераторов, из которых следует, что у одного из четырех генераторов внешняя характеристика астатическая. Еще у одного генератора – с положительным статизмом. Оставшиеся два генератора имеют отрицательный статизм с различным наклоном.

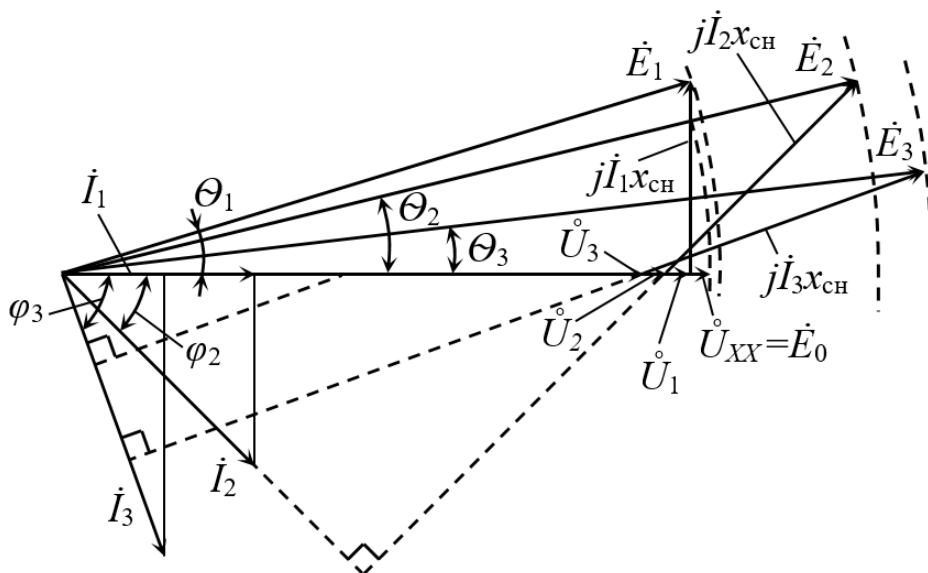


Рис. 4. Векторная диаграмма генератора с регулированием возбуждения с различной величиной и характером нагрузки

Из теории электрических машин известно, что для обеспечения требуемого режима работы генераторов необходимо одновременно регулировать вращающий момент M двигателя и ток возбуждения I_v генератора. При абсолютно жестких характеристиках (астатических), как и при малых значениях статизма (рис. 5, а), генератор устойчиво работать не может, поскольку генератор, обладающий характеристикой 3, будет набирать реактивную мощность нагрузки, а генератор с характеристикой 2 сам являться нагрузкой по реактивной мощности. В результате генератор с характеристикой 3 будет перегружен полным током [8-11]. Векторная диаграмма для такого случая приведена на рис. 6.

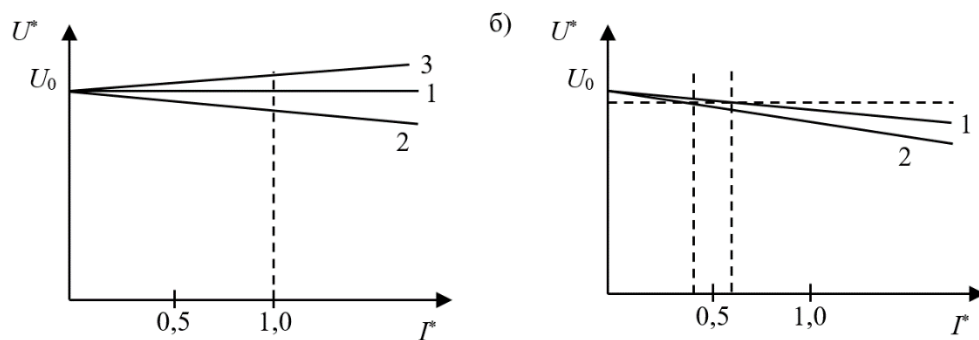


Рис. 5. Внешние характеристики генераторов: а) астатическая - 1, статическая - 2, с положительным статизмом - 3; б) 1 и 2 - статические.

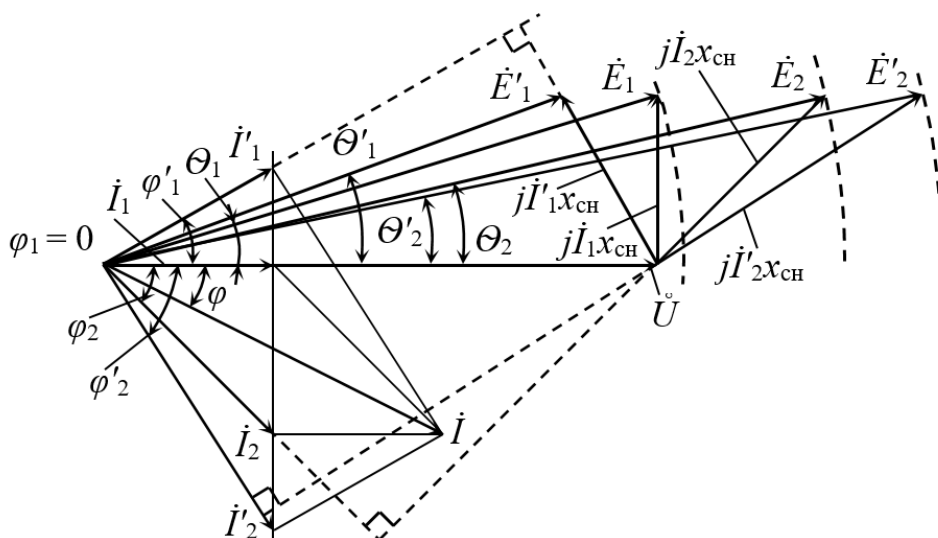


Рис. 6. Векторная диаграмма параллельно работающих генераторов с регулированием возбуждения при различной нагрузке и неравномерном ее распределении

Если E_r подключаемого генератора и U_c сети не равны - возникает ток, протекающий по обмоткам генераторов, который определяется из:

$$\dot{I}_a = (\dot{E}_r + \dot{U}_c) / jx_{сн}$$

Если $E_r > U_c$, то возникает размагничивающая реакция якоря, соответственно, у генератора, работающего на сеть - подмагничивающая [1-4]. Возникновение такого тока может привести к обмену реактивной мощностью между генераторами. Исходя из того, что активная мощность генератора равна:

$$P_r = mE_r I_a \cos\psi = mU_r I_a \cos\varphi$$

и связана с количеством топлива приводного двигателя генератора [11-15], поворот вектора \dot{E}_r зависит от поворота вектора тока \dot{I}_a , а значит изменение активной мощности генератора P_r всегда связано с изменением реактивной мощности Q_r . Отсюда следует, что для обеспечения устойчивой работы необходимо иметь значение тока \dot{I}_a стремящееся к нулю, а значит, генераторы должны иметь схожие внешние

характеристики со статизмом 3-4 % (см. рис. 5,6) и параметры регуляторов напряжения (коэффициенты усиления, быстродействия и др.).

Векторная диаграмма параллельно работающих ДГ с идентичными регуляторами напряжения и частоты вращения дизелей приведена на рис. 7. В случае равномерной загрузки генераторов активной нагрузкой $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$ ($I_1 = I_2$) ЭДС и угол нагрузки θ генераторов будут равны ($\theta_1 = \theta_2, E_1 = E_2$) [1-4]. При изменении характера нагрузки на активно-индуктивный появляется угол φ ($\varphi_1 = \varphi_2$), а регуляторы напряжения обоих генераторов повысят напряжения на обмотках возбуждения для компенсации размагничивающего действия с учетом ΔU и формирования заданного статизма внешних характеристик [16,17].

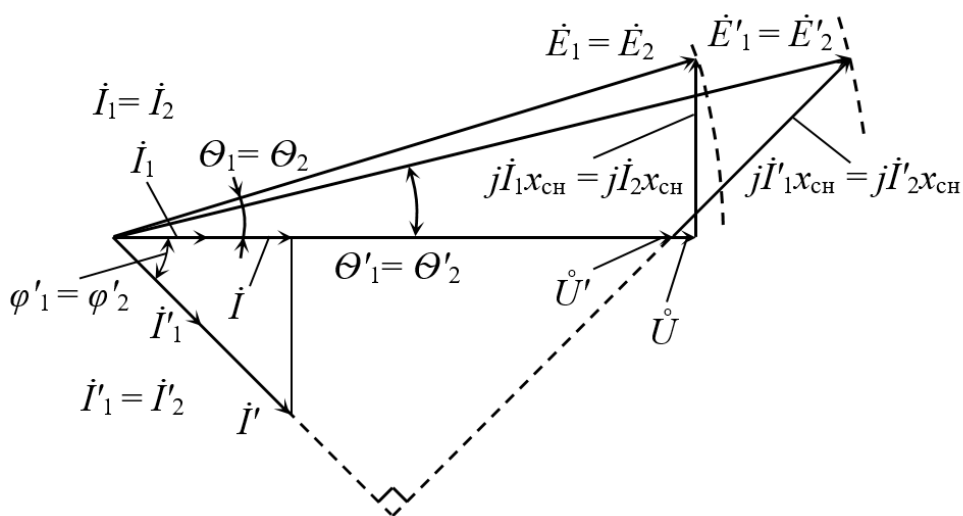


Рис. 7. Векторная диаграмма параллельно работающих генераторов с регулированием возбуждения при различной нагрузке и равномерно ее распределении

Система возбуждения (см. рис. 8) существующего бесщеточного синхронного генератора оснащена электронным корректором напряжения AVR. Трехфазные обмотки генератора собраны по схеме двойная звезда для получения линейного напряжения 220 В. Для питания корректора напряжения AVR используется дополнительная обмотка с выводами X-Y. Корректор напряжения обеспечивает регулирование напряжения (клеммы F+ и F-) на обмотке возбуждения возбудителя WVV в зависимости от значения линейного напряжения генератора (клеммы U2 и 220). Дистанционное регулирование напряжения генератора возможно за счет потенциометра, установленного на передней панели ГРЩ и подключенного к клеммам VR1 и VR2. Главным недостатком корректора является косвенное регулирование напряжения, не учитывающее характер нагрузки, поскольку отсутствует обратная связь по току нагрузки. Кроме того, такой регулятор не может сформировать характеристику генератора, имеющую заданный статизм.

Включение на параллельную работу двух генераторов с новой схемой регулирования напряжения позволило обеспечить распределение нагрузок между ними. Однако при набросах значительных нагрузок на параллельно работающие генераторы наблюдается резкое перераспределение мощности, сопровождающееся увеличением ток генераторов. Такая система является не устойчивой и может быть использована только для кратковременной параллельной работы для перехода с одного генератора на другой.

Для создания устойчивой параллельной работы генераторов необходимо более точное регулирование напряжения генераторов для формирования схожих внешних характеристик с одинаковым статизмом. Для этого было создано устройство коррекции напряжения РМ, которое было внедрено в систему возбуждения генератора. Устройство может работать в двух режимах: формирования статической характеристики генератора с регулируемым статизмом, выравнивания потенциалов на входах корректоров AVR. Схема подключения устройств компенсации в системы возбуждения генераторов показана на рис. 10.

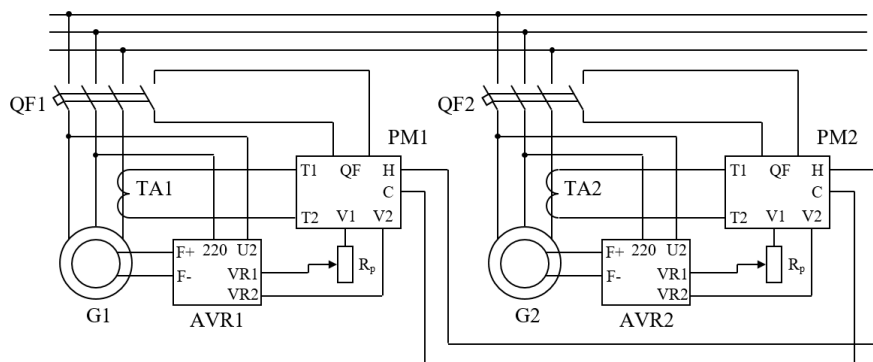


Рис. 10. Схема включения устройства компенсации в системы возбуждения генераторов

Настройка внешних характеристик генераторов выполнялась с настройки напряжения холостого хода генератора, значение которых должно быть одинаково у всех генераторов. Динамические процессы при набросах и сбросах нагрузки были настроены за счет штатных потенциометров, установленных на регуляторах напряжения AVR. Настройка статизма выполнялась за счет регулирования значения сопротивления R_p по схожей методике при настройке характеристик двигателя, за исключением того, что нагрузка (по возможности) должна иметь значительную составляющую реактивной мощности.

Система была опробована в судовых условиях в двух режимах и показала свою работоспособность. Сравнительные испытания режимов работы блоков РМ показали, что:

- в первом режиме возможна параллельная работа любых двух генераторов;
- для первого режима существует предельная минимальная мощность нагрузки, при которой параллельная работа является устойчивой;
- в первом режиме устойчивая параллельная работа трех генераторов практически не возможна (только кратковременная);
- второй режим не требует точного регулирования параметров корректоров напряжения;

- во втором режиме возможна устойчивая параллельная работа четырех дизель-генераторных установок.

Следует отметить, что в случае использования одинаковых блоков корректоров напряжения генераторов и точной настройке их параметров, система позволяет работать всем четырем генераторам в параллельном режиме при минимальном значении мощности (порядка 10 кВт на каждом). Испытания динамических процессов при набросе и сбросе нагрузки (22 кВт) на параллельно работающие дизель-генераторные агрегаты подтвердили устойчивость работы системы.

Список литературы

1. Судовые электрические машины и их эксплуатация : учеб. пособие /А. М. Олейников, В. Н. Мартынов; под ред. проф. А. М. Олейникова. – Севастополь: Изд – во СевНТУ, 2013. – 376 с.
2. Мезин Е.К. Судовые электрические машины: Учебник. - Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.
3. Яковлев Г.С. Судовые электрические машины: Учебное пособие / Яковлев Г.С., Маникин А.И. - Л.: Судостроение, 1980. – 225 с.
4. Дворак Н. М. Электрические машины : конспект лекций для студентов направления 6.050702 "Электромеханика" специальности "Электрические системы и комплексы транспортных средств" дневной и заочной форм обучения / Н. М. Дворак. – Керчь : КГМТУ, 2011. – 146 с.
5. Попов С. В. Исследование параллельной работы дизель-генераторов судовой электростанции / С.В. Попов, О.А. Бурмакин, Ю.С. Малышев // Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 66. С. 108-122. DOI:10.37890/jwt.vi66.148.
6. Попов С.В., Малышев Ю.С., Бурмакин О.А. Вариант модернизации системы автоматического регулирования дизель-генераторов для обеспечения их параллельной работы. Международный научно-промышленный форум Н.Новгород-Новосибирск. Транспорт. Горизонты развития. 2021. Секция 2 Энергоэффективность на транспорте.
7. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В., Шилов М.П. Сравнительный анализ результатов исследований реальной судовой электростанции и ее модели в переходных режимах работы. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 60.- Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2019. – С. 229-231.
8. Алексеев Н. А. Особенности выбора способа управления резервными агрегатами судовой электростанции в зависимости от нагрузки на шинах главного распределительного щита / Н. А. Алексеев, А. А. Виноградов // Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2016. — С. 7–13.
9. Алексеев Н. А. Особенности синхронизации судовых генераторов в микропроцессорной системе DELOMATIC / Н. А. Алексеев, А. Н. Дуксин // Тезисы докладов научно-технической конференции ППС, научных сотрудников и курсантов. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2008. — С. 193–196.
10. Виноградов А. А. Исследование распределения нагрузки судовых дизель-генераторных агрегатов при их параллельной работе / Андрей Александрович Виноградов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2017. - №2(42). - С. 373-379. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-373-379
11. Григорьев А. В. Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций / А. В. Григорьев, В. Ю. Колесниченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2014. – №6(28). – С. 39-43. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-6-39-43.
12. Sorfon, I. Power Management Control of Electrical Propulsion Systems. In Proceedings of the Dynamic Positioning Conference, Houston, TX, USA, 9–10 October 2012.
13. Radan, D. Integrated Control of Marine Electrical Power Systems. Ph.D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2008.

14. J M Prousalidis, E Xanthopoulos & K Voutzoulidis (2009) Reactive power sharing in ship energy systems with shaft generators, *Journal of Marine Engineering & Technology*, 8:1, 21-38, DOI: 10.1080/20464177.2009.11020216
15. Fuchs E. *Power Quality in Power Systems and Electrical Machines* / E. Fuchs, M. A. S. Masoum. — Second edition. — Academic Press, 2015. — 1140 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-800782-2.09989-9.
16. IEEE Power Engineering Society. *IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies*; IEEE Power Engineering Society: Piscataway, NJ, USA, 2005.
17. Radan, D.; Johansen, T.A.; Sorensen, A.J.; Adnanes, A.K. Optimization of load dependent start tables in marine power management systems with blackout prevention. *Trans. Circuits Syst.* 2005, 4, 1861–1866.

References

1. *Sudovye ehlektricheskie mashiny i ikh ehkspluatatsiya : ucheb. posobie* / A. M. Oleinikov, V. N. Martynov; pod red. prof. A. M. Oleinikova. — Sevastopol': Izd – vo SeVNTU, 2013. — 376 s.
2. Mezin E.K. *Sudovye ehlektricheskie mashiny: Uchebnik*. - L.: Sudostroenie, 1985. — 320 s.
3. Yakovlev G.S. *Sudovye ehlektricheskie mashiny: Uchebnoe posobie* / Yakovlev G.S., Manikin A.I. - L.: Sudostroenie, 1980. — 225 s.
4. Dvorak N. M. *Ehlekticheskie mashiny : konspekt lektsii dlya studentov napravleniya 6.050702 "Ehlektromekhanika" spetsial'nosti "Ehlekticheskie sistemy i kompleksy transportnykh sredstv" dnevnoi i zaochnoi form obucheniya* / N. M. Dvorak. — Kerch' : KGMTU, 2011. — 146 s.
5. Popov S. V. *Issledovanie parallel'noi raboty dizel'-generatorov sudovoi ehlektrostantsii* / S.V. Popov, O.A. Burmakin, YU.S. Malyshev // *Nauchnye problemy vodnogo transporta*. 2021. № 66. S. 108-122. DOI:10.37890/jwt.vi66.148.
6. Popov S.V., Malyshev YU.S., Burmakin O.A. *Variant modernizatsii sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya dizel'-generatorov dlya obespecheniya ikh parallel'noi raboty. Mezhdunarodnyi nauchno-promyshlennyi forum N.Novgorod-Novosibirsk. Transport. Gorizonty razvitiya*. 2021. Sektsiya 2 Ehnergoehffektivnost' na transporte.
7. Burmakin O.A., Malyshev YU.S., Popov S.V., Shilov M.P. *Sravnitel'nyi analiz rezul'tatov issledovaniy real'noi sudovoi ehlektrostantsii i ee modeli v perekhodnykh rezhimakh raboty. Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. Vypusk 60.- N.Novgorod: izd. FGBOU VO «VGUVT», 2019. — S. 229-231.*
8. Alekseev N. A. *Osobennosti vybora sposoba upravleniya rezervnymi agregatami sudovoi ehlektrostantsii v zavisimosti ot nagruzki na shinakh glavnogo raspredelitel'nogo shchita* / N. A. Alekseev, A. A. Vinogradov // *Sbornik nauchnykh trudov professorsko-prepodavatel'skogo sostava Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. — SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2016. — S. 7–13.
9. Alekseev N. A. *Osobennosti sinkhronizatsii sudovykh generatorov v mikroprotsektoroi sisteme DELOMATIC* / N. A. Alekseev, A. N. Duksin // *Tezisy dokladov nauchno-tekhnicheskoi konferentsii PPS, nauchnykh sotrudnikov i kursantov*. — SPb.: GMA im. adm. S. O. Makarova, 2008. — S. 193–196.
10. Vinogradov A. A. *Issledovanie raspredeleniya nagruzki sudovykh dizel'-generatornykh agregatov pri ikh parallel'noi rabote* / Andrei Aleksandrovich Vinogradov // *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. - 2017. - №2(42). - C. 373-379. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-373-379
11. Grigor'ev A. V. *Povyshenie ehffektivnosti ehkspluatatsii sudovykh dizel'nykh ehlektrostantsii* / A. V. Grigor'ev, V. YU. Kolesnichenko // *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. - 2014. — №6(28). — C. 39-43. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-6-39-43.

12. Sørfon, I. Power Management Control of Electrical Propulsion Systems. In Proceedings of the Dynamic Positioning Conference, Houston, TX, USA, 9–10 October 2012.
13. Radan, D. Integrated Control of Marine Electrical Power Systems. Ph.D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2008.
14. J M Prousalidis, E Xanthopoulos & K Voutzoulidis (2009) Reactive power sharing in ship energy systems with shaft generators, Journal of Marine Engineering & Technology, 8:1, 21-38, DOI: 10.1080/20464177.2009.11020216
15. Fuchs E. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines / E. Fuchs, M. A. S. Masoum. — Second edition. — Academic Press, 2015. — 1140 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-800782-2.09989-9.
16. IEEE Power Engineering Society. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies; IEEE Power Engineering Society: Piscataway, NJ, USA, 2005.
17. Radan, D.; Johansen, T.A.; Sorensen, A.J.; Adnanes, A.K. Optimization of load dependent start tables in marine power management systems with blackout prevention. Trans. Circuits Syst. 2005, 4, 1861–1866.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Мальшев 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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 12.09.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 12.09.2022; published online 20.12.2022.

УДК 621.6.03

DOI: 10.37890/jwt.vi73.314

Стенд для исследования термического обезвреживания нефтесодержащих вод

В.А. Чернов¹

О.П. Шураев¹

А.Г. Чичурин¹

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Разработан стенд для исследования процесса термического обезвреживания нефтесодержащих вод. Описаны конструктивные особенности стенда, позволяющего имитировать условия в газоходе дизеля. Сформулированы задачи эксперимента и приведены характеристики измерительных средств стенда. Представлены первые результаты экспериментального исследования термического обезвреживания нефтесодержащих вод. Главными результатами первой серии исследований на стенде являются полученные данные по составу выпускных газов и температурах в газоходе. Выполнено их сравнение с аналогичными параметрами, измеренными в газоходах судовых дизелей типа Г70-5, и газового двигателя 8ГЧН22/28, при их работе на номинальном (или близком к нему) режиме.

Ключевые слова: Лабораторный стенд, нефтесодержащие воды, термическое обезвреживание, анализ вредных выбросов в отработавших газах, эффективность очистки.

Stand for the study of thermal neutralization of oily waters

Vladimir A. Chernov¹

Oleg P. Shurayev¹

Alexander G. Chichurin¹

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

Abstract. A stand has been developed for the study of thermal neutralization process of oily waters. The design features of the stand, which allows simulating conditions in the diesel flue, are described. The tasks of the experiment are formulated and the characteristics of the measuring instruments of the stand are given. The first results of an experimental study of thermal neutralization of oily waters are presented. The main results of the first series of experiments at the stand are the data obtained on the composition of exhaust gases and temperatures in the flue. These parameters are compared with similar parameters measured in the flues of ship diesel engines of the G70-5 type and the 8GCHN22/28 gas engine, when they operate in nominal mode (or close to it).

Keywords: Laboratory stand, oily waters, thermal neutralization, analysis of harmful emissions in exhaust gases, cleaning efficiency.

Введение

Многообразие способов утилизации нефтесодержащих вод (НСВ) не гарантирует полную очистку воды от нефтепродуктов. Современные установки очистки НСВ обеспечивают остаточное нефтесодержание 1...10 ppm [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Хотя большинство из них соответствуют действующим национальным и международным

нормам, некоторое количество нефтепродукта, тем не менее, попадает в водную среду.

Полное разделение компонентов возможно только в ходе фазовых переходов одного из них [7]. Например, полную утилизацию нефтепродуктов обеспечивает способ термического (огневого) обезвреживания. Он реализован в установке по сжиганию жидких отходов «Вихрь» [8], где температура сжигания составляет 800...1100 °С. Недостатком данной установки, является большой расход топлива для обеспечения полного окисления токсичных веществ и высокая себестоимость процесса в целом.

В связи с этим поиск эффективных способов обезвреживания НСВ является актуальным. Одним из перспективных является способ, заключающийся в термическом (огневом) обезвреживании НСВ путем распыления на специальном участке в газовойпускной системе судового дизеля. Там происходит нагревание НСВ теплотой отработавших газов, испарение воды и последующее разложение и дожигание нефтеостатка [9, 10].

Данное направление малоизучено, в особенности с позиций его применимости в условиях судовой энергетической установки, что предопределило цель исследования как экспериментальное подтверждение возможности огневого (термического) обезвреживания НСВ на базе судового энергетического оборудования.

Детально исследовать данный способ непосредственно на двигателе в настоящее время весьма проблематично из-за высоких рисков нарушения работоспособности двигателя вследствие недостаточности информации по режимам совместной работы двигателя и утилизационного устройства, что предопределило проведение исследований на данном этапе на специализированном стенде.

Задачами исследования являются:

- получение данных по составу выпускных газов в случае использования данного варианта термического (огневого) обезвреживания и определение пределов работоспособности установки;
- оценка затрат энергии на реализацию данного способа;
- определение факторов, влияющих на критерии эффективности.

Испытательный лабораторный стенд

Для проведения исследований термического (огневого) обезвреживания НСВ спроектирован (рис. 1) и изготовлен (рис. 2) лабораторный стенд. Он позволяет создавать газовую среду, близкую по параметрам к отработавшим газам судового двигателя и имитировать процессы, происходящие в его газовойпускной системе.

Лабораторный стенд позволяет решить следующие задачи: устанавливать и регулировать температуру выпускных газов, устанавливать и регулировать массовый расход образцов НСВ для обезвреживания, обеспечивать безопасность при проведении испытаний, исключить влияние возможной разрегулированности дизеля, обеспечивая тем самым воспроизводимость экспериментов, и использовать необходимый комплект измерительной аппаратуры.

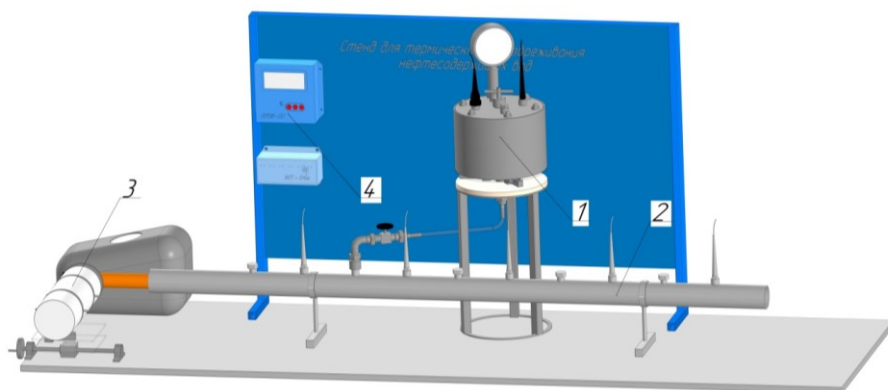


Рис. 1. Модель стенда для проведения экспериментального исследования:
1 - напорный бак, 2 - газоход, 3 - источник горячих газов и 4 - блок регистрации измерений

Стенд состоит из напорного бака, газохода, источника горячих газов и блока регистрации измерений.

Верхняя часть напорного бака покрыта крышкой, в которую установлены термопара, датчик давления и дублирующий местный манометр МТ5. Сигнал с термопары и датчика давления передается на блок регистрации измерений. Для возможности перекрытия потока НСВ и быстрой смены образцов НСВ установлены запорный клапан и горловина. В боковой части напорной камеры установлен ниппель для соединения с компрессором, что позволяет создавать и регулировать давление в системе подачи НСВ. В нижней части напорной камеры расположен напорный трубопровод, соединяющийся с газоходом. Расход НСВ определяется массовым способом. Для этого напорный бак установлен на платформу с тремя тензоизмерительными датчиками, сигнал с которых передается на блок регистрации измерений.

Газоход состоит из трубопровода с установленными на нем 5-ю термопарами с шагом 300 мм, штуцерами для замера состава выпускных газов и дымности в начале и в конце газохода. Замеры производятся посредством газоанализатора АГМ-510МВ и дымомера МЕТА-01МП. Распыление НСВ осуществляется форсункой с диаметром отверстия 0,5 мм. Держатель для форсунки крепится к крышке штуцера изнутри. Такой подход позволяет регулировать ширину распыла факела относительно газового потока.

Источник горячих газов использует в качестве питания газовую горелку, работающую на смеси газов. Регулировка температуры в газоходе осуществляется перемещением суппорта с размещенной на ней газовой горелкой. Контроль температуры образующихся продуктов сгорания выполняется с помощью термопар, расположенных на газоходе. Расход газа определяется массовым способом. Для этого платформа с горелкой смонтирована на тензодатчике, сигнал с которого передается на блок регистрации измерений.

Блок регистрации измерений принимает сигналы со всех датчиков стенда, осуществляет преобразование сигнала из аналогового в цифровой формат, отображает полученные измерения на дисплее, и выполняет их запись через заданный временной интервал.

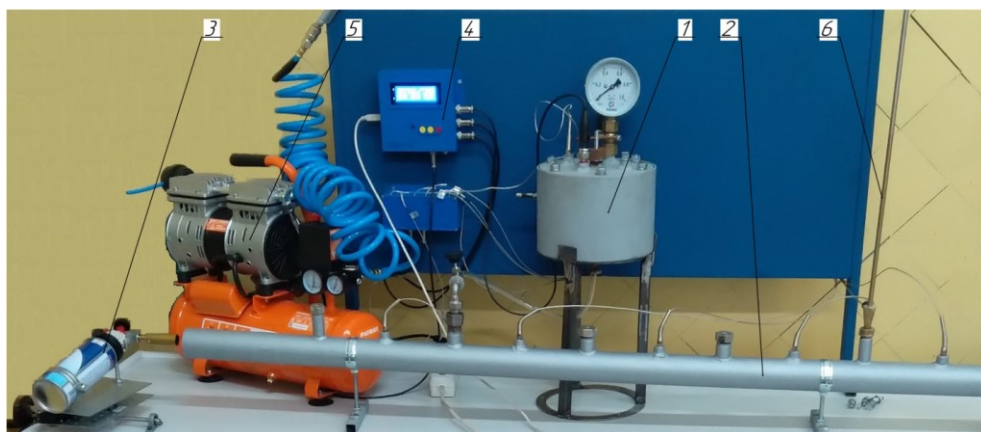


Рис. 2. Стенд для проведения экспериментального исследования: 1 - напорный бак, 2 - газоход, 3 - источник горячих газов, 4 - блок регистрации измерений, 5 - компрессор, 6 - зонд газоанализатора

В ходе экспериментальных исследований управляемыми факторами будут:

- температура газа, измеряемая термопарой, и регулируемая положением газовой горелки относительно переднего среза трубы;
- расход газа в газовой горелке, определяющий энергетические затраты на обезвреживание НСВ данным способом;
- расход НСВ через форсунку, позволяющий оценить производительность стенда и зависящий от давления в баке и величины открытия игольчатого клапана.

В качестве отклика выбран состав выпускных газов (содержание кислорода, углекислого газа, угарного газа, оксидов азота, несгоревших углеводородов), контролируемый с помощью газоанализатора, а также коэффициент избытка воздуха.

Дополнительно в ходе эксперимента предполагается контролировать изменение температуры по длине газохода, для чего в нем предусмотрены места установки термопар, а также возможен контроль температуры поверхности трубы с помощью тепловизионной съемки.

Централизованный мониторинг указанных параметров в ходе эксперимента обеспечивается с помощью специально разработанной автоматизированной системы. Она включает в себя блок регистрации измерений БРИЗ-АТ, модуль термометрирования МТ-06, аналоговый датчик давления, тензометрический датчик измерения веса газового баллона, блок из трех тензометрических датчиков для измерения веса напорного бака.

Модуль измерения температуры МТ-06 позволяет подключить 6 термопар типа К, с верхним пределом измерения 800 °С, разрешением 0,25 °С и погрешностью, определенной по результатам калибровки, не более ± 3 °С.

Тензометрический датчик измерения веса газового баллона позволяет определить массу газа в баллоне с погрешностью ± 1 г, причем разность измерений, отнесенная к интервалу времени, позволяет определить расход газа, как мгновенный, так и средний за промежутки времени.

По аналогичному принципу построен и измерительный блок измерения веса напорного бака. В силу большой массы бака его вес пришлось перераспределить по трем датчикам, показания которых сводятся в блоке МВ-03, и далее передаются в блок регистрации измерений БРИЗ-АТ.

Датчик давления имеет рабочий диапазон измерения 0...1,03 МПа, выходное напряжение 0,5...4,5 В, напряжение питания 5 В. Показания датчика давления оцифровываются АЦП контроллера непосредственно в блоке БРИЗ-АТ. Выполненная

калибровка датчика (рис 3) позволила получить зависимость для пересчета уровня сигнала в единицы измерения давления.

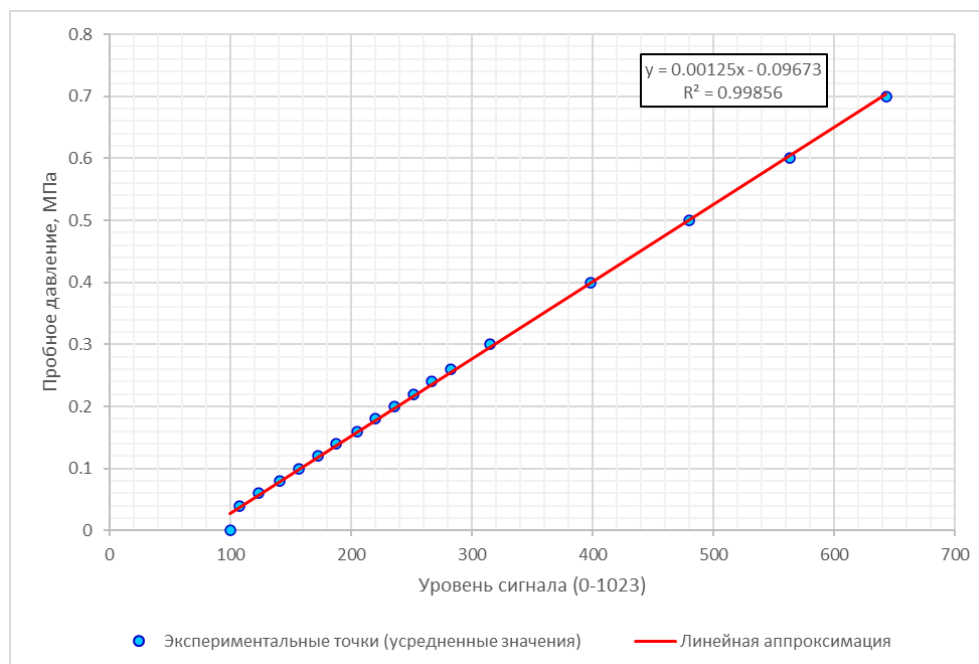


Рис. 3. Калибровочная кривая для датчика давления

Из рис. 3 видно, что зависимость сигнала от давления линейна во всем рассматриваемом диапазоне давлений, а дискретность в 1024 уровня обеспечивает разрешающую способность 1,25 кПа, что вполне достаточно для задания режима работы стенда. Дополнительно, данные с датчика давления контролируются по манометру МТ5, имеющему класс точности 1,5 и предел измерения 1 МПа.

Условия проведения эксперимента отслеживает датчик температуры, атмосферного давления и влажности ВМЕ280, установленный в блоке БРИЗ-АТ.

Блок регистрации измерений БРИЗ-АТ с заданной периодичностью (2 с) собирает данные с датчиков и отображает их на встроенном экране, а также через каждые 5...10 с сохраняет на карту памяти. Большой интервал между записями обусловлен облегчением последующей синхронизации данных с данными газоанализатора АГМ-510МВ, где минимальный интервал между записями составляет 5 с. Для привязки к реальному времени в блоке БРИЗ-АТ установлен RTC-модуль DS3233.

Кроме того, данные с блока БРИЗ-АТ могут быть переданы через СОМ-порт на компьютер. Таким образом, визуализацию данных в числовом и графическом виде, их последующую обработку и архивирование можно выполнить на нем.

Результаты

Результаты первых настроечных запусков стенда показали, что основные конструкторские решения подтвердили свою работоспособность. Для получения значений контролируемых параметров, которые можно было бы принять за базовые, были выполнены их измерения при работе только газовой горелки без подачи НСВ.

В таблице приведены данные, полученные в ходе испытаний на стенде, и результаты замеров состава выпускных газов на дизелях типа Г70-5 (эффективная

мощность $P_e = 735$ кВт, частота вращения вала $n = 350$ об./мин) на одном из теплоходов пр. 301, и газовом двигателе 8ГЧН22/28 ($P_e = 1000$ кВт, $n = 1000$ об./мин).

Таблица

Сравнение параметров выпускных газов на испытательном стенде дизеле Г 70-5 и газовом двигателе 8ГЧН22/28

Объект	$T_g, ^\circ\text{C}$	$\text{O}_2, \%$	CO, ppm	NO, ppm	NO_2, ppm	SO_2, ppm	$\text{H}_2\text{S}, \text{ppm}$	$\text{CO}_2, \%$	CH, ppm	Alf	
8ГЧН22/28	423,4	11,9	654	210	0	0	0	4,7	356	2,14	
Г70-5	правый	309,6	12,3	485	752	16	0	0	6,4	107	2,31
	средний	308,0	11,6	328	1020	26	0	0	7,0	106	2,15
	левый	307,7	11,2	767	1129	30	0	0	7,2	271	2,06
Стенд	193,7*	12,9	26	33	3	0	0	6,0	0	2,49	

* В последующих пробных запусках стенда удалось достичь температуры газов 527°C

Обсуждение

Температура продуктов сгорания газового топлива, полученная на стенде соответствует температуре в газоходе двигателей. При этом следует учитывать, что в газоходе двигателя 8ГЧН22/28 температура измерялась на расстоянии 7 диаметров трубы газохода от выпускного фланца турбокомпрессора, а на судне расстояние от двигателя до точки отбора газовой пробы было гораздо больше (оценочно 12...15 диаметров). В конструкцию стенда изначально заложена возможность регулирования температуры газа как изменением расхода топлива (газа), так и положением газовой горелки относительно среза трубы. При этом также будет изменяться коэффициент избытка воздуха (Alf). В настроенных запусках он несколько больший, чем в газоходе двигателей, но, по нашему мнению, эта разность не является критичной.

Концентрация O_2 , CO_2 , а также значение коэффициента избытка воздуха показывают, что применение газовой горелки в качестве источника горячих газов вполне успешно имитирует условия газовойпускного тракта судовых дизелей.

При работе стенда на газе (пропан-бутановая смесь) газоанализатором не было зафиксировано присутствие углеводородов CH в газоходе. То есть можно говорить о практически полном сгорании газа из баллона в газоходе рассматриваемого стенда. Это подтверждается и невысокой, значительно меньшей по сравнению с двигателями, концентрацией угарного газа CO . Из-за специфики метода термического обезвреживания концентрация CH может служить индикатором качества процесса: появление значительного количества углеводородов говорит о переходе нефтепродуктов в газообразную фазу без последующего разложения и окисления, и, следовательно, ставит под вопрос применимость данного способа. И, наоборот, в случае низких концентраций CH в выпускных газах при работе стенда с введением НСВ можно говорить о ее качественной утилизации данным способом. Таким

образом, отсутствие СН в выпускных газах стенда делает эксперимент более «чистым» по сравнению с экспериментом непосредственно на двигателе.

Также сжигание газового топлива на стенде обеспечивает меньший выброс оксида азота NO (с его последующей трансформацией в NO₂ [11]) по сравнению со сжиганием в двигателях жидкого и газообразного топлива. Поскольку на стенде нет резкого охлаждения продуктов сгорания с уменьшением давления, как это имеет место в двигателях внутреннего сгорания на такте «рабочий ход», «закалки» концентрации NO [12] не происходит, и она остается существенно ниже, чем в газоходе газового двигателя 8ГЧН22/28 и, тем более, в газоходе двигателей Г70-5. То есть, отличие концентрации оксидов азота NO и NO₂ не является препятствием для проведения экспериментальных исследований по термическому обезвреживанию на рассматриваемом стенде.

Концентрация серосодержащих газов SO₂ и H₂S во всех случаях оказалась равной нулю, что говорит о работе судовых дизелей Г70-5 на обессеренном топливе, и об отсутствии сернистых соединений в газовом топливе для двигателя 8ГЧН22/28.

Выводы

Выполненные настроечные запуски стенда показали, что

- 1) стенд подготовлен для проведения испытаний огневого (термического) обезвреживания нефтесодержащих вод;
- 2) основные конструкторские решения подтвердили свою работоспособность;
- 3) параметры продуктов сгорания на стенде при работе на газе без подачи НСВ по большинству значений соответствуют параметрам продуктов сгорания судовых дизелей и газовых двигателей, следовательно, стенд вполне успешно имитирует условия их газовыпускного тракта.

Результаты настроечных запусков позволяют перейти в ближайшей перспективе к планированию многофакторного эксперимента. Полученные данные о составе продуктов сгорания газа на стенде без подачи НСВ станут эталонными для последующих экспериментов.

Список литературы

1. Ходжаев, С. С. Современные процессы и установки для очистки судовых нефтесодержащих вод / С. С. Ходжаев, Н. А. Страхова // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 4(93). – С. 91-99. – DOI 10.34046/aumsnomt93/16. – EDN IHJNPS.
2. Тихомиров Г.И. Технологии обработки воды на морских судах. Владивосток, Мор. гос. ун-т, 2013. 159 с.
3. Методы утилизации нефтяных шламов / И. Ш. Хуснутдинов, А. Г. Сафиулина, Р. Р. Заббаров, С. И. Хуснутдинов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2015. – Т. 58. – № 10. – С. 3-20. – EDN UQCSGR.
4. Ксенофонов, Б. С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.
5. Писарев, А. О. Актуальные проблемы очистки судовых нефтесодержащих вод. / А. О. Писарев, А. С. Курников // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2009. – № 27. – С. 97-108. – EDN ROVTXF.
6. Чернов В.А., Бевза Д.И., Шураев О.П., Чичурин А.А. Методы очистки нефтесодержащих вод // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. №. 3. С. 50-59. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-50-59>.

7. Кувшинников, И. М. Устойчивость эмульсий нефтепродуктов в воде и способы их коагуляции / И. М. Кувшинников, Е. В. Черепанова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – № 3(59). – С. 50-58. – EDN КТОНВХ.
8. Калинина, Е. В. Анализ методов обезвреживания нефтесодержащих отходов / Е. В. Калинина, А. Г. Кочкина // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2013. – Т. 1. – С. 85-99. – EDN SNNOSD.
9. Чичурин А.Г., Шураев О.П. Утилизация нефтесодержащих вод теплотой отработавших газов судовых дизелей. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2016. №47. С. 201-206.
10. Пат. на полезную модель №151927 Россия, МПК F01N 3/029. Дизельная установка / А.Г. Чичурин, О.П. Шураев, М.Х. Садеков, В.Н. Власов – № 2014 121199/06. Заявл. 26.05.2014; Опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11.
11. Кавтарадзе, Р. З. Влияние вида газообразного топлива на экологические показатели дизеля, конвертированного в двухтопливный двигатель. / Р. З. Кавтарадзе // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 1(19). – С. 57-62. – EDN NCHWWN.
12. Камалtdинов, В. Г. Исследование образования оксидов азота в дизелях и HCCI-двигателях. / В. Г. Камалtdинов, В. А. Марков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 5(47). – С. 34-46. – EDN UMHAKP.

References

1. Hodzhaev, S. S. Sovremennye processy i ustanovki dlja ochistki sudovyh neftesoderzhashhih vod. / S. S. Hodzhaev, N. A. Strahova // Jekspluatacija morskogo transporta. – 2019. – № 4(93). – S. 91-99. – DOI 10.34046/aumsnomt93/16. – EDN IHJNPS.
2. Tihomirov G.I. Tehnologii obrabotki vody na morskikh sudah. Vladivostok, Mor. gos. un-t, 2013. 159 s.
3. Metody utilizacii neftejnyh shlamov. / I. Sh. Husnutdinov, A. G. Safiulina, R. R. Zabbarov, S. I. Husnutdinov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: Himija i himicheskaja tehnologija. – 2015. – Т. 58. – № 10. – S. 3-20. – EDN UQCSGR.
4. Ksenofontov, B. S. Flotacionnaja obrabotka vody, othodov i pochvy. M.: Novye tehnologii, 2010. 272 s.
5. Pisarev, A. O. Aktual'nye problemy ochistki sudovyh neftesoderzhashhih vod. / A. O. Pisarev, A. S. Kumikov // Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. – 2009. – № 27. – S. 97-108. – EDN ROBTXF.
6. Chernov V. A., Bevza D. I, Shurayev O. P., Chichurin A. A. Metody ochistki neftesoderzhashhih vod. // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Morskaja tehnika i tehnologija. 2022. №. 3. S. 50-59. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-50-59>.
7. Kuvshinnikov, I. M. Ustojchivost' jemul'sij nefteproduktov v vode i sposoby ih koaguljacii. / I. M. Kuvshinnikov, E. V. Cherepanova // Jenergosberezenie i vodopodgotovka. – 2009. – № 3(59). – S. 50-58. – EDN КТОНВХ.
8. Kalinina, E. V. Analiz metodov obezvrezhivanija neftesoderzhashhih othodov / E. V. Kalinina, A. G. Kochkina // Jekologija i nauchno-tehničeskij progress. Urbanistika. – 2013. – Т. 1. – S. 85-99. – EDN SNNOSD.
9. Chichurin A.G., Shurayev O.P. Utilizacija neftesoderzhashhih vod teplotoj otrabotavshih gazov sudovyh dizelej. Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. 2016. №47. S. 201-206.
10. Pat. na poleznuju model' №151927 Rossija, MPK F01N 3/029. Dizel'naja ustanovka / A.G. Chichurin, O.P. Shurayev, M.H. Sadekov, V.N. Vlasov – № 2014 121199/06. Zajavl. 26.05.2014; Opubl. 20.04.2015, Bjul. № 11.
11. Kavtaradze, R. Z. Vlijanie vida gazoobraznogo topliva na jekologičeskije pokazateli dizelja, konvertirovannogo v dvouptlivnyj dvigatel' / R. Z. Kavtaradze // Transport na al'ternativnom toplive. – 2011. – № 1(19). – S. 57-62. – EDN NCHWWN.
12. Kamaltdinov, V. G. Issledovanie obrazovanija oksidov azota v dizeljah i HCCI-dvigateljah. / V. G. Kamaltdinov, V. A. Markov // Transport na al'ternativnom toplive. – 2015. – № 5(47). – S. 34-46. – EDN UMHAKP.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 27.09.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 27.09.2022; published online 20.12.2022.

ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА ТРАНСПОРТЕ

ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT

УДК 656.6:338.47

DOI: 10.37890/jwt.vi73.316

Проблемы северного завоза в регионах Сибири и пути их решения

В.М.Бунеев¹

ORCID: 0000-0003-0402-2568

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

М.Г.Синицын¹

ORCID: 0000-0003-3975-5198

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

М.В. Седунова¹

ORCID: 0000-0003-3975-5198

*¹Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск,
Россия*

Аннотация. Уточнены географические границы территории Сибири и опорных зон развития Арктики. Приведены результаты анализа природных ресурсов и месторождений полезных ископаемых. В частности, Ямало-Ненецкая зона: газ – 66%, нефть и конденсат – 20% от общероссийских запасов; Таймыро-Туруханская: уголь – 77,6, никель – 71 %; Северо-Якутская: добыча сурьмы 100%, алмазов 98%, олово 40%. Освоение этих и других ископаемых является актуальной задачей развития Арктической зоны Российской Федерации, которое во многом обусловлено наличием транспортной инфраструктуры в исследуемых регионах и эффективности организации северного завоза. Транспортная инфраструктура представлена всеми видами транспорта. Наиболее развита она в Ямало-Ненецкой зоне и менее – в Северо-Якутской. Для решения задач эффективности организации северного завоза предложен разработанный методический инструментарий, который базируется на соответствующих теоретических предпосылках и методологических принципах, использовании системного подхода, математических моделей и методов. Понятие «северный завоз» при обосновании рациональной его организации определено неоднозначно. Первое – обеспечение потребности недропользователей в грузах для освоения природных ресурсов, обустройства месторождений и производства продукции, а также транспортировка её на российские и международные рынки. Второе – комплекс ежегодных государственных мероприятий по обеспечению их основными жизненно важными товарами в преддверии зимнего сезона. Первый комплекс задач более сложный входит в компетенцию самих недропользователей и соответствующих государственных структур. Второй комплекс реализован в Сибирском государственном университете водного транспорта. В результате для каждой из опорных зон разработаны научно-обоснованные предложения по внедрению в практику организации северного завоза. В частности, рациональные формы организации транспортного процесса и транспортно-логистические системы на основе взаимодействия речного и морского флота, широкого использования СМП.

Ключевые слова:

Транспортно-логистическая система, водный транспорт, производственная мощность, пропускная способность

Problems of northern delivery in the regions of Siberia and ways to solve them

Viktor M. Buneev¹

ORCID: 0000-0003-0402-2568

Mikhail G. Sinitsyn¹

ORCID: 0000-0003-3975-5198

Marina V. Sedunova¹

ORCID: 0000-0003-3975-5198

¹*Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Russia*

Abstract. The geographical boundaries of the territory of Siberia and the main zones for the development of the Arctic have been specified. The results of the analysis of natural resources and mineral deposits have been presented. In particular, the Yamal-Nenets zone has 66% of gas, 20% of oil and condensate of the total Russian reserves; Taimyr-Turukhanskaya zone has 77.6% of coal, 71% of nickel; Severo-Yakutskaya zone has 100% of antimony mining, 98% of diamonds, 40% of tin. The extraction of these and other minerals is an urgent task for the development of the Arctic zone of the Russian Federation, which is largely due to the availability of transport infrastructure in these regions and the effectiveness of Northern delivery organization. The transport infrastructure is represented by all types of transport. It is most developed in the Yamalo-Nenets zone and less developed in the North Yakut zone. To solve the problems of the effectiveness of the organization of Northern delivery, the developed methodological tools have been proposed, which are based on the relevant theoretical prerequisites and methodological principles, the use of a systematic approach, mathematical models and methods. The concept of "Northern delivery" is ambiguously defined when justifying its rational organization. The first task is to meet the needs of subsurface users in cargo for the development of natural resources, field development and production, as well as its transportation to Russian and international markets. The second task is to develop a set of annual state measures to provide them with basic vital goods on the eve of the winter season. The first set of tasks is more complex and falls within the competence of the subsoil users themselves and the relevant state structures. The second complex was implemented at the Siberian State University of Water Transport. As a result, scientifically-based proposals have been developed for each of the specified zones for the introduction into practice of the organization of Northern delivery. In particular, rational forms of organization of the transport process and transport and logistics systems based on the interaction of the river and sea fleet, the widespread use of the NSR have been proposed.

Keywords: transport and logistics system, water transport, production capacity, throughput

Введение

Актуальность проблем северного завоза обусловлена потребностями освоения и развития Арктической зоны Российской Федерации, которая при площади 3,5 млн. кв. км занимает пятую часть территории страны. Население - более 2,3 млн. человек, это около 52% арктического населения планеты.

Для успешного и устойчивого развития Арктической зоны предусмотрено формирование и функционирование опорных зон, в том числе на территории Сибири: Ямало-Ненецкая, Таймыро-Туруханская и Северо-Якутская. В перспективе предусмотрена государственная поддержка бизнеса и его стимулирование в участии в экономических проектах развития регионов со статусом Крайнего Севера, активное

освоение новых территорий, проведение геологоразведочных работ по их изучению, разработке месторождений и промышленной добычи природных ископаем[1].

Ямало-Ненецкая опорная зона (одноименный автономный округ) является крупнейшей базой углеводородных ресурсов. Система транспортировки углеводородов, добываемых на территории округа, включает локальные и магистральные нефте- и газопроводы, грузовые перевозки по железным дорогам и морским транспортным флотом. Среди них газопроводы «Ямал – Европа» и «Братство» (Уренгой – Помары – Ужгород), нефтепровод «Заполярье – Пурпе – Саяны». По Северному морскому пути (СМП) продукция месторождения «Новопортовское» через нефтяной терминал на побережье Обской губы около поселка «Мыс каменный» поставляется на международные рынки. Продукция СПГ «Ямал» отгружается на морские суда-газовозы в порту Сеяха и поставляются на рынки восточного направления в летний период и в зимний – западного [2].

На территории края достаточно хорошо развит транспортный комплекс, который представлен всеми видами транспорта – железнодорожным, трубопроводным, воздушным, внутренним водным и автомобильным. Система транспортировки производимой продукции отработана в течение ряда лет. Добываемое сырье и готовые продукты транспортируются по всему миру. Для этого здесь активно используется водный и железнодорожный транспорт, а также Северный морской путь круглогодичного действия, за исключением периода паводка, когда уровень воды в Дудинском морском порту увеличивается на 13 - 15 метров, и причалы находятся под водой. Этот период длится с конца мая до 20-х чисел июня, при этом работают причалы высокой воды, принимая речные суда [3].

Северо –Якутская опорная зона расположена на большей территории Республика Саха (Якутия). На территории Якутии расположено 1823 месторождения минерального сырья. Регион удовлетворяет потребности Российской Федерации по добыче бриллиантов, алмазов, золота, олова и сурьмы. По запасам энергетического топлива на регион приходится 47% запасов угля, 35% нефти и газа и 22% гидроэнергетических ресурсов от всех запасов Сибири [4].

Транспортировка основной продукции алмазов и золота региона осуществляется воздушным транспортом, каменного угля водным транспортом (Зырянский и Алданский бассейны) и железнодорожным (Южно-Якутский-Нерюнги). Уровень развития транспортной структуры и транспортной доступности здесь самый низкий из исследуемых регионов. Протяжённость сезонных путей сообщения составляет 37% - речные и 35% – зимники [5].

Уровень транспортной доступности Ямала – 4,34, Красноярского края – 8,38 и Якутии – 4,14, а индекс доступности – 0,16, 0,28 и 0,14, соответственно [9]. Однако такое сравнение некорректно, так как здесь представлена территория Красноярского края полностью: хорошо развитая транспортная инфраструктура на юге, представленная всеми видами транспорта и ограничена на севере (Таймыр), речной и морской, зимники и авиация.

Решение проблемы формирования круглогодичной опорной транспортной сети Якутии связано со стабильностью функционирования Северного морского пути (СМП) на всей его протяжённости. СМП – водный путь меридианного направления пересекается с сибирскими реками широтного направления, образуя систему естественных водных путей с портами в устьях рек. При исследовании проблемы эффективности организации завоза грузов в районы Крайнего Севера определены два направления её решения. Первое – обеспечение потребности недропользователей (НОВАТЭК, Газпром, Нефтегаз, Роснефть и другие объединения) в строительных материалах, оборудовании, технике и других грузах, необходимых для освоения природных ресурсов, обустройства месторождений и производства продукции, а также транспортировка её на российские и международные рынки. Второе

направление - организация северного завоза в отдалённые, труднодоступные районы Крайнего Севера Сибири, Дальнего Востока и Европейской части России, а также территории, приравняемые к ним и обеспечение их основными жизненно важными товарами в преддверии зимнего сезона [6].

Методы

Теоретическими предпосылками совершенствования методического инструментария по обоснованию рациональной организации северного завоза послужили закономерности функционирования систем, современные разработки в области математического моделирования, новые научные подходы к оценке эффективности принимаемых решений.

На основе принципов системного подхода разработана схема функционирования транспортной системы региона с потребителями услуг (рис. 1).



Рис. 1. Схема функционирования транспортной системы региона с потребителями услуг

На основе модели функционирования системы северного завоза выявлена проблемная ситуация, определен перечень задач и последовательность их решения (рис. 3).

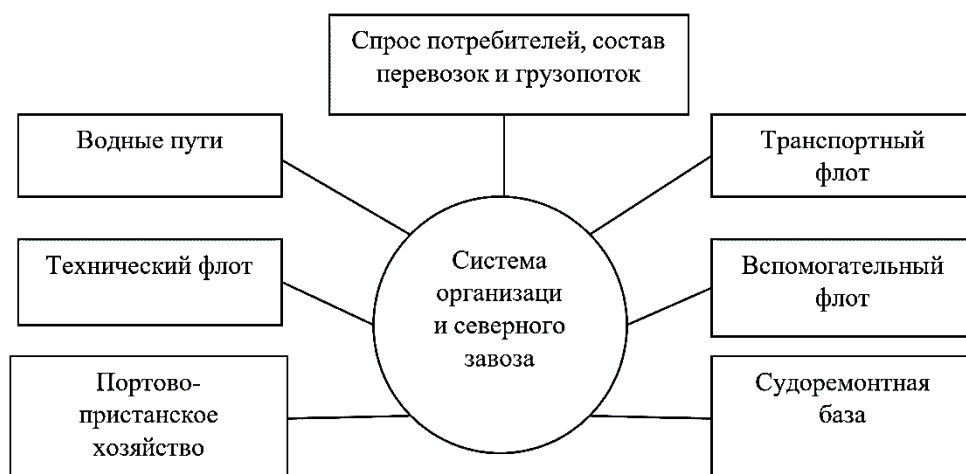


Рис. 2. Схема функционирования транспортной системы северного завоза



Рис. 3. Укрупнённый алгоритм решения комплекса задач исследуемой проблемы

Блок задач «разработка системы организации северного завоза» реализуется в следующей последовательности:

- 1) определение структуры завоза грузов и характеристика грузовых потоков;

- 2) исследование природно-климатических, гидрографических и гидрометеорологических факторов влияния на судоходство и организацию северного завоза;
- 3) определение требований к судам и перегрузочной технике для осуществления северного завоза;
- 4) разработка возможных альтернативных схем и способов доставки грузов, типов судов и перегрузочной техники;
- 5) расчёт эксплуатационно-экономических показателей использования технических средств и выбор оптимальных схем и способов доставки грузов;
- 6) формирование схемы грузовых линий и составление календарного графика отправления и прибытия судов; разработка планов портового, тягового и путевого обслуживания.

Разработанный методический инструментарий решения комплекса задач исследуемой проблемы в Сибирском государственном университете водного транспорта реализован при обосновании рациональной организации северного завоза в отдалённые, труднодоступные районы Крайнего Севера Сибири. Каждый из них имеет свои особенности. Выявлены значимые элементы логистической системы доставки грузов. На основе номенклатуры грузопотоков намечены перспективные варианты грузопотоков.

Результаты

Рекомендуемая система организации северного завоза грузов для муниципальных нужд Ямало-Ненецкого автономного округа содержит рациональное сочетание прямого водного и смешанного железнодорожно-водного сообщений, маршрутных и немаршрутных схем перевозок грузов, рейсовой и линейной форм организации движения флота, структуры технических средств перевозки и перегрузки грузов (перспективные схемы представлены на рисунке 4). Определены затраты флота и потребность в судах определённых типов. Для выполнения плановых объёмов транспортной работы и грузовых перевозок затраты по танкерному флоту составят 1949,7 тыс. т-же.сут, по самоходному сухогрузному – 384,2 тыс. т-же.сут, по несамоходному сухогрузному – 384,88 тыс. т-же.сут и по буксирному – 56,78 тыс. сило-сут. Благодаря оптимизации транспортных процессов, мониторингу бизнес-процессов и регулированию при функционировании системы северного завоза для муниципальных нужд Ямало-Ненецкого автономного округа, эксплуатационные расходы по флоту снижаются на 11,5 %.

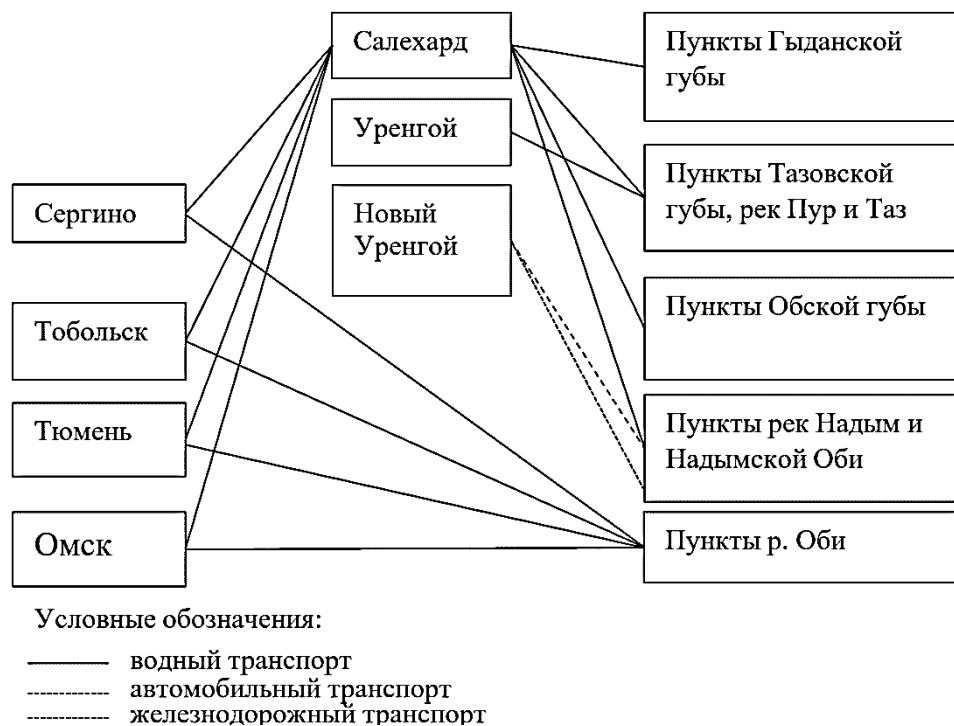


Рис. 4. Перспективные маршруты (схемы) доставки продуктов питания потребителям Ямало-Ненецкого автономного округа

При северном завозе в пункты Красноярского края в речную навигацию 2021 г. доставлено 222 тысячи тонн топливно-энергетических ресурсов в 162 населенных пункта Енисейского, Мотыгинского, Северо-Енисейского, Туруханского, Таймырского (Долгано-Ненецкого) и Эвенкийского муниципальных районов. Наиболее сложно северный завоз приходит на реках Подкаменная Тунгуска и Нижняя Тунгуска, условия судоходства здесь экстремальные. Период работы флота составляет около 25 суток. В среднем за навигацию на Подкаменную Тунгуску завозится около 80 тыс. тонн грузов, из них сухогрузы составляют – 71%, нефтеналивные грузы – 29%; на Нижнюю Тунгуску - 30 тыс.т. в том числе: сухогрузы-25% и нефтеналив-75%. В Сибирском государственном университете водного транспорта разработана рациональная система организации северного завоза грузов на реки Енисейского бассейна. Она представляет собой сочетание рейсовой формы организации работы флота и экспедиционного завоза груза на притоки, рациональной технологией и организацией движения каравана судов с прохождением затруднительных участков водных путей и оптимизацию работы вспомогательной тяги. Кроме того, разработаны схемы передислокации флота и крановой механизации с одной реки на другую на основе анализа календарных дат открытия навигации и согласования работы всех элементов системы и участников транспортного процесса, рекомендации по завозу грузов на реки Енисейского бассейна представлены на рис 5. Эффективность организации северного завоза грузов на малые реки и притоки Енисея определена следующими показателями: снижение себестоимости доставки на 12%; увеличение провозной способности флота на 20%; увеличение пропускной способности затруднительных для судоходства участков на 15%.

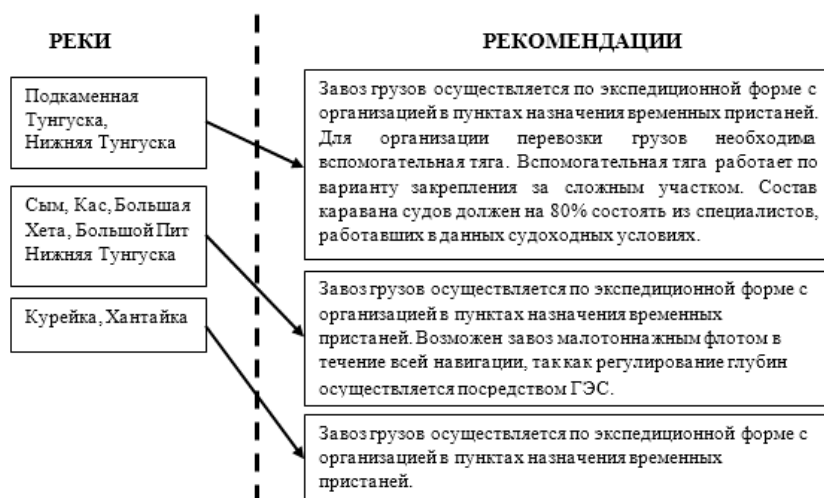


Рис. 5. Рекомендации по завозу грузов на реки Енисейского бассейна, протекающие через территории Крайнего Севера

Наиболее сложные условия северного завоза в Якутии обусловлены экстремальными природно-климатическими и географическими особенностями. Ежегодно объёмы перевозок грузов составляют 350-380 тыс.т., в их числе: нефтепродукты – 95-105 тыс.т. и сухогрузы – около 250 тыс.т. на реки: Анабар (30-45 тыс. т.), Яна (140 тыс.т.), Индигирка (55 тыс. т.) и Колыма (80-95 тыс. т.).

Судоходство в южных и северных районах отличается большим разнообразием: продолжительность навигации на речных участках составляет от 125 до 160 суток, на морских – от 47 до 80 суток. Наибольшие трудности для судоходства представляют участок реки Лена от Осетрово (Усть-Кут) до Киренска, морской от устья р.Лены и бар реки Индигирка. Мелководные навигации не редкость для верховья Лены [7]. Так при исследовании динамики гарантированных глубин на Верхнем участке реки Лена за 2011-2021 гг. установлено, что бесперебойная работа водного транспорта была в навигацию 2011, 2012 и 2018 гг. В остальные годы наблюдалась сложная гидрологическая ситуация, из-за которой возникают ситуации со срывом сроков завоза грузов (рекомендации по использованию флота по всем трем участкам представлены в таблице 1). Наиболее сложной схемой завоза грузов в пункты Северной Якутии, является схема по доставке нефтепродуктов. Логистическая цепь имеет следующий вид: «Производство нефтепродуктов (Ачинский нефтеперегонный, либо другой завод) – транспортировка по железной дороге до станции «Лена» с выгрузкой из вагонов в Усть-Кутской нефтебазе - речной транспорт по Лене в пункты накопления нефтепродуктов (Ленск, Якутск, Нижний Бестях и Жиганск) – с августа начало завоза в пункты арктической зоны республики – доставка автотранспортом потребителям[8].

Таблица 1

Рекомендации по использованию флота по участкам реки Лена

Участок реки Лена	Тип флота	Форма работы	
		Грузоподъемность	Схема
Верхний	911-Б+2*942	G>48 тыс.т.	Линейная
		G<48 тыс.т.	Рейсовая
Средний	1721Л+2*16800	G>99 тыс.т.	Линейная
		G<99 тыс.т.	Рейсовая

Нижний	1721Л+2*Р-56	G>96 тыс.т.	Линейная
		G<96 тыс.т.	Рейсовая

Организация работы судов в Ленском воднотранспортном бассейне осложняется сгонно-нагонными явлениями, которые обусловлены периодическими изменениями направлений господствующих ветров [9]. На баре реки Индигирка продолжительность сгонных ветров составляет 50% от периода времени с июля по сентябрь. По этой причине снижается уровень гарантированных глубин на баре. Для большинства работающих на данном участке судов приемлемой является глубина судового хода равная 180 сантиметров продолжительность стояния которой составляет 17 суток.

Отмечается неудовлетворительная работа земснаряда по подготовке прорези для прохода судов. В результате из запланированных 53,9 тыс. тонн груза доставлено 27,9 тыс. тонн. Кроме того, незавершенность процесса доставки грузов и наступление ранних морозов является причиной случайного отстоя судов в количестве 26 ед. 11 из них с грузом, в том числе 6 ед. с каменным углем и 3 ед. с генеральным грузом.

Оценивая эффективность северного завоза грузов, исходя из целей и задач транспортных систем по обеспечению потребностей экономики, бизнеса, государства, социальной сферы и общества отмечается следующее. Во-первых, оценка – положительная при выполнении запланированного объема перевозок и отрицательная в противоположном результате. Во-вторых, бюджеты разных уровней получают соответствующие налоговые выплаты. В-третьих, коммерческая эффективность хозяйствующего субъекта.

Обсуждение

Актуальной задачей для республики Саха является развитие транспортной инфраструктуры и пересмотр схемы северного завоза во избежание масштабных осложнений в будущем. Так, при транспортировке нефтепродуктов предлагается обратить внимание на возможность поставки продукции Комсомольского НПЗ по железной дороге в Нижнебестянскую нефтебазу. В перспективе предусмотрено её развитие в составе Якутского транспортно-логистического узла. Другой вариант изменения схемы – река Енисей и СМП. Поставка продукции Ачинского НПЗ по железной дороге до Лесосибирской нефтебазы, далее в судах «река-море» (типа «Ленанефть») - в пункты назначения на побережье Северного Ледовитого океана. Гарантированные глубины на реке Енисей от Красноярска и ниже по течению не менее 3 метров. Схему перевозок генеральных грузов также можно изменить, включая СМП при его круглогодичном функционировании. Основанная на автоматизации и мониторинге система управления транспортными процессами будет способствовать эффективному планированию и организации грузоперевозок в арктических территориях [10]. Итак, проблемы северного завоза на территории Сибири могут быть решены в сочетании с комплексом мероприятий, реализуемых Российской Федерации в Арктике. Сеть внутренних водных путей соединяется с Северным морским путём (СМП), потенциал которого в настоящее время недостаточно используется в северном завозе. Основой современной концепции освоения и развития Арктической зоны является формирование рациональной транспортной системы путем реализации масштабных инвестиционных проектов с целью освоения природных ресурсов. В числе таковых - возрождение Северного морского пути, модернизация его инфраструктуры. Он начинается в проливах архипелага Новая Земля (Мурманск) и проходит через моря Ледовитого океана и Берингово (район Тихого океана). Конечная точка пути – бухта Провидения

Многоводные реки, впадающие в арктические моря, являются путями сообщения между глубинными районами Сибири и Дальнего Востока и Северным морским путем. В результате образуется каркас транспортной системы. Наличие участков внутренних водных путей с глубинами на протяжении до 2 тыс.км способствует движению морских судов и смешанного река-море плавания при доставке грузов с целью освоения месторождений и вывозе добываемого сырья и прочих грузов. В частности, предлагаются следующие решения проблемы. Первое – изменение схемы доставки продовольствия в сибирские районы Крайнего Севера и прежде всего в Якутию [11]. Сейчас завоз продовольствия осуществляется речным транспортом через Осетровский порт (г. Усть-Кут). Однако, реализация такой схемы связана с рисками появления маловодного года, при котором глубина судового хода на верхнем участке составляет всего 150 сантиметров. Вероятности появления глубин представлены в таблице 2.

Таблица 2

Вероятности появления гарантированных глубин на Верхней Лене

Вариант	Глубина судового хода, м	Вероятность появления, %
Неблагоприятный	1,5	15,0
Нормальный	1,7	70,0
Благоприятный	2,1	15,0

Предлагается другое решение – взаимодействие речного морского флота в системе СМП. Из сибирских рек наиболее глубоководная Енисей [12]. Гарантированная глубина 3 метра обеспечивается на всём протяжении от Красноярского порта, а на участке от Игарки до устья эксплуатируются морские суда [13]. Итак, продовольствие как продукцию агропромышленного комплекса юга Сибири через Красноярский порт предлагается транспортировать по Енисею с выходом на СМП и доставлять в пункты назначения от Дудинки до Певека. При этом возможно применять маршрутную схему организации работы флота с использованием судов типа «Сибирский» (проект 292) на всём протяжении либо немаршрутная с перевалкой в Игарке или Дудинке из речных в морские суда. Решение проблемы продовольственного обеспечения территории Ямало-Ненецкой опорной зоны Арктики рассмотрено выше на примере завоза для муниципальных нужд ЯНАО [14]. Второе - продукция Лесосибирского комбината (пиломатериалы) и грузовые потки леса из Лесосибирского района следуют отправлять по железной дороге в европейскую часть страны и на экспорт. Однако имеется альтернатива переключения этих грузопотоков на водный транспорт по схеме: Лесосибирский речной порт – Дудинский (Игарский) морской порт – Североморской путь – Мурманский морской порт. Третье - продукция Кузбасского угольного бассейна в зависимости от спроса и потребностей рынка транспортируется по железной дороге. Альтернативная схема: Кузбасс-Лесосибирский речной порт (железнодорожный транспорт) - Дудинский (Игарский) морской (речной) порты – Северный морской путь – Мурманский морской порт.

Заключение

Наиболее рациональная форма организации транспортных процессов северного завоза грузов устанавливается путем проведения технико-экономического обоснования транспортно-логистической системы [15], что достигается посредством:

- выбора рациональных схем перевозки грузов;
- выбора рациональных технических средств для перевозки и перегрузки грузов;

– проведения дноуглубительных работ.

Одним из важных факторов является выбор форм организации работы флота и их рациональное сочетание. При организации северного завоза возможно использовать три формы: рейсовую, линейную и экспедиционную. На выбор и сочетания форм влияют как эксплуатационные, так и природно-климатические факторы и ряд других условий. В отдельных решениях – экспедиционный завоз и оптимальное распределения вспомогательной тяги по затруднительным участкам для проводки каравана судов. Кроме того, важное значение для организации северного завоза грузов имеет координация и объединение усилий всех транспортных организаций, региональных и муниципальных органов власти, бизнеса и представителей потребителей транспортных услуг.

Зарубежный опыт показывает, что обеспечение жизнедеятельности северных районов не может быть без вмешательства государства. Примером этому служат территории севера Канады и штат Аляска, входящий в состав США. Первые напрямую финансируются из федерального бюджета, второй за счет налогов с нефтегазовой промышленности.

Следовательно, общий подход к управлению системой северного завоза, основанный на принципах государственного регулирования, приемлем в отечественной практике. Ледовая проводка судов также имеет место, однако формы её организации полностью отличаются. Таким образом проблема организации северного завоза в регионах Сибири представляет собой комплекс задач, образующих систему исследования эффективности функционирования и развития её, как транспортно-логистической системы. При этом важной составляющей такой системы является транспортная инфраструктура и уровень её развития, от которой зависит эффективность решения экономических, научно-технических и логистических задач обеспечения жизнедеятельности населения северных регионов.

Список литературы

1. Sinitsyn M., Buneev V., Domnina O., Tsverov V., FORMATION OF THE SHIPPING COMPANY'S TECHNICAL POLICY Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 403 LNNS. С. 688-697.
2. Arkhipov A., Grigoriev E., Sinitsyn M., THE NORTHERN SEA ROUTE: A RETROSPECTIVE, STRATEGIC SOLUTIONS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT В сборнике: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020. С. 11020. DOI: 10.1051/e3sconf/202016411020
3. Domnina O., Tsverov V., Sinitsyn M., Buneev V. DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH TO SUBSTANTIATING THE OPTIMAL PERIOD OF VEHICLE RENEWAL Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 402 LNNS. С. 1076-1085.
4. Бунеев В.М., Синицын М.Г., Оценка транспортной возможности воднотранспортного бассейна (на примере Ленского бассейна) В сборнике: Политранспортные системы. Материалы XI Международной научно-технической конференции. Новосибирск, 2020. С. 300-304.
5. Ничипорук А.О. Опыт и проблемы построения транспортно-логистических систем доставки грузов // Вестник ВГАВТ. 2017. №50. С. 212–218. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v50.pdf. (дата обращения 19.05.2022).
6. Rodrigue J-P, Notteboom T (2009) The terminalization of supply chains: Reassessing the role of terminals in port/hinterland logistical relationships. //Maritime Policy & Management 36:165–183. <https://doi.org/10.1080/03088830902861086>.
7. Уланова Ю.А., Уртминцев Ю.Н., АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АО «ОСЕТРОВСКИЙ РЕЧНОЙ ПОРТ», Г. УСТЬ-КУТ / В сборнике: ТРАНСПОРТ: ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛИ, ПЕРСПЕКТИВЫ (TRANSPORT 2021). Материалы II Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Под редакцией Е.В. Чабановой. Пермь, 2021. С. 678-683.

8. Кузьмичев И.К., Малышкин А.Г., Уртминцев Ю.Н., Домнина О.Л., СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ НА ВНУТРЕННЕМ ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 3-1 (53). С. 135-141.
9. Snyder E. H., Meter K. Food in the Last Frontier: Inside Alaska's Food Security Challenges and Opportunities. // Environment: Science and Policy for Sustainable Development. — 2015. — 57 (3). — P. 19–33. — doi: 10.1080/00139157.2015.1002685.
10. Galloway T. Canada's northern food subsidy Nutrition North Canada: a comprehensive program evaluation // International Journal of Circumpolar Health. — 2017. — 76(1). — 1279451. — doi:10.1080/22423982.2017.1279451.
11. Стратегия социально- экономического развития арктической зоны Республики САХА (Якутия) на период до 2035 года. / Утверждена Указом Главы Республики Саха (Якутия) от 14 августа 2020 г. N 1377-131с
12. Стратегия социально-экономического развития Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района до 2035года. / Утверждена решением Таймырского Долгано-Ненецкого районного Совета депутатов от 14.02.2019 № 03-034. -72 с.
13. Стратегия социально-экономического развития северных и арктических территорий и поддержки коренных малочисленных народов Красноярского края до 2030 года. / Распоряжение Правительства Красноярского края от 26 февраля 2020 г. N 122-р
14. О стратегии социально – экономического развития Ямало-Ненецкого автономного округа до 2035 года / Постановление Законодательного Собрания ЯНАО от 24.06.2021 N 478 (ред. от 17.02.2022). - 219 с.
15. Логистика смешанных перевозок / Костров В.Н., Бутченко В.Н., Коршунов Д.А., Домнина О.Л., Крепак С.В., Ничипорук А.О.// Нижний Новгород, 2020. 124 с.

References

1. Sinitsyn M., Buneev V., Domina O., Tserov V., FORMATION OF THE SHIPPING COMPANY'S TECHNICAL POLICY Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. T. 403 LNNS. S. 688-697.
2. Arkhipov A., Grigoriev E., Sinitsyn M., THE NORTHERN SEA ROUTE: A RETROSPECTIVE, STRATEGIC SOLUTIONS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT V sbornike: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020. S. 11020. DOI: 10.1051/e3sconf/202016411020
3. Domnina O., Tserov V., Sinitsyn M., Buneev V. DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH TO SUBSTANTIATING THE OPTIMAL PERIOD OF VEHICLE RENEWAL Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. T. 402 LNNS. S. 1076-1085.
4. Buneev V.M., Sinicyn M.G., Ocenka transportnoj vozmozhnosti vodnotransportnogo bassejna (na primere Lenskogo bassejna) V sbornike: Politransportnye sistemy. Materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Novosibirsk, 2020. S. 300-304.
5. Nichiporuk A.O. Opyt i problemy postroeniya transportno-logisticheskikh sistem dostavki gruzov // Vestnik VGAVT. 2017. №50. S. 212–218. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v50.pdf. (data obrashcheniya 19.05.2022).
6. 8. Rodrigue J-P, Notteboom T (2009) The terminalization of supply chains: Reassessing the role of terminals in port/hinterland logistical relationships. //Maritime Policy & Management 36:165–183. <https://doi.org/10.1080/03088830902861086>.
7. Ulanova YU.A., Urtminev YU.N., ANALIZ TRANSPORTNO-LOGISTICHESKIKH PROCESSOV V AO «OSETROVSKIJ RECHNOJ PORT», G. UST'-KUT / V sbornike: TRANSPORT: PROBLEMY, CELI, PERSPEKTIVY (TRANSPORT 2021). Materialy II Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Pod redakciej E.V. Chabanovoj. Perm', 2021. S. 678-683.
8. Kuz'michev I.K., Malyshkin A.G., Urtminev YU.N., Domnina O.L., SOVERSHENSTVOVANIE NAUCHNO-METODICHESKOJ BAZY SISTEMY ORGANIZACII PЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ НА ВНУТРЕННЕМ ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 3-1 (53). S. 135-141.

9. Snyder E. H., Meter K. Food in the Last Frontier: Inside Alaska's Food Security Challenges and Opportunities.// Environment: Science and Policy for Sustainable Development. — 2015. — 57 (3). — P. 19–33. — doi: 10.1080/00139157.2015.1002685.
10. Galloway T. Canada's northern food subsidy Nutrition North Canada: a comprehensive program evaluation // International Journal of Circumpolar Health. — 2017. — 76(1). — 1279451. — doi:10.1080/22423982.2017.1279451.
11. Strategiya social'no- ehkonomicheskogo razvitiya arkticheskoy zony Respubliki SAKHA (Yakutiya) na period do 2035 goda. /Utverzhdena Ukazom Glavy Respubliki Sakha (Yakutiya) ot 14 avgusta 2020 g. N 1377-131s
12. Strategiya social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Tajmyrskogo Dolgano-Neneckogo municipal'nogo rajona do 2035goda. / Utverzhdena resheniem Tajmyrskogo Dolgano-Neneckogo rajonnogo Soveta deputatov ot 14.02.2019 № 03-034. -72 s.
13. Strategiya social'no-ehkonomicheskogo razvitiya severnykh i arkticheskikh territorij i podderzhki korennykh malochislennykh narodov Krasnoyarskogo kraja do 2030 goda./ Rasporjazhenie Pravitel'stva Krasnoyarskogo kraja ot 26 fevralya 2020 g. N 122-r
14. O strategii social'no – ehkonomicheskogo razvitiya Yamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga do 2035 goda / Postanovlenie Zakonodatel'nogo Sobraniya YANAO ot 24.06.2021 N 478 (red. ot 17.02.2022). - 219 s.
15. Logistika smeshannyh perevozok / Kostrov V.N., Butchenko V.N., Korshunov D.A., Domnina O.L., Krepak S.V., Nichiporuk A.O.// Nizhnij Novgorod, 2020. 124 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Синицын Михаил Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры Управление работой флота, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: mihail_sinitsyn@mail.ru

Mikhail G. Sinitsyn, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Head of the Department of Fleet Operations Management, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, st. Shchetinkina, 33

Седунова Марина Васильевна, аспирант кафедры Управление работой флота, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: marina_sedunova@bk.ru

Marina V Sedunova, post-graduate student of the Department of Fleet Management, Siberian State University of Water Transport (FSUE VO "SGUVT"), 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: marina_sedunova@bk.ru

Статья поступила в редакцию 01.06.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 01.06.2022; published online 20.12.2022.

УДК 629.5

DOI:10.37890/jwt.vi73.322

Разработка системы критериев хаусботов с целью обоснования инвестиционного выбора

С.Д. Гордлеев¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0053-0506>

О.Л. Трухинова^{1,2}

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3423-9058>

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

²*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия*

Аннотация. При растущем использовании плавучих домов (хаусботов) в России требуется разработка методики выбора их проектов на научной основе. В статье рассматриваются вопросы обоснования системы критериев при оценке инвестиционных проектов данных объектов путем методов многокритериального анализа. Уделено внимание вопросам, связанным с взаимосвязанными возникающими проблемами по принятию решений в инвестиционной деятельности и аналитических методов, используемых для оценки транспортных проектов. Методология многокритериального инвестиционного выбора уже доказала свою полезность в решении нескольких проблем, связанных с транспортом, что позволяет напрямую вовлекать заинтересованные стороны в процесс принятия решений и в относительно новой области инвестирования – производстве плавучих домов.

Ключевые слова: хаусбот, плавучий дом, многокритериальный анализ, критерии выбора, инвестиционный выбор.

Development of a system of criteria for houseboats in order to justify the investment choice

Sergey D. Gordleev¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0053-0506>

Olga L. Trukhinova^{1,2}

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3423-9058>

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

²*Department of System Analysis in Economics Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia*

Abstract. With the growing use of houseboats in Russia, it is necessary to develop a methodology for selecting their projects on a scientific basis. The article discusses the issues of substantiation of the criteria system when evaluating investment projects of these objects by means of multicriteria analysis methods. Attention is paid to issues related to the interrelated emerging problems of decision-making in investment activities and analytical methods used to evaluate transport projects. The methodology of multi-criteria investment choice has already proved its usefulness in solving several problems related to transport, which makes it possible to directly involve stakeholders in the decision-making process and in a relatively new area of investment, that is the production of houseboats.

Keywords: houseboat, floating homes, multi-criteria analysis, selection criteria, investment choice.

Введение

В последнее время возрастает интерес инвесторов к проектам и строительству «домов на воде», появился спрос со стороны заказчиков на различные модели хаусботов, которые вписываются в окружающую среду и обеспечивают комфортный отдых. Архитекторы и градостроители по всему миру начинают выходить за традиционные рамки города, ориентируясь на строительство на воде как на один из ответов на снижение плотности населения внутри города, а также на разработку устойчивых к наводнениям проектов. Согласно отчету Всемирного банка, глобальный ущерб городам от наводнений может составить до 1 трлн долларов в год к 2050 году, если не будут приняты соответствующие меры [1].

В зарубежной практике использование плавучих домов является давней традицией, возникшей в начале XX века, широко распространено в Америке и странах Европы [2, 3, 4, 5], а также в Индии [6, 7], Юго-Восточной Азии [8] и других странах. Владельцы таких домов объединяются в «марины» («поселки», сообщества в прибрежной зоне, оборудованные необходимыми коммуникациями). Например, в городе Саусалито, штат Калифорния существует Ассоциация плавучих домов, состоящая из 400 хаусботов [9]. В Лондоне на начало 2022 года по данным Canal & River Trust¹ количество плавучих домов составляло 4274 [10].

Для российского судостроения это новое направление по массовому производству недорогих домов, отвечающих местной культуре и климату, которое имеет большие перспективы. Хаусбот может являться прототипом сборного доступного жилья, которое может быть адаптировано к потребностям заказчиков и собираться на месте из готовых компонентов.

Как правило, плавающие дома являются полнофункциональными и самодостаточными, оборудуются современными экологичными и энергоэффективными системами жизнеобеспечения, очистки отходов. Хаусбот представляет собой инновационную модель доступного жилья с минимальным потреблением энергии. Становятся востребованными новые решения как со стороны технических характеристик, так и дизайна, что вызывает необходимость изучения основных критериев, которыми руководствуются заказчики при выборе того или иного проекта хаусбота.

В наших предыдущих исследованиях разработан подход к выбору инвестиционных проектов, в том числе хаусботов, с помощью многокритериального анализа [11, 12, 13]. Для дальнейшего развития научного обоснования инвестиционного выбора предлагается система критериев, позволяющая инвестору выразить свои предпочтения при определении основных параметров проекта.

Методы

В качестве основы методологии исследования использован системный подход, применялись аналитические и статистические методы, в том числе системное моделирование, математические методы, кейс-анализ, контент-анализ, экономический и статистический анализ и другие. Источниками информации послужили нормативные акты по менеджменту качества, научные публикации и обзоры, отраслевые издания, проектная документация, данные официальной статистики, а также опросы заказчиков и интервью экспертов.

¹ Неправительственная организация, созданная в Великобритании для охраны и развития свыше 2000 миль внутренних водных путей, является преемницей государственной компании British Waterways.

Результаты

Опираясь на международные стандарты качества, необходимо использовать для оценки продукта (работы, услуги) обобщенные критерии удовлетворенности, эффективности и результативности². Данные критерии в настоящее время являются общепризнанными в науке и практике менеджмента. Однако для разных видов продукции состав этих критериев может значительно отличаться, что требует их отдельного рассмотрения и разработки. При этом нужно учитывать специфику продукции (в нашем исследовании – хаусбота).

Хаусбот (плавучий дом) – это сооружение, которое стоит или плавает на воде, полагаясь на вес и площадь погружения в качестве параметра нагрузки, совместимого с конструкцией. Этот дом может плавать или быть размещен на воде возле берега реки, озера или моря. Основание хаусбота может быть бетонным (дебаркадер), в виде баржи или понтонов-секций. В состав плавучего дома могут входить технические узлы и механизмы (двигатель, насосы, трубопроводы и т.д.), что делает его сложным техническим объектом, аналогичным пассажирскому судну.

В настоящее время существуют определенные нерешенные вопросы юридического статуса «домов на воде». Хаусбот не является недвижимостью, он может быть зарегистрирован в качестве маломерного судна в государственной инспекции по маломерным судам (ГИМС). Одним из требований является ограничение Кодекса внутреннего водного транспорта Российской Федерации³ (ст. 3) о максимальной длине маломерного судна до 20 м. Это оказывает влияние на проектирование объекта и ограничивает его размеры. Другим подходом является трактовка статуса такого сооружения как плавучего объекта, соответственно требуется его регистрация в Российском речном регистре (РРР) и в реестре администрации водного бассейна [14].

В зарубежном и российском сегменте судостроения существует множество проектов хаусботов, рассчитанных на различные потребности и возможности заказчиков. В ситуации инвестиционного выбора заказчик испытывает затруднения, не имея четких критериев для определения оптимального варианта инвестиционного проекта плавучего дома. В предыдущих исследованиях нами был обоснован комплексный подход в виде многокритериального выбора инвестиционного проекта [15, 16], который может быть применен и в данной ситуации для принятия инвестиционных решений.

Признавая рассматриваемый объект, с одной стороны, разновидностью пассажирского судна, с другой стороны, индивидуального жилого дома, необходимо учитывать эти особенности при разработке системы критериев инвестиционного выбора. С точки зрения пользователя наиболее важными являются критерии комфортабельности плавучего дома. Вопросам комфорта пассажирских круизных судов уделено большое внимание в работах Семина А.А., Беляева И.В. [17, 18, 19], Будницкого Ю.А., Пилипенко Г.П., Чукавина А.Г., Петухова В.С. [20] и других специалистов.

Семина А.А. придает большое значение уровню комфорта пассажирских помещений и соотношению цена-качество при его обеспечении. Также он подчеркивает, что комфортабельность является основой для определения остальных параметров пассажирского судна, оказывает первостепенное влияние на его технико-эксплуатационные показатели и должна учитываться при проектировании, начиная с

² ГОСТ Р ИСО 9000-2015

³ Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации от 07.03.2001 N 24-ФЗ (ред. от 14.03.2022)

эскизного проекта. При этом он отдельно рассматривает конструктивную и сервисную комфортабельность. Особенно подчеркивается, что при оценке необходимо учитывать «степень важности для пассажиров и влияние на уровень комфортабельности всего судна в целом» [17]. Семин А.А. и Беляев И.В. обращают внимание на показатели: удельная площадь помещений на одного пассажира, наличие устройств и систем, создающих благоприятные условия пребывания на судне и др. [18, 19]. Будницкий Ю.А. и коллектив авторов, представляющие традиционные подходы российского проектирования 1970-х – 1980-х годов выделяют физиологические и эмоциональные факторы, влияющие на уровень комфорта судна, отмечают важность сочетания этих факторов [20].

Отметим, что понятие комфортабельности близко, но не идентично понятию удовлетворенности. В соответствии с трактовкой, предлагаемой международными и российскими стандартами качества, под удовлетворенностью понимается мнение потребителей о той степени, в которой их требования к продукту были реализованы⁴. Таким образом, удовлетворенность в широком смысле определяет, насколько выполнены потребности и оправданы ожидания клиентов. Одним из аспектов данных требований (ожиданий) потребителей хаусботов и является комфортабельность.

Основываясь на суждениях экспертов и опросах потребителей (заказчиков), можно предложить следующий состав показателей оценки по обобщенному критерию «удовлетворенность» (рис. 1):

- А1 - удельная площадь жилищного пространства кают, кв. м/пасс.
- А2 - удельная площадь пространств общего пользования, кв. м/пасс.
- А3 - грузопместимость запасов провизии, кг/пасс
- А4 - этажность, наличие сходней с разных бортов, возможность купания, освещение на палубе, кладовые для дайвинг-оборудования, гидроцикла, лодки, освещение воды, баллы
- А5 - доступность маршрутов по габаритам и осадке судна, баллы
- А6 - уровень автоматизации, в том числе систем управления и безопасности, баллы
- А7 - скорость, км/ч

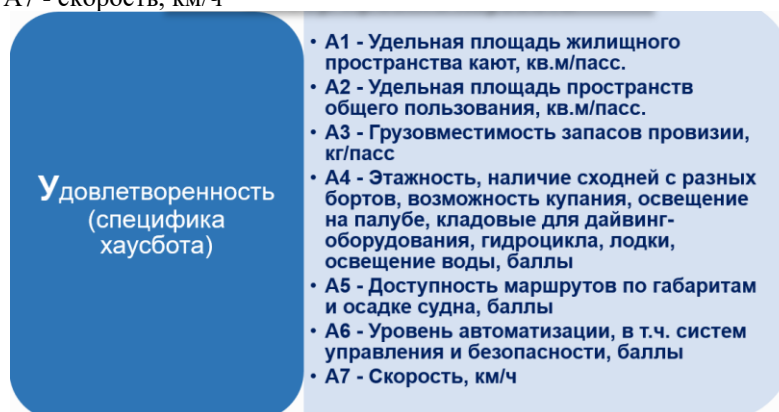


Рис. 1. Характеристики по обобщенному критерию «удовлетворенность» для выбора проекта хаусбота. Составлено авторами.

Необходимо отметить, что любой проект должен оцениваться также по параметрам эффективности путем соотношения затрат определенных ресурсов и

⁴ «ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Требования» (утв. Приказом Росстандарта от 28.09.2015 N 1391-ст) / URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_194941/ (Дата обращения 26.09.2022).

полученных результатов. Применительно к проектам плавучих домов под эффективностью можно понимать денежный поток, получаемый за определенный промежуток времени. Исходя из кривой жизненного цикла объекта, отметим критерии, характеризующие основные параметры результирующего денежного потока проекта (рис. 2).

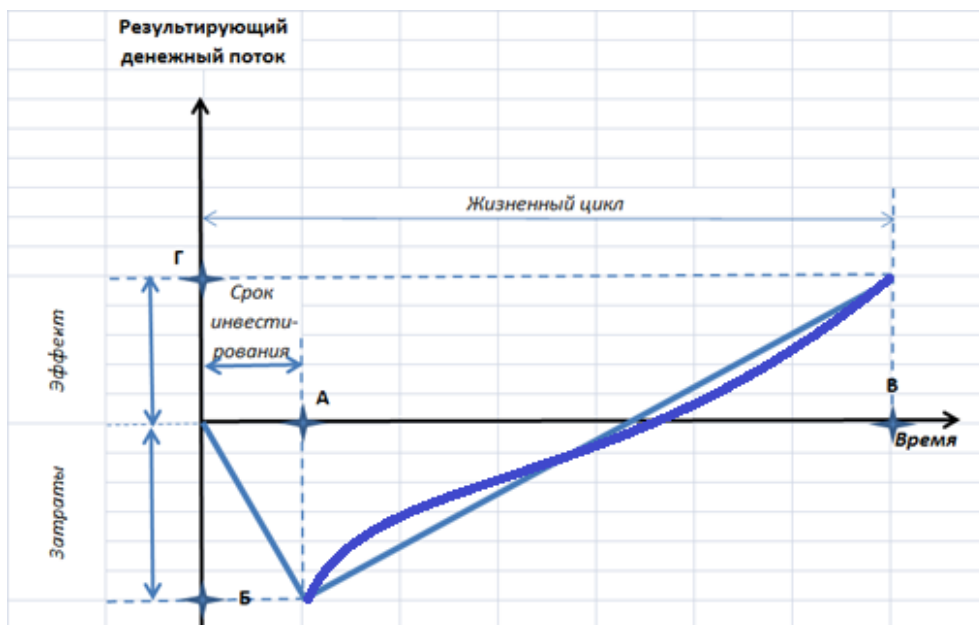


Рис. 2. Показатели, характеризующие денежный поток инвестиционного проекта хаусбота (обобщенный критерий «эффективность».)
Составлено авторами.

Критериями эффективности являются показатели:

- B1 - срок достижения результата (продолжительность периода инвестирования), лет
- B2 - стоимость инвестиционных вложений заказчика, руб.
- B3 - продолжительность жизненного цикла объекта (срок эксплуатации), лет
- B4 - экономический эффект, руб./пасс.

Для расчета экономического эффекта от покупки хаусбота (плавучего дома) предлагается рассматривать в качестве сравнения рынок гостиничных услуг. К примеру, один из вариантов анализа сценария может опираться на модель отдыха семьи из 4 человек в отеле на морском курорте. Таким образом имеется возможность получения репрезентативной выборки по актуальным рыночным предложениям. В данном случае отдых в гостинице с системой рейтинга «4 звезды» будет обходиться семье в диапазоне 80-170 тысяч рублей за 14 дней и ночей⁵.

При этом, выбирая хаусбот стоимостью 2800 тыс. рублей в личное пользование, владелец за аналогичный период окупит не менее 63 тыс. руб. (с учетом постоянного использования по 8 месяцев в году). Таким же образом можно искать сравнения с арендой яхт и глемпингов. В этом случае срок окупаемости будет существенно выше.

⁵ Использованы данные сайта гостиничных услуг <https://ostrovok.ru>.

Следует сказать, что вышеприведенные критерии эффективности являются универсальными для многих инвестиционных проектов, поскольку отражают общую логику инвестирования и интересы заказчика (инвестора) в рассматриваемом типе проектов (хаусботов).

Третьим обобщенным критерием инвестиционного выбора является результативность как обеспечение осуществления проекта в соответствии с ожиданиями потребителя или степень реализации поставленных целей. На этапе выбора инвестиционного проекта заказчик может определить, насколько реализуемый проект способен выполнить целевые установки. Чем менее существенными будут отклонения планируемого результата от ожидаемого, тем выше результативность проекта. В связи с тем, что хаусбот является сложным техническим объектом, результативность определяется параметрами, обеспечивающими его бесперебойную работу (рис. 3).

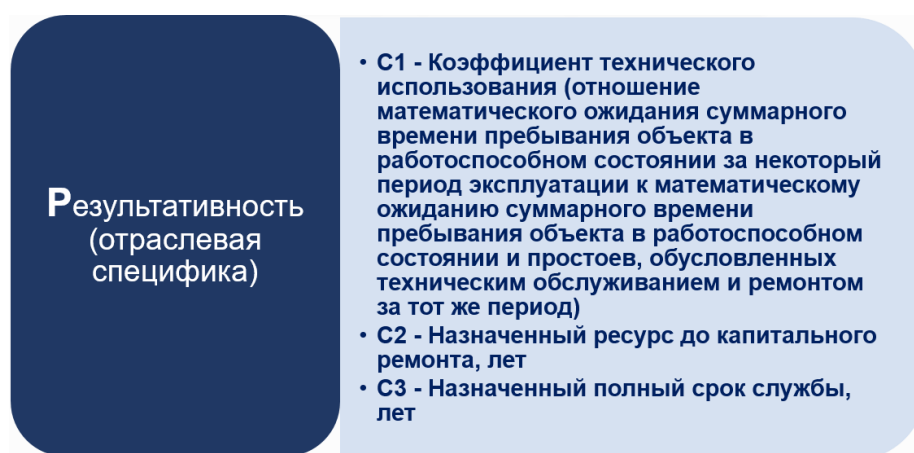


Рис. 3. Структурные составляющие обобщенного критерия «результативность» для выбора проекта хаусбота.
Составлено авторами.

Для более детального определения значений показанных выше критериев в группах А, В и С стоит рассмотреть различные варианты отечественных и зарубежных хаусботов (плавдомов). Однако, для более полной картины рынка также стоит разобрать данные критерии на примерах квартир, домов, туристических кемперов, яхт и др.

При этом учитывая, что хаусботы в большей мере разрабатываются как поднадзорные ГИМС, требуется сравнивать объемы помещений, с учетом габаритов судов - в пределах 20x15 метров с этажностью не более трех, а также с наличием цоколя/трюма. Таким образом, получается условная площадь для размещения всех помещений, любых устройств и оборудования не более чем 300 м² на один ярус. Толщина стен, перегородок и пр. условно не принимаются в расчет. Высота конструкции выбирается из стандартных требований СНиП и СанПиН к жилым помещениям, а также исходя из условий парусности и технологии строительства. На рисунке 4 показана схема условной модели хаусбота, которая имеет максимальные размеры и площадь не более чем 900 м². Данная модель является идеализированной и служит для сравнения.

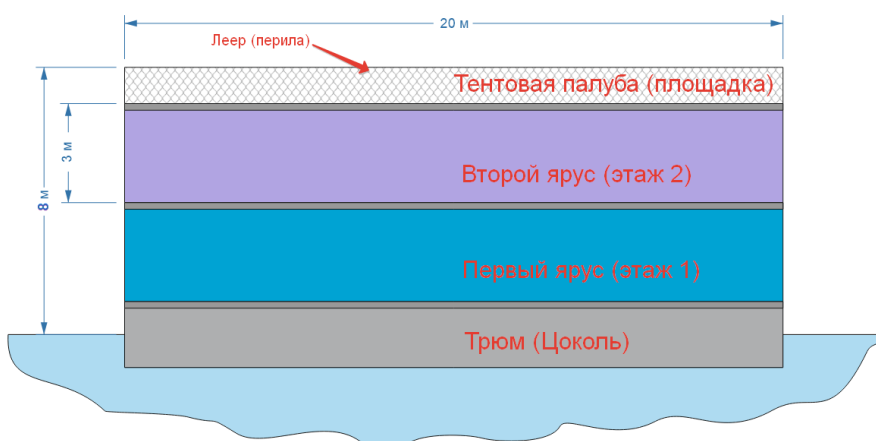


Рис. 4. Схема условной сравнительной модели хаусбота и других жилых объектов.
Составлено авторами.

По данным статистики и социальных исследований [21] известно, что на рынке недвижимости в РФ 73% россиян проживает в квартирах, остальные в частных домах, при этом из многоквартирных домов основные 39% занимают двухкомнатные квартиры (48 м.кв.), 28% - трехкомнатные квартиры (65 м.кв). Соответственно жилье с площадью более 80 м.кв. относится к категории «повышенная комфортность» и стремится к категории «роскошь». По этим данным также можно судить о покупательной способности населения на рынке недвижимости. Например, стоимость по официальным данным 1 м.кв. жилья в Нижегородской области г. Нижний Новгород за второй квартал 2022 года приведена в таблице 1.

Таблица 1

Данные о стоимости жилья в г. Нижнем Новгороде за второй квартал 2022 г. руб./м.кв.

Наименование	Первичный рынок	Вторичный рынок
г. Нижний Новгород	146413	133050
г. Авзамас	97034	103414
г. Лзержинск	88425	75998

Аналогичные зависимости можно выстроить и по рынку недвижимости среди частных домов, садовых строений и др. Очевидно, что на стоимость влияют факторы сезонности использования жилья, наличие инженерных сетей и постоянство обслуживания. В случае садовых строений (дач) и хаусботов (плавучих дач) данные факторы нивелируются сознательным выбором условий обитания и, тем самым, снижают конечную стоимость.

В таблице 2 показано сравнение различных объектов и применимость групп критериев «Удовлетворенность», «Эффективность», «Результативность» для разных параметров, также даны сравнения по стоимости 1 м.кв. Такой подход дает возможность рассматривать разные объекты со схожим функционалом жилых пространств, специальных помещений и других элементов и определять предпочтительность выбора исходя из затрат на покупку. Например, стоит отметить, что такие параметры как основные и гостевые помещения определяют удобство использования жилого пространства и могут характеризоваться количеством комнат, наличием кухонь, санузлов, гардеробных и пр. А специальные помещения

раскрываются как пространства под инженерные системы, кладовые, помещения отдыха и спорта, мастерские, гаражи.

Таблица 2

Пример сравнения объектов с целью определения предпочтения

Садовый/летний дом	Параметр / Площадь	20	50	100	200	X	от 20000 руб/м.кв.
	Основные помещения	A1, A2					
	Спец. Помещения	A3, A6					
	Наличие гостевых комнат	A1, A2					
	Этажность	A4					
	Ресурс (С1,С2,С3)	Нет четких регламентов (от 15 лет)					
	Стоимость жилья,тыс. руб	>500	>1000	>2200	>4000	X	
Плавающий дом / Хаусбот	Параметр / Площадь (общая)	50	100	200	400	800	от 45000 руб/м.кв.
	Основные помещения	A1, A2					
	Спец. Помещения	A3, A6					
	Наличие гостевых комнат	A1, A2					
	Этажность	A4					
	Ресурс (С1,С2,С3)	Согласно заявленного в проектной документации (25-50 лет)					
	Стоимость плавсооружения	>1500	>2600	>5500	>9000	>14000	
Частный дом	Параметр / Площадь	50	100	200	400	800	от 55000 руб/м.кв.
	Основные помещения	A1, A2					
	Спец. Помещения	A3, A6					
	Наличие гостевых комнат	A1, A2					
	Этажность	A4					
	Ресурс (С1,С2,С3)	Определяется ГОСТ 27751-2014 (более 50 лет)					
	Стоимость жилья, тыс. руб	>3500	>7500	>8500	>10000	>20000	
Квартира	Параметр / Площадь	20	50	80	100	150	от 72000 руб/м.кв.
	Основные помещения	A1, A2					
	Спец. Помещения	A3, A6					
	Наличие гостевых комнат	A1, A2					
	Ресурс (С1, С2,С3)	Определяется ГОСТ 27751-2014 (более 50 лет)					
	Стоимость жилья, тыс. руб	>2200	>3700	>5600	>7500	>13000	
Кемпер-прицеп	Параметр/тип	до 750кг	В класс	Средний размер	Прос-торные	Люкс	от 110000 руб/м.кв.
	Жилое пространство	A1, A2					
	Удобства (кухня, с/узел, проч)	A3, A6					
	Дополнительные опции	A4					
	Автономность, проходимость	A3, A4, A5, A6					
	Ресурс (С1,С2,С3)	Согласно статье 258 НК (срок службы 3-5лет)					
	Стоимость кемпера	>500	>1000	>2000	>5500	>10000	

Данная таблица отражает рынок жилья и транспорта на 3 квартал 2022 года, при этом стоимости недвижимости даны с пометкой «От». Данные взяты с электронных ресурсов⁶ для Нижнего Новгорода и учитывают вторичный рынок недвижимости.

Заключение

Полученные результаты по формированию критериев хаусботов позволяют перейти к формализации процесса выбора в изучаемой области. Дальнейшие исследования целесообразно проводить путем построения модели многокритериального выбора инвестиционного проекта плавучего дома с учетом интересов заказчика и других заинтересованных сторон, используя модифицированный метод анализа иерархий как общепризнанный метод принятия альтернативных решений в условиях влияния многих факторов. Принятие решений посредством использования многокритериального анализа очень важно, поскольку оно помогает определить и проанализировать приоритеты заинтересованных сторон, повышает уровень принятия решений, их устойчивость и качество.

Список литературы

1. Floating homes: a solution to flooding, crowded cities and unaffordable housing / <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2016/oct/29/floating-homes-architecture-build-water-overcrowding-cities-unaffordable-housing> (Дата обращения 25.09.2022)
2. Houseboats on Inland Waterways, by L. O. NEED, Town Clerk, Lincoln/ The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health, 1930. Vol. 51, i. 11, pp. 581-585 <https://doi.org/10.1177/146642403005101101>
3. Augustyn A. Houseboat. / URL: <https://www.britannica.com/technology/houseboat> (Дата обращения 25.09.2022).
4. Conder R. Handmade Houseboats: Independent Living Afloat. London: International Marine / Ragged Mountain Press. 1992, 240 p.
5. Flesche F., Burchard C. Water House. New York: Prestel Publisher. 2005, 140 p.
6. Gupta R., Narayan K. S., Sharma S., Sunny R. WudStay and the Houseboat Sector in India / Asian Case Research Journal, 2019. No. 23 (01), pp. 91-117 <https://doi.org/10.1142/S0218927519500044>
7. Jose J., Aithal P. S. A Study on Significance of Backwater Tourism and Safe Houseboat Operation in Kerala / International Journal of Management, Technology, and Social Sciences, 2020. Vol. 5, No. 2, pp. 133-140 <http://doi.org/10.5281/zenodo.4007485>
8. Mapjabil J., Rashid Nurul F.A., Marzuki M. Houseboat services and its features as a tourist attraction in Tasik Kenyir, Terengganu / Journal of Tourism Hospitality and Environment Management, 2021. No. 6 (24), pp. 71-86 <https://doi.org/10.35631/JTHEM.624007>
9. Devon T. The Guide to Floating Homes and Houseboats / URL: <https://realestate.usnews.com/real-estate/articles/the-guide-to-floating-homes-and-houseboats> (Дата обращения 25.09.2022).
10. Green N. Can I buy a houseboat? The pros and cons / URL: <https://www.unbiased.co.uk/life/homes-property/can-i-buy-a-houseboat-the-pros-and-cons> (Дата обращения 29.09.2022).
11. Гордлеев С.Д., Трухинова О.Л., Тихонов В.И. Разработка системы критериев хаусботов с целью обоснования инвестиционного выбора / Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 71 (2). – С. 98-109.
12. Гордлеева И.Ю., Гордлеев С.Д., Никитаев И.В., Обзор импортозамещения на рынке хаусботов и предложение по выбору силового агрегата с применением гидроприводов // Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 68. С. 40-58. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.212>

⁶ <https://www.gipernn.ru/>, <https://kemperus.ru/>, <https://www.avito.ru/>

13. Железнов С.В., Трухинова О.Л. Иерархическая модель обоснования стратегии, политики и успешного выбора в процессе конкурентного способа размещения заказа // Экономика и предпринимательство. 2012. № 5 (28). С. 401-409.
14. Михайлов Р.А. Жильё на воде - споры и проблемы / «Жилищное право», 2022. URL: <https://www.9111.ru/questions/777777772003629/> (Дата обращения 25.09.2022)
15. Трухинова О.Л. Формирование системной оценки удовлетворенности потребителей в процессе инвестиционного выбора круизного судна / Научные проблемы водного транспорта. – 2019. – № 61. – С. 152-162.
16. Щепетова С. Е., Трухинова О.Л. Организация взаимодействия участников инвестиционного процесса на основе системного обоснования многокритериального выбора / МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2021. – Т. 12. – № 2. – С. 114–126.
17. Семин, А.А. Основы теории комфортабельности пассажирского судна / Интернет-портал «INFOFLOT.RU» / URL: <https://infoflotforum.ru/topic/22797-%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F-%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%84%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8-%D0%BF%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0%D0%B6%D0%B8%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%81%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B0/> (Дата обращения 25.09.2022)
18. Семин, А. А. Речной круизный флот: перспективы и современность / А.А. Семин // Газета «Флот и круизы». – 2006. – № 28. – С. 13-15.
19. Беляев И.В., Семин А.А., Повышение комфортабельности круизных судов, как фактор роста их конкурентоспособности // Транспортное дело России. 2009. №2. С. 28-31
20. Будницкий, Ю.А. Морские пассажирские суда / Ю.А. Будницкий, Г.П. Пилипенко, А.Г. Чукавин, В.С. Петухов. – Л.: Судостроение. – 1989. – 221 с.
21. Демидова И. Где и как живут россияне сегодня. URL: <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2018/05/16/769674-rossiyane-menyayut> (Дата обращения 08.10.2022).

References

1. Floating homes: a solution to flooding, crowded cities and unaffordable housing / <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2016/oct/29/floating-homes-architecture-build-water-overcrowding-cities-unaffordable-housing> (accessed: 25.09.2022)
2. Houseboats on Inland Waterways, by L. O. NEED, Town Clerk, Lincoln/ Журнал: The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health. 1930. Том 51, выпуск 11, стр. 581-585 <https://doi.org/10.1177/146642403005101101>
3. Augustyn A. Houseboat. / URL: <https://www.britannica.com/technology/houseboat> (accessed: 25.09.2022).
4. Conder R. Handmade Houseboats: Independent Living Afloat. London: International Marine / Ragged Mountain Press. 1992, 240 p.
5. Flesche F., Burchard C. Water House. New York: Prestel Publisher. 2005, 140 p.
6. Gupta R., Narayan K. S., Sharma S., Sunny R. WudStay and the Houseboat Sector in India / Asian Case Research Journal, 2019. No. 23 (01), pp. 91-117 <https://doi.org/10.1142/S0218927519500044>
7. Jose J., Aithal P. S. A Study on Significance of Backwater Tourism and Safe Houseboat Operation in Kerala / International Journal of Management, Technology, and Social Sciences, 2020. Vol. 5, No. 2, pp. 133-140 <http://doi.org/10.5281/zenodo.4007485>
8. Mapjabil J., Rashid Nurul F.A., Marzuki M. Houseboat services and its features as a tourist attraction in Tasik Kenyir, Terengganu / Journal of Tourism Hospitality and Environment Management, 2021. No. 6 (24), pp. 71-86 <https://doi.org/10.35631/JTHEM.624007>
9. Devon T. The Guide to Floating Homes and Houseboats / URL: <https://realestate.usnews.com/real-estate/articles/the-guide-to-floating-homes-and-houseboats> (accessed: 25.09.2022).
10. Green N. Can I buy a houseboat? The pros and cons / URL: <https://www.unbiased.co.uk/life/homes-property/can-i-buy-a-houseboat-the-pros-and-cons> (accessed: 29.09.2022).

11. Gordeev S.D., Trukhinova O.L., Tikhonov V.I. *Razrabotka sistemy kriteriyev khausbotov s tsel'yu obosnovaniya investitsionnogo vybora* [Development of a system of criteria for houseboats in order to justify the investment choice / Scientific problems of water transport] *Nauchnyye problemy vodnogo transporta*. 2022. No. 71 (2). pp. 98-109. (In Russ).
12. Gordeeva I.Yu., Gordeev S.D., Nikitaev I.V. *Obzor importozameshcheniya na rynke khausbotov i predlozhenie po vyboru silovogo agregata s primeneniem gidroprivodov* [Overview of import substitution in the houseboat market and a proposal for choosing a power unit using hydraulic drives] *Russian Journal of Water Transport*. 2021. No. 68. pp. 40-58. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.212> (In Russ).
13. Zhelezov S.V., Trukhinova O.L. *Ierarkhicheskaya model' obosnovaniya strategii, politiki i uspehnogo vybora v protsesse konkurentnogo sposoba razmeshcheniya zakaza* [Hierarchical model of justification of strategy, policy and successful choice in the process of competitive method of placing an order] // *Ehkonomika i predprinimatel'stvo*. 2012. No. 5 (28). pp. 401-409. (In Russ).
14. Mikhaylov R.A. *Zhil'yo na vode - spory i problemy* [Housing on the water - disputes and problems] «*Zhilishchnoye pravo*», 2022. URL: <https://www.9111.ru/questions/777777772003629/> (accessed: 29.09.2022). (In Russ).
15. Trukhinova O.L. *Formirovaniye sistemnoy otsenki udovletvorennosti potrebiteley v protsesse investitsionnogo vybora kruiznogo sudna* [Formation of a system assessment of consumer satisfaction in the process of investment choice of a cruise ship] *Nauchnyye problemy vodnogo transporta*. 2019. No. 61. pp. 152-162. (In Russ).
16. Shchepetova S.E., Trukhinova O.L. *Organizatsiya vzaimodeistviya uchastnikov investitsionnogo protsessa na osnove sistemnogo obosnovaniya mnogokriterial'nogo vybora* [Organization of interaction of participants in the investment process on the basis of a system justification of a multi-criteria choice] // *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie)*. 2021. Vol. 12. No 2. pp. 114-127. (In Russ).
17. Semin, A.A. *Osnovy teorii komfortabel'nosti passazhirskogo sudna* [Fundamentals of the theory of passenger ship comfort] Internet-portal «*INFOFLOT.RU*» / URL: <https://infoflotforum.ru/topic/22797-%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F-%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%84%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8-%D0%BF%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0%D0%B6%D0%B8%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%81%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B0/> (accessed: 29.09.2022). (In Russ).
18. Semin, A. A. *Rechnoy kruiznyy flot: perspektivy i sovremennost'* [River cruise fleet: prospects and modernity] *Gazeta «Flot i kruizy»*. 2006. No 28. pp. 13-15. (In Russ).
19. Belyaev I.V., Semin A.A. *Povyshenie komfortabel'nosti kruiznykh sudov, kak faktor rosta ikh konkurentosposobnosti* [Increasing the comfort of cruise ships as a factor in the growth of their competitiveness] *Transport business of Russia*. 2009. No. 2. pp. 28-31. (In Russ)
20. Budnitskiy Y.A. *Morskiye passazhirskie suda* [Marine passenger ships]. – L.: Sudostroyeniye. – 1989. – 221 s. (In Russ).
21. Demidova I. *Gde i kak zhivut rossiyanе segodnya*. URL: <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2018/05/16/769674-rossiyane-menyayut> (accessed: 08.10.2022). (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гордлеев Сергей Дмитриевич, Начальник УНИИД, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: gordleev@vsawt.com

Sergey D. Gordleev, Head of UNIID, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: gordleev@vsawt.com

Трухинова Ольга Леонидовна, к.э.н., доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и финансов, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951,

Olga L. Trukhinova, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Accounting, Analysis and Finance Volga State University of Water Transport

г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5; старший преподаватель кафедры системного анализа в экономике, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 125993 (ГСП-3), г. Москва, Ленинградский просп., 49, e-mail: truhinova@mail.ru

(VSUWT), 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951; Senior lecturer of the Department of System Analysis in Economics Financial University under the Government of the Russian Federation, 49, Leningradsky prospect, Moscow, Russia, 125993, e-mail: truhinova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.10.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 11.10.2022; published online 20.12.2022.

УДК 332.1

DOI:10.37890/jwt.vi73.320

Влияние пандемии на морской транспорт Дальневосточного региона

Е.А. Заостровских

ORCID: 0000-0002-7447-0406

Институт экономических исследований ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

Аннотация: Действующая пандемия нанесла серьёзный удар по мировому рынку транспортно-логистической системы. С закрытием границ, резким снижением спроса на товары, ростом курса доллара заметно снизился объём грузопотока на локальном и мировом уровнях. Привычные логистические схемы в условиях пандемии перестали действовать, а многие логистические компании оказались на грани экономического краха. Морской транспорт один из первых пострадал от пандемии. Работая в сложных условиях и ограничениях, он продолжал выполнять свои функции по перевозке грузов и пассажиров. Однако масштаб пандемии на морском транспорте Дальневосточного региона до сих пор не определён, а его последствия полностью не изучены. В этой связи исследованы закономерности развития портовой индустрии и судоходства Дальневосточного региона в допандемийный и пандемийный периоды. Изучены негативные последствия влияния пандемии на морской транспорт, рассмотрены причины «удлинения» сроков проектов, сокращения количества судохода в порты, а также изучены проблемы снижения пассажирских перевозок, в том числе круизного судоходства. Сделан вывод о том, что пандемия в большей степени оказала косвенное, чем прямое влияние на морской транспорт Дальневосточного региона.

Ключевые слова: пандемия, морской транспорт, морские порты, тенденции, Дальний Восток.

The impact of the pandemic on the maritime transport of the Far Eastern region

Elena. A. Zaostrovskikh

ORCID: 0000-0002-7447-0406

Economic Research Institute FEB RAS, Khabarovsk, Russia

Abstract. The current pandemic has dealt a serious blow to the global market of the transport and logistics system. With the closure of borders, a sharp decline in demand for goods, the growth of the dollar, the volume of cargo traffic at the local and global levels has significantly decreased. The usual logistics schemes in the conditions of the pandemic ceased to operate, and many logistics companies were on the verge of economic collapse. Maritime transport was one of the first to suffer from the pandemic. Working under difficult conditions and restrictions, it continued to carry out its functions for the transportation of goods and passengers. However, the scale of the pandemic in the maritime transport of the Far Eastern region has not yet been determined, and its consequences have not been fully studied. In this regard, the regularities of the development of the port industry and shipping in the Far Eastern region during the pre-pandemic and pandemic periods have been investigated. The negative consequences of the impact of the pandemic on maritime transport have been studied, the reasons for the "extension" of project deadlines, reducing the number of ship trips to ports, and the problems of reducing passenger traffic, including cruise shipping, have

been studied. It is concluded that the pandemic has had an indirect rather than a direct impact on the maritime transport of the Far Eastern region.

Keywords. pandemic, maritime transport, seaports, trends, the Far East.

Введение

Начиная с 2000 г. морской транспорт Дальневосточного региона развивается в рамках стратегических целей страны – укрепление позиций России на Тихом океане и формирование конкурентных преимуществ на международном рынке транспортных услуг. В своё время исключительную роль в этом сыграли последовательно принятые федеральные законы⁷, которые направлены на привлечение крупных частных инвестиций и снижение торговых барьеров. Наряду с этим последние десять лет экономика России непрерывно перетекает из одного кризиса в другой. В этом ключе был представлен достаточно большой «пул» исследований относительно причин появления кризисов, в том числе в Дальневосточном регионе [1]. Созданные преференции для укрепления экономического положения региона с одной стороны, увеличили рост экспорта грузов, с другой стороны, кризисные явления способствовали увеличению инфраструктурных диспропорций, которые стали приводить к непроизводительным простоям морского транспорта, срыву поставок грузов и росту цен на товары [2].

Для устранения обозначенных проблем в 2018 г. утверждён Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры⁸, который направлен на частичное преодоление инфраструктурных диспропорций. А в 2021 г. утверждена «Транспортная стратегия РФ на период до 2035 года»⁹, которая направлена в том числе на сбалансированное развитие эффективной транспортной инфраструктуры для обеспечения устойчивого экономического роста и территориальной связанности страны. Таким образом, длящаяся уже более трёх лет пандемия заставляет по-новому взглянуть на работу морского транспорта Дальневосточного региона в условиях жёстких ограничений.

Методы

Методологической основой исследования явились общенаучные методы, такие как формализация, группировка, анализ, синтез и сравнение. Информационной базой исследования послужили данные Росстата, отраслевых научных отчётов, а также мнения экспертов, специализирующихся в области транспорта.

В качестве параметров исследованы основные показатели работы морского транспорта: грузооборот и контейнерооборот портов, судозаход, объём перевозки пассажиров, мощности портов, объём инвестиций. Исследован восьмилетний период, где выделены: допандемийный период (2014-2019 гг.) и пандемийный период (2020-2021 гг.).

⁷ О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. ФЗ от 8 ноября 2007 г. № 261; О внесении изменений в ФЗ «О территориях опережающего социально-экономического развития в РФ» (федеральный закон № 252-ФЗ от 3 июля 2016 г.); О свободном порте Владивосток (ФЗ № 212-ФЗ от 13 июля 2015 г.).

⁸ Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. Распоряжение Правительства РФ от 30.09.2018 г. №2101-р.

⁹ ФЦП «Развитие транспортной системы России 2010–2021 годы»: постановление Правительства РФ от 20.05.2008 г. № 377; «Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года»: постановление Правительства РФ от 22.10.2008 г. № 1734-р.

Характеристика морского транспорта Дальневосточного региона

Дальневосточный регион по праву считается морским регионом страны, так как семь из одиннадцати субъектов имеют выход к морю (рис. 1). Морской транспорт является значимым в перевозке грузов и пассажиров внутрирегионального, межрегионального и международного назначения. Кроме того, морской транспорт является единственным средством доставки грузов в северные районы региона.



Рис. 1. Морской транспорт Дальневосточного региона
Источник: карта выполнена Хижняком В.Д. (ИЭИ ДВО РАН) по данным автора.

Особенности развития морского транспорта Дальневосточного региона формируются в условиях его территориальной специфики:

- большая по протяжённости морская береговая линия – 17,7 тыс. км (48% от береговой линии страны);
- наличие труднодоступных и островных территорий, которые нуждаются в регулярном транспортном сообщении;
- слабо развитая наземная транспортная инфраструктура;
- территориальная близость региона с ёмкими рынками Китая, Республики Корея и Японии, которые обуславливают торговую ориентацию на эти страны.

Все эти условия, безусловно, способствуют активному развитию морского транспорта в Дальневосточном регионе.

Особую роль в регионе играют морские порты. Их количество составляет 42% от всех портов страны (или 28 из 67 действующих). Большинство из них имеет международный статус, что способствует их активному развитию. При этом в каждом субъекте региона морские порты функционируют в разной степени. Например, в Республике Саха (Якутия) порт Тикси фактически утратил своё значение, а в Приморском и Хабаровском краях морские порты набирают интенсивные обороты.

Особенность морских портов региона заключается в межрегиональном транзите, который составляет более 70% от общего объёма грузооборота. Крупнейшие операторы транспортных услуг – порты Восточный, Владивосток, Находка, Ванино, Посыет перерабатывают более 80% от общего количества грузов. Наибольший удельный вес в структуре грузовых перевозок занимают грузы международного значения – нефть, уголь лес и пиломатериалы, цветные и черные металлы, глинозём, грузы в контейнерах, автотехника, металлолом.

Морские перевозки осуществляют более 400 предприятий различных форм собственности. Лидирующие судоходные компании (Дальневосточное морское пароходство, Приморское морское пароходство, и Сахалинское морское пароходство) перевозят основной объём грузов различного назначения. Дальневосточное морское пароходство входит в тройку крупнейших российских судоходных компаний, уступая место только ПАО «Совкомфлот» и ПАО «Новошип». В свою очередь, Приморское морское пароходство находится в трудном финансовом состоянии в 2016 г.

Сдерживающими факторами в развитии морского транспорта по-прежнему являются: наличие узких мест на подходах к портам со стороны железной дороги и автомобильных дорог; неудовлетворительное техническое состояние портовых сооружений и оборудования; дефицит обслуживающего флота в портах; низкая скорость обработки грузов; устаревшие организационные структуры; сложная процедура таможенного оформления грузов; низкий уровень инноваций и новых портовых технологий.

Результаты исследования

Допандемийный период

В период с 2014-2019 гг. морской транспорта Дальневосточного региона развивался относительно стабильно. Объём перевозки грузов морским транспортом сохранялся на уровне 6-8 млн т, а объём грузооборота портов увеличился на 52,1 млн т и достиг 214,6 млн т (рис. 2).

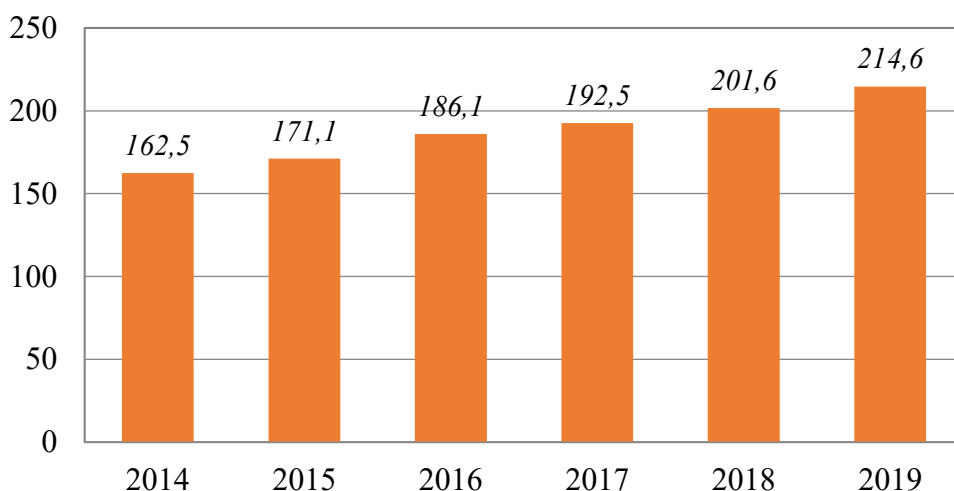


Рис. 2. Грузооборот морских портов Дальневосточного региона, млн т
 Источник: Статистические данные АО «ДНИИМФ»

В целом отмечалось ускорение темпов роста грузооборота портов, которые составили рекордные 6,4% в 2019 г. Считается, что это второй наилучший показатель за исследуемый период. Первый (8,8%) был зафиксирован в 2016 г., когда повысился спрос на уголь в странах Азии и грузопоток в восточном направлении впервые превысил западное направление страны.

Лидирующие порты Дальневосточного региона обеспечили себе загрузку благодаря экспорту угольных грузов, табл. 1.

Таблица 1

Грузооборот лидирующих портов региона, %

Порт / Регион	2014	2017	2018	2019
Всего	100	100	100	100
Пять лидирующих портов	84	82	78	80
Восточный* (Приморский край)	33	36	32	34
Ванино (Хабаровский край)	16	15	15	15
Находка (Приморский край)	13	13	12	12
Владивосток (Приморский край)	10	9	11	11
Пригородное (Сахалинская обл.)	11	9	8	7

Источник: Составлено на основе данных Министерства транспорта РФ

Кроме того, четыре порта региона на протяжении исследуемого периода входят в список 10-ти крупнейших портов России. По результатам 2019 г. Восточный занял 3-е место (73,5 млн т), Ванино – 7-е место (31,4 млн т), Находка – 9-е место (25,6 млн т). Это факты говорят о том, что порты Дальневосточного региона укрепляют свои позиции на российском портовом рынке.

В этот период в рамках угольной специализации в регионе появились небольшие угольные терминалы, которые за год вышли с нулевого грузооборота на 3-5 млн т [3]. Также были модернизированы действующие крупные угольные терминалы: мощности порта Шахтёрск приросли на 4 млн т, Ванино – на 12 млн т. В результате

угольной специализации ужесточились правила по перевалке «пылящих и грязных грузов» в порту, что привело к удорожанию угольных проектов. Например, стоимость проекта «Север» увеличилась с 10,8 до 13 млрд руб.

Другую тенденцию в регионе имели перевозки пассажиров морским транспортом. Объём их перевозки сократился на 25% и в 2019 г. составили 0,7 млн человек. Причиной этого снижения выступили: ограниченный платёжеспособный спрос населения, высокая стоимость строительства и эксплуатации пассажирских судов, разрушенная береговая инфраструктура, предназначенная для обслуживания морских пассажирских перевозок, а также повышение цен на судовое топливо.

В свою очередь, морской круизный туризм в этот же период интенсивно развивался, поскольку получил особую популярность среди туристов стран Азии. Только за период с 2014 по 2019 гг. количество захода круизных судов в порты Дальневосточного региона выросло с 14 до 47 единиц, а число туристов увеличилось с 23,6 тыс. до 54,5 тыс. человек, табл. 2.

Таблица 2

Количество заходов круизных лайнеров и их туристов в морские порты Дальневосточного региона

Порты	Ед. изм.	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Всего	ед. судов	14	15	11	19	2	47
	тыс. чел.	23,6	17,1	7,2	13,6	20,8	54,5
Петропавловск-Камчатский	ед. судов	2	6	3	4	12	20
	тыс. чел.	0,3	1,9	2,2	0,6	12,8	19,5
Корсаков	ед. судов	12	5	8	-	3	8
	тыс. чел.	23,3	10,5	5,0	-	6,7	14,0
Владивосток	ед. судов	-	4	-	15	6	19
	тыс. чел.	-	4,6	-	13,0	1,3	35,0

Источник: Отчётные данные Статистические данные ОАО «СахМП»

В основном круизный туризм сконцентрирован в южной части региона. Морские маршруты формируются из портов Корсаков и Владивосток с выходом на Курилы, Камчатку, Чукотку, Командорские острова, Магадан и остров Врангеля. В рамках формирования трансграничного бренда «Восточное кольцо России» планируется создать единое круизное пространство для дальнейшего сотрудничества со странами Азии [4].

В целом круизный туризм Дальневосточного региона имеет необходимые предпосылки для дальнейшего развития. Это, прежде всего, большая по протяжённости морская береговая линия; наличие островных и отдалённых территорий; близость региона к ёмкому рынку Азии; культурно-историческое наследие; возможность развивать новые экологические маршруты [5]. Однако одной из главных проблем его устойчивого развития является: отсутствие собственного круизного флота, слаборазвитая портовая инфраструктура, а также отсутствие надлежащей организации операций по эффективному и надёжному размещению круизных судов.

Пандемийный период

В период пандемии морские порты не поддались её влиянию, как ожидалось в самом начале. Их грузооборот в пандемийный период стабильно рос: 2020 г. – 223,2 млн т; 2021 г. – 224,3 млн т. Отчасти такой рост был обеспечен тем, что продолжилось переключение российских грузов с Запада на Восток. Анализ структуры грузооборота портов показал, что она практически сохранилась на уровне 2019 г., табл. 3. Исключение составил экспорт навалочных грузов, доля которых увеличилась на 3,3 п.п. за счёт экспорта угля.

Таблица 3

Структура грузооборота портов, %

Показатели	Всего	Экспорт	Импорт	Каботаж
2019				
Всего	100,0	87,6	3,1	9,3
Наливные	34,9	32,9	-	2,1
Навалочные	50,4	48,0	0,5	1,9
Генеральные	12,7		5,2	2,7
Лесные	1,9	1,5	-	0,4
2021				
Всего	100,0	90,0	2,7	7,3
Наливные	33,3	31,0	-	2,3
Навалочные	53,8	51,5	0,5	1,8
Генеральные	12,2	6,9	2,2	3,1
Лесные	0,7	0,6	-	0,1

Источник: Статистические данные АО «ДНИИМФ»

Рост экспорта угля позволил увеличить налоговые отчисления. Так, например, в 2021 г. порт Восточный стал одним из крупных налогоплательщиков региона, перечислив 3,6 млрд руб. в бюджеты разных уровней.

В то же время уголь вызвал дефицит пропускной способности Восточного полигона. По оценкам экспертов дефицит составляет от 70-100 млн т [6]. При этом в портах образовался профицит в объёме 50 млн т [7]. А в отношении предстоящих объёмов отправок угля на экспорт в нынешней ситуации сложилась полная неопределённость [8]. Таким образом, создавалась ситуация, при которой развитие железных дорог не поспевает за развитием объектов портовой инфраструктуры.

Наряду с этим выстроилась цепочка последовательных негативных событий: угольная специализация портов оказывает влияние на экологию и, как следствие, способствует росту оттока населения, что может создать конфликт интересов между населением, бизнесом и региональной властью [9; 10].

Из-за того, что пандемия нарушила действующую глобальную логистику, активное развитие получили альтернативные маршруты, что вызвало рост объёма перевалки контейнеров в портах Дальневосточного региона: 2019 г. – 1,4 млн TEU; 2020 – 1,5 млн TEU; 2021 г. – 1,8 млн TEU. Но самым загруженным в регионе оказался порт Владивостокский. Его основной проблемой при интенсивном росте контейнеров стала стыковка грузов в цепочке «порт – железная дорога», где наблюдается вынужденный технологический простой с двух сторон.

Если в грузообороте портов наблюдалась положительная динамика, то в работе логистической цепочки отмечались сбои практически на всех её звеньях. В апреле 2020 г. появились проблемы с заменой экипажей, нарушение графиков морских перевозок, точечные карантинные в морских портах из-за введённых новых санитарных правил.

Поэтому в морских портах региона можно было наблюдать две разнонаправленные тенденции: сокращение количества судозаходов в порты и рост грузооборота. Так, например, в порту Ванино грузооборот увеличился на 6,5%, а число судозаходов в порт сократилось на 8%. Основное снижение пришлось первое на полугодие 2020 г. Оно было вызвано ограничением движения морских судов в странах АТР из-за пандемии, рис. 3.

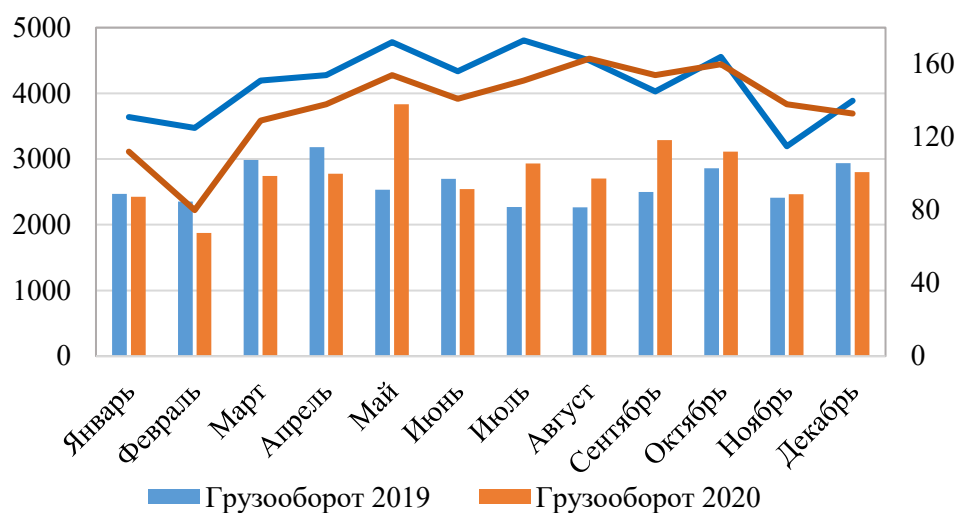


Рис. 3. Показатели порта Ванино
 Источник: АМП Охотского моря и Татарского пролива

Дефицит железных дорог Восточного полигона и нехватка портов, способных принимать контейнеровозы привели к скоплению больших партий грузов в каботажном направлении, возникли проблемы с северным завозом и начался дефицит товаров в отдалённых регионах (Магадан, Чукотка и проч.). В ноябре 2021 г. в ожидании отправки на о. Сахалин в порту Владивосток скопилось 1604 TEU, из них 76 – социально-значимые грузы [11].

Большое влияние пандемии отразилось также на пассажирских перевозках. По данным Сахалинского морского пароходства пассажирские перевозки в этот период снизились на 13%, рис. 4.

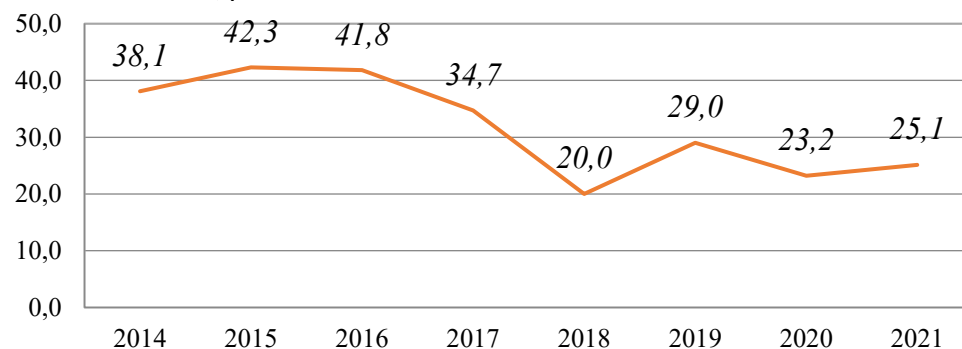


Рис. 4. Перевозки пассажиров ОАО «СахМП», тыс. человек
 Источник: Отчётные данные ОАО «СахМП»

В свою очередь, морской круизный туризм в регионе практически прекратил своё развитие. Из-за пандемии в 2021 г. было отменено около 40 круизных судов: Владивосток – 15, Корсаков – 10, П.– Камчатский – 15. Безусловно, введённые ограничения приводят к ощутимой потере дохода круизных компаний.

Вероятно, что новые санитарные протоколы и новые условия обслуживания круизных судов в будущем будут способствовать развитию круизных маршрутов в Дальневосточном регионе, но уже с акцентом на эко-движение. Для того, чтобы это направление продолжило своё развитие, надлежит учитывать новые санитарные протоколы и условия обслуживания круизных судов. Поскольку массовое

распространение круизного туризма, как правило, создаёт масштабную проблему для круизных портов, как получить экономический эффект от туризма, сохранив при этом экологических и социально-культурных ценностей в регионе¹⁰.

По причине того, что большая часть запланированных проектов не была исполнена в назначенный срок из-за удорожания строительства, невозможности выехать на объект, изменения внешнего спроса, в апреле 2021 г. на уровне Правительства РФ было принято решение о необходимости скорректировать обозначенные цели и задачи развития морского транспорта на среднесрочную перспективу¹¹.

Согласно скорректированному плану в отношении портов региона было предусмотрено «удлинение» сроков и исключение из федерального проекта. Так, были сдвинуты сроки по реконструкции объектов федеральной собственности в порту Певек. Исключены проекты: строительство транспортно-перегрузочного комплекса по перевалке сжиженных углеводородных газов в районе бухты Перевозной, техническое перевооружение порта Посьет, реконструкция гидротехнических сооружений порта Владивосток, реконструкция морского порта Шахтёрск, строительство портового комплекса для перегрузки глинозёма в бухте Ванина [12].

Кроме того, в отношении каботажных перевозок в 2021 г. Министерство транспорта РФ планирует создать государственную компанию для перевозки социально значимых грузов на Дальнем Востоке. Это снизит непроизводственные простои морских судов и портов, а также возобновит регулярные поставки грузов северного завоза.

На фоне разворота экспорта с Запада на Восток ключевыми проектами в среднесрочной перспективе выступают угольные терминалы в Хабаровском и Приморском краях, перегрузочный комплекс по хранению и перегрузке СПГ в порту Петропавловск-Камчатский. На Сахалине планируется создать многофункциональный грузовой центр в порту Корсаков. Кроме того, планируется провести перепрофилирование действующих универсальных терминалов под наиболее востребованную номенклатуру грузов в связи с переориентацией грузопотоков.

Заключение

Подведя итог, можно отметить, что пандемия оказала серьёзное влияние на работу морского транспорта и выявила наиболее уязвимые места. Для того, чтобы ликвидировать разрыв, потребуется переосмыслить движение грузовых перевозок, пересмотреть очерёдность реализации проектов, а также скорректировать цели и задачи морского транспорта в экономике Дальневосточного региона. Вместе с тем, пандемия в большей степени оказала косвенное, чем прямое влияние на морской транспорт Дальневосточного региона. Это выражается в том, что проблемы с заменой экипажа, нарушение логистической цепочки и, как следствие, образование транспортных заторов практически сразу обнаружили. В то время как грузооборот и контейнерооборот в портах регион стабильно рос, что было вызвано внешним спросом на определённые виды грузов.

¹⁰ Транспортная сфера в контексте COVID-19. Департамент международного и регионального сотрудничества. 2020. URL: <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-transport.pdf> (дата обращения: октябрь 2022).

¹¹ Указ Президента РФ №474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»

Список литературы

1. Минакир П.А. Экономика пандемии: российский путь // *Пространственная экономика*. 2020. Т. 16. № 2. С. 7–18. <https://dx.doi.org/10.14530/se.2020.2.007-018>
2. Семенихин Я.Н., Новосельцев Е.М. Ванино-Совгаванский транспортно-промышленный узел: возможности и реалии // *Морские порты*. 2020. № 3. С. 38-42.
3. Заостровских Е.А. Особенности развития угольных портов Дальнего Востока России // *Регионалистика*. 2020. Т. 7. № 1. С. 30-45. <https://doi.org/10.14530/reg.2020.1.30>
4. Гомилевская Г.А., Петрова Г.А. Морской туризм как составляющая туристского бренда «Восточное кольцо России» // *Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса*. 2017. № 3. С. 71-85. DOI dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2017-3/71-85.
5. Заостровских Е.А. Устойчивое развитие круизного туризма в Дальневосточном регионе // *Современные проблемы регионального развития*. Материалы IX Всерос. науч. конф. Биробиджан, 24-26 мая 2022 г. / Под ред. Е.Я. Фрисмана. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2022. С. 69-74. DOI: 10.31433/978-5-904121-35-8-2022-69-72
6. Музлова Г. Экспорт угля: азиатский вектор. *Морские порты*. 2021. № 3. URL: <http://www.morvesti.ru/themes/1694/90265> (дата обращения: август 2022).
7. Головшиков В.О., Огнёв Д.В., Петрякова Е.А. Перспективы БАМа и Транссиба с учётом состояния регионов и развития угольной отрасли // *Энергетическая политика*. 2021. № 2. С. 30-43. DOI 10.46920/2409-5516_2021_2156_30
8. Найден С.Н. Социальные эффекты от реализации инвестиционных проектов // *Регионалистика*. 2017. Т. 4. № 6. С. 28-33. DOI: 10.14530/reg.2017.6
9. Огай С.А., Луговец А.А., Затепакин С.М., Рычкова В.Ф. Состояние и перспективы развития портовой инфраструктуры Приморского края / *Проблемы транспорта Дальнего Востока*. Доклады научно-практической конференции. 2017. № 2. С. 504-511.
10. Зондов К.Х., Медков А.А. «Шёлковый путь здоровья» – инновационно-инфраструктурная основа постпандемийного восстановления мировой экономики // *Проблемы рыночной экономики*. 2021. № 3. С. 179-195. DOI: [//doi.org/10.33051/2500-2325-2021-3-179-195](https://doi.org/10.33051/2500-2325-2021-3-179-195)
11. Lau Y.-y., Yip T.L. The Asia cruise tourism industry: Current trend and future outlook // *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. 2020. № 36. P. 190-201.
12. Буянов С.И. Обновление планов развития морских портов // *Морские порты*. 2021. № 1. С. 28-32.

References

1. Minakir P.A. Pandemic Economy: The Russian Way. *Spatial Economics*. 2020. vol. 16. no. 2. pp. 7–18. <https://dx.doi.org/10.14530/se.2020.2.007-018>.
2. Semenikhin Ya.N., Novoseltsev E.M. Vanino-Sovgavan transport and industrial hub: opportunities and realities. *Seaports*. 2020. no. 3. pp. 38-42.
3. Zaostrovskikh E.A. Features of the Development of Coal Ports of the Far East of Russia. *Regionalistics*. 2020. Vol. 67. no. 1. pp. 30–45. <https://doi.org/10.14530/reg.2020.1.30>
4. Gomilevskaya G.A., Petrova G.A. Sea tourism as a component of the tourist brand «The Eastern Ring of Russia», The Territory of New Opportunities. *The Herald of Vladivostok State University of Economics and Service*. 2017. Vol. 9, no. 1. pp. 71–85. DOI dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2017-3/71-85.
5. Zaostrovskikh E.A. Sustainable development of cruise tourism in the Far Eastern region. *Modern problems of regional development*. Materials of the IX All-Russian Scientific Conference. Birobidzhan, May 24-26, 2022 / Edited by E.Y. Frisman. Birobidzhan: ICARP FEB RAS. 2022. pp. 69-74. DOI: 10.31433/978-5-904121-35-8-2022-69-72
6. Muzlova G. Coal export: Asian vector. *Seaports*. 2021. no. 3. Available at: <http://www.morvesti.ru/themes/1694/90265> (accessed: August 2022).
7. Golovshchikov V.O., Ognev D.V., Petryakova E.A. Prospects for BAM and Transsib, taking into account the state of the regions and the development of the coal industry. *Energy Policy*. 2021. no. 2. pp. 30-43.
8. Naiden S.N. Social Effects from Implementation of Investment Projects. *Regionalistics*. 2017. Vol. 4. no. 6. pp. 28–33. DOI: 10.14530/reg.2017.6

9. Ogai S.A., Lugovets A.A., Zatepyakin S.M., Rychkova V.F. The state and prospects of development of the port infrastructure of Primorsky Krai / Problems of transport of the Far East. Reports of the scientific and practical conference. 2017. no. 2 (2). pp. 504-511.
10. Zoidov K.Kh., Medkov A.A. «Silk Road of Health» – an innovative and infrastructural basis for the post-pandemic recovery of the world economy. Market economy problems. 2021. no. 3 pp. 179-195. DOI: //doi.org/10.33051/2500-2325-2021-3-179-195
11. Lau Y.-y., Yip T.L. The Asia cruise tourism industry: Current trend and future outlook. The Asian Journal of Shipping and Logistics. 2020. no. 36. pp. 190-201.
12. Buyanov S.I. Updating plans for the development of seaports. Seaports. 2021. no. 1. pp. 28-32.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Заостровских Елена Анатольевна, кандидат экономических наук, научный сотрудник, Институт экономических исследований Дальневосточного отделения РАН (ИЭИ ДВО РАН), (680042, Хабаровск, Тихоокеанская ул., 153), e-mail: zaost@ecrin.ru

Elena A. Zaostrovskikh, PhD of Economy, Researcher, Economic Research Institute of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (153, Tikhookeanskaya Street, Khabarovsk, Russia, 680042), e-mail: zaost@ecrin.ru

Статья поступила в редакцию 21.10.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 21.10.2022; published online 20.12.2022.

УДК 656.07

DOI:10.37890/jwt.vi73.321

Построение процессно-ориентированной системы управления транспортным предприятием в условиях цифровизации экономики

М.И. Классовская

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

Аннотация. В статье предлагается алгоритм построения процессно-ориентированной системы управления транспортным предприятием с применением концепции центров финансовой ответственности в условиях цифровизации экономики. Данный алгоритм позволяет своевременно корректировать систему управления, находящуюся под воздействием цифровых факторов, отслеживать движение денежных потоков внутри предприятия, а также оценивать готовность персонала развиваться в рамках стратегического видения компании. Представлены показатели, оценивающие эффективность бизнес-процессов транспортного предприятия. В статье произведена апробация алгоритма на примере Новороссийской транспортно-экспедиторской компании, в том числе рассчитан индекс цифровизации, разработанный автором, произведено моделирование услуги по доставке контейнера, проведено ранжирование индикаторов достижения целей, рассчитан экономический эффект от внедрения цифровых технологий в деятельность предприятия.

Ключевые слова: цифровая экономика, транспортно-экспедиторская компания, система управления, бизнес-процессы, центры финансовой ответственности, индекс цифровизации, индикаторы достижения целей.

Building a process-oriented management system for a transport enterprise in the context of digitalization of the economy

Maria I. Klassovskaya

Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia

Abstract. The article proposes an algorithm for constructing a process-oriented management system for a transport enterprise using the concept of financial responsibility centers in the context of the digitalization of the economy. This algorithm allows to timely adjust the management system, which is under the influence of digital factors, track the cash flow within the enterprise, and also assess the readiness of staff to develop within the framework of the company strategic vision. The indicators evaluating the efficiency of business processes of a transport enterprise are presented. The article tested the algorithm on the example of the Novorossiysk freight forwarding company, including calculating the digitalization index developed by the author. Modeling the container delivery service, ranking goals achievement indicators, and calculating the economic effect of introducing digital technologies into the activities of the enterprise have been carried out.

Keywords: digital economy, freight forwarding company, management system, business processes, financial responsibility centers, digitalization index, goals achievement indicators.

Введение

В современных условиях одно из ключевых направлений деятельности России – цифровизация страны с акцентом на цифровую экономику. Транспортный комплекс выступает важным сектором системы хозяйствования с высокой социально-экономической значимостью.

Успешная реализация цифрового развития транспортного комплекса в значительной степени определяется эффективностью системы управления как на макро-, так и на микроуровне.

Специфика транспортного предприятия предполагает большое разнообразие бизнес-процессов, совокупность которых приводит к достижению цели производственного процесса – доставке груза от производителя к потребителю. В связи с этим появляется необходимость выявления экономической составляющей каждого бизнеса транспортной компании в целом, а также формализации процессов. Сложность работы с бизнес-процессами вызвана непосредственной вовлеченностью в них работников, которые часто не соглашаются подвергаться изменениям даже в условиях очевидно устаревшей бизнес-модели и организационной структуры управления предприятия.

В этой связи построение процессно-ориентированной системы управления транспортным предприятием представляется важной и актуальной задачей в условиях цифровой экономики.

Методы

В процессе написания публикации были применены системно-структурный и сравнительно-аналитический методы, метод группировки и классификации, метод средневзвешенной оценки.

Результаты

Автор предлагает представить совершенствование системы управления транспортным предприятием в условиях цифровизации следующим образом (рис. 1).

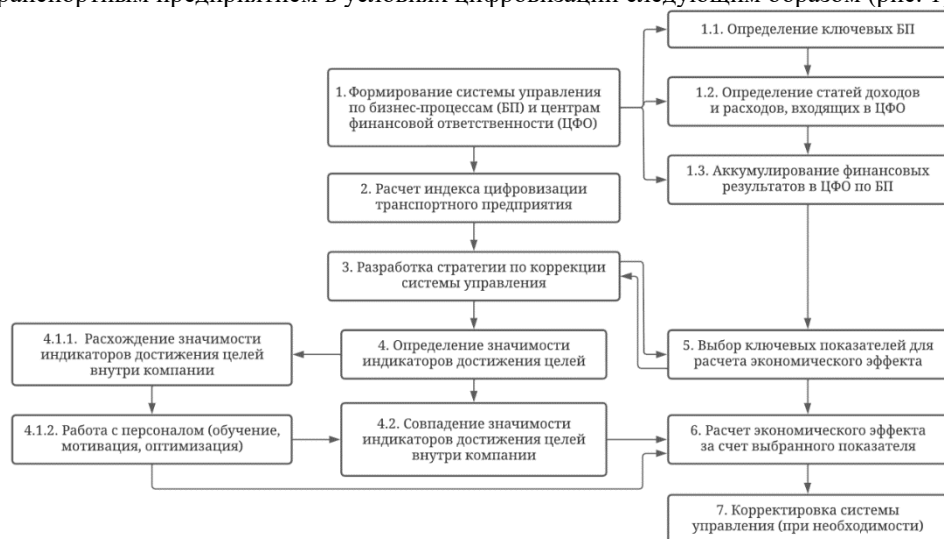


Рис. 1. Алгоритм построения процессно-ориентированной системы управления транспортным предприятием с применением концепции центров финансовой ответственности в условиях цифровизации экономики

Далее представлена апробация предложенного автором алгоритма на ООО «Новоморснаб». ООО «Новоморснаб» – известная транспортно-экспедиторская компания, имеющая высокую репутацию среди припортовых терминалов г. Новороссийска [5].

Шаг 1. Формирование системы управления по бизнес-процессам (БП) и центрам финансовой ответственности (ЦФО).

В настоящий момент ООО «Новоморснаб» имеет функциональную структуру управления, представленную на рис. 2.



Рис. 2. Организационная структура ООО «Новоморснаб»

Ключевые бизнес-процессы ООО «Новоморснаб» и экономические показатели, определяющие их эффективность, представлены в табл. 1. При составлении табл. 1 были использованы результаты ранжирования индикаторов достижения целей [1], а также исследования других авторов [7].

Таблица 1

Проекция бизнес-процессов на ЦФО

Процесс (шаг 1.1)	ЦФО (шаг 1.3)	Выход (шаг 1.2)
Основные бизнес-процессы		
Экспедирование	Центр прибыли	Рентабельность продаж. Рентабельность услуг. Рентабельность основных средств. Прибыль за комплексную обработку одной тонны груза. Экономия денежных средств за счет цифровизации бизнес-процессов
	Центр прямых расходов	Себестоимость экспедирования одной тонны груза. Затраты на аутсорсинг в случае невозможности оказать услугу силами собственных бизнес-процессов. Затраты, обусловленные коммуникацией с сотрудниками государственных органов
	Центр цифровизации	Стоимость программного обеспечения, направленного на автоматизацию процессов экспедирования
Вспомогательные бизнес-процессы		
Перевозка	Центр маржинального дохода	Выручка за перевозку одной тонны груза. Производительность труда в денежном выражении. Производительность транспортного средства в денежном выражении
	Центр прямых расходов	Себестоимость перевозки одной тонны груза
	Центр цифровизации	Стоимость программного обеспечения, направленного на автоматизацию транспортного процесса

Перегрузка	Центр маржинального дохода	Выручка за перевалку одной тонны груза. Производительность труда в денежном выражении. Производительность перегрузочного оборудования в денежном выражении
	Центр прямых расходов	Себестоимость перевалки одной тонны груза
	Центр цифровизации	Стоимость программного обеспечения, направленного на автоматизацию погрузочно-разгрузочных работ
Складирование	Центр маржинального дохода	Выручка за складскую обработку одной тонны груза. Производительность труда в денежном выражении. Производительность складского оборудования в денежном выражении
	Центр прямых расходов	Себестоимость складской обработки одной тонны груза
	Центр цифровизации	Стоимость программного обеспечения, направленного на автоматизацию складских работ. Стоимость средств роботизации склада
Обслуживающие бизнес-процессы		
Безопасность	Центр косвенных расходов	Расходы на оплату труда в рамках бизнес-процесса. Расходы на функционирование бизнес-процесса
	Центр цифровизации	Стоимость программного обеспечения, направленного на защиту информации. Стоимость электронных пломб, обеспечивающих сохранность груза
Бухгалтерский учет	Центр косвенных расходов	Расходы на оплату труда в рамках бизнес-процесса. Расходы на функционирование бизнес-процесса
	Центр финансового учета	Стоимость обработки одного документа. Дебиторская задолженность. Финансовые потери при некачественном оказании услуги
Маркетинг	Центр инвестиций	Стоимость нового оборудования для повышения эффективности бизнес-процессов. Затраты на обучение персонала работе с новым программным обеспечением
	Центр доходов	Стоимость услуг по всем договорам с клиентами
	Центр косвенных расходов	Расходы на оплату труда в рамках бизнес-процесса. Расходы на функционирование бизнес-процесса. Стоимость привлечения одного клиента. Разница между клиентской скидкой и обычной стоимостью услуги. Стоимость потери клиента
	Центр цифровизации	Стоимость программного обеспечения, направленного на коммуникацию с клиентами

Далее обоснуем распределение центров финансовой ответственности.

Центром инвестиций для транспортно-экспедиторской компании является маркетинг, т.к. именно отдел, основная цель которого – привлечение и удержание клиентов, способен эффективно распределить свободные денежные средства для повышения результативности деятельности всего предприятия в целом.

Центром прибыли служит основной бизнес-процесс ООО «Новоморснаб».

Центрами маржинального дохода являются вспомогательные бизнес-процессы компании, т.к. их совокупность составляет основной вид деятельности предприятия.

Центром дохода служит бизнес-процесс маркетинга, т.к. данное подразделение непосредственно работает с клиентами, но транспортно-экспедиторские услуги не оказывает

Экспедирование – это целостный комплекс услуг, которые направлены на доставку грузов, их полное сопровождение и документальное оформление.

Таким образом, в экспедирование включаются услуги по перевозке, перегрузке и складированию товаров, следовательно, данные бизнес-процессы можно назвать вспомогательными. Но клиент может заказать какую-либо одну из вышеперечисленных услуг, соответственно, для него она будет основной.

Согласно классификации организационных процессов, вспомогательные процессы являются центрами косвенных затрат, т.к. производят продукцию (оказывают услуги) для основных бизнес-процессов. Если же данные подразделения оказывают услуги «на сторону», то они автоматически становятся основными процессами [6].

Так как ООО «Новоморснаб» основным видом деятельности называет «Деятельность вспомогательная прочая, связанная с перевозками» [4], в бухгалтерском учете экспедирование будет относиться на счет 20 «Основное производство».

Соответственно, и основные, и вспомогательные бизнес-процессы являются центрами прямых расходов. Обслуживающие бизнес-процессы служат центрами косвенных расходов.

Центром финансового учета является бухгалтерия.

Центрами цифровизации будут являться те отделы компании, деятельность которых еще не достаточно оцифрована. В современных условиях большинство предприятий использует специализированное программное обеспечение (ПО) только в бухгалтерском учете.

Шаг 2. Расчет индекса цифровизации ООО «Новоморснаб», выполненный на основе разработанной автором методики, представлен в табл. 2.

Таблица 2

Индекс цифровизации ООО «Новоморснаб» в 2021 г.

Численность, чел.	162
Выручка, руб.	886 901 648
email	0,035
Телефон	0,035
Мессенджеры	0,040
Социальные сети	0,045
Личные встречи	0,070
Конференции	0,100
Excel	0,125
Сайт без кабинета/с кабинетом	0,200
Customer relationship management, 1С	-
Блок «Клиенты»	0,650
Microsoft Excel	0,200
Мой склад (Robotic process automation)	-
Warehouse management system/Warehouse control system	-

Блок «Склад»	0,200
GPS (да/нет)	1,000
Блок «Контроль транспортного средства»	1,000
Электронный документооборот (нет/частично/целиком внутренний/целиком внешний)	0,330
Блок «Электронный документооборот»	0,330
Смарт-контракты	-
RFID	-
Блок «Блокчейн»	0,000
Цифровая платформа (да/нет)	0,000
Блок «Цифровая платформа»	0,000
Microsoft Excel	0,800
Monitask (или свое ПО)	-
Блок «Учет производительности труда»	0,800
Существует ли неиспользуемое ПО (да/нет)	-
Блок «Степень внедрения»	1,000
Удовлетворение уровнем цифровизации (да/нет)	-
Блок «Уровень удовлетворения»	0,000
Среднее	0,442
Комментарии предприятия: У компании не хватает денежных средств на цифровизацию. Сотрудники компании не хотят подвергаться изменениям. Нет специалистов, которые внедряют цифровые технологии. Отсутствие стратегии по внедрению цифровых технологий. Отсутствие необходимого программного обеспечения.	

Шаг 3. Разработка стратегии по коррекции системы управления.

Проанализировав индекс цифровизации ООО «Новоморснаб», автору представляется возможным сделать следующие выводы:

- 1) компания имеет низкий уровень цифровизации по следующим направлениям: складская деятельность, документооборот;
- 2) компания не использует в своей деятельности цифровые платформы и блокчейн-технологии;
- 3) руководство компании не в полной мере удовлетворено уровнем цифровизации;
- 4) компания не имеет четкого видения стратегического направления развития в условиях цифровизации экономики;
- 5) в компании присутствует такая проблема, как нежелание сотрудников подвергаться изменениям;

- б) представленное на рынке информационных технологий программное обеспечение не учитывает специфику работы данной компании, поэтому имеется потребность в разработке собственного ПО;
- 7) компания испытывает трудности как с подбором подходящих специалистов, требующихся для разработки специализированного ПО, так и с наличием необходимых цифровых компетенций собственного персонала для работы в новых условиях;
- 8) компания не придает значение тому, что в бюджет расходов необходимо закладывать затраты на цифровизацию деятельности, что в стратегической перспективе увеличит ее финансовые результаты и конкурентоспособность.

Для разработки стратегии по коррекции системы управления ООО «Новоморснаб» в условиях цифровизации экономики автор предлагает рассмотреть процесс оказания услуги по доставке контейнера (рис. 3).

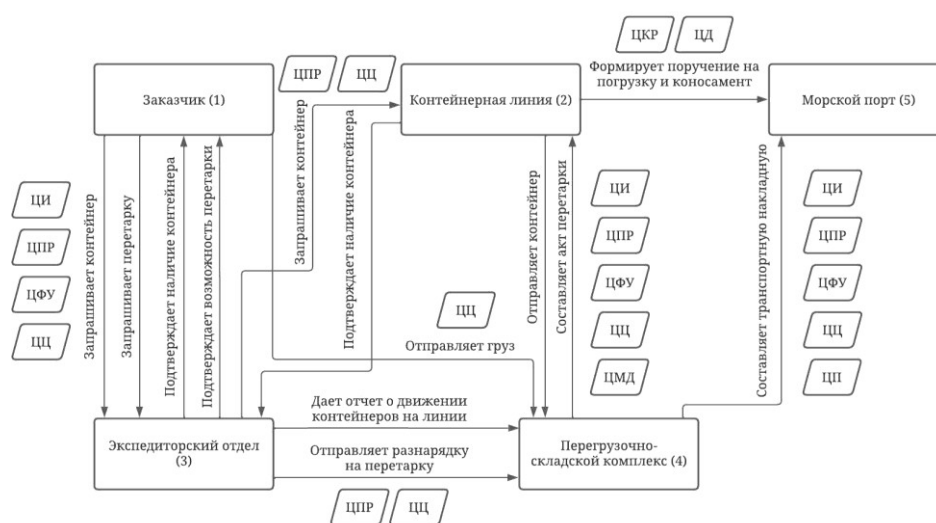


Рис. 3. Моделирование услуги по доставке контейнера

Для разработки стратегии также следует рассмотреть структуру выручки предприятия (табл. 3).

Таблица 3

Структура выручки ООО «Новоморснаб» в 2021 г.

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Стоянка автомашин 20%	10 756 273	1,21%
Товар 0%	22 207 697	2,50%
Услуги прочие	321 043	0,04%
Услуги аренды	63 041 204	7,11%
Экспедиторские услуги 0%	675 233 377	76,13%
Экспедиторские услуги 20%	115 342 054	13,01%
Итого:	886 901 648	100,00%

Таким образом, проанализировав индекс цифровизации, процесс работы с контейнерами и структуру выручки ООО «Новоморснаб», автор исследования делает вывод, что в настоящий момент компания нуждается в цифровой трансформации бизнес-процессов «Перегрузка» и «Складирование». В пределах перегрузочно-складского комплекса сконцентрировано наибольшее количество центров финансовой ответственности, а также погрузочно-разгрузочные работы являются узким местом логистической системы, в котором наиболее часто происходят потери времени.

Далее автор предлагает следующие составляющие стратегии по коррекции системы управления ООО «Новоморснаб». Сначала необходимо подобрать программное обеспечение, на основе которого будет разработан персональный продукт для ООО «Новоморснаб».

Таким программным обеспечением может стать система управления работы тыловым контейнерным терминалом (сухим портом) Solvo.TOS_Inland [8].

Стоимость данного программного обеспечения составляет 140 тыс. руб.

Программное обеспечение «из коробки» не способно удовлетворить все потребности компании. По этой причине ПО нуждается в доработке. Возможно ли это на практике?

Программным кодом системы владеет компания «СОЛВО». Система имеет возможность быть конфигурируемой специально обученным персоналом заказчика на ту глубину, которая заложена при согласовании дизайна проекта.

Таким образом, внесение изменений в программное обеспечение возможно. Для этого требуется найти специалиста с соответствующей квалификацией. Несмотря на развитие рынка цифровых услуг, на онлайн-биржах по поиску специалистов для разработки программного обеспечения все еще существует риск получить услуги ненадлежащего качества. Поэтому автор предлагает воспользоваться специализированным местом для подбора необходимого сотрудника – выставкой «Информационные и коммуникационные технологии», ежегодно проходящей в г. Москва [2].

Для этого необходимо отправить в командировку владельца бизнес-процессов «Перегрузка» и «Складирование» (начальника перегрузочно-складского комплекса). Соответственно, будут понесены расходы по проезду – 10 тыс. руб., расходы по найму жилого помещения – 5 тыс. руб., дополнительные расходы, связанные с проживанием вне места постоянного жительства – 5 тыс. руб.

Предположим, что в процессе выставки необходимый специалист найден. Час работы такого специалиста будет стоить 1,5 тыс. руб. Заявленный фронт работы требует 40 часов рабочего времени (оптимизация программного обеспечения под потребности ООО «Новоморснаб»). Таким образом, стоимость услуг составит 60 тыс. руб.

Перейдем к закупке необходимого оборудования, необходимого для работы программного обеспечения:

- 4) 1. Промышленный Wi-Fi роутер – 15 тыс. руб.
- 5) 2. Прочный мобильный компьютер – 175 тыс. руб. Необходимо 5 единиц на бригаду перегрузочно-складского комплекса.
- 6) 3. Система позиционирования – 450 тыс. руб.
- 7) 4. Компьютер для установки на транспортное средство – 200 тыс. руб. Необходимо установить на все перегрузочное оборудование компании (15 единиц).

Установка оборудования и обучение персонала работе входит в стоимость услуг компании «СОЛВО».

Шаг 4. Определение значимости индикаторов достижения целей. Чтобы определить, существует ли расхождение мнений между менеджментом компании и ее работниками, необходимо провести ранжирование индикаторов достижения целей

среди персонала, вовлеченного в бизнес-процессы «Перегрузка» и «Складирование» по методике, приведенной в [1]. К руководителям, вовлеченным в данный бизнес-процесс, можно отнести генерального директора, главного инженера, сменных начальников перегрузочно-складского комплекса, начальника склада и заведующих складом. В состав специалистов входят ведущий специалист по работе с железной дорогой, инженеры, водители погрузчиков, стропальщики, диспетчеры, тальманы, агенты, разнорабочие. Результаты ранжирования представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты опроса работников перегрузочно-складского комплекса ООО «Новоморснаб»

Руководители	Специалисты
Показатели эффективности внутренних процессов	Показатели эффективности системы управленческой отчетности
Показатели эффективности системы управленческой отчетности	Показатели эффективности внутренних процессов
Показатели кадрового потенциала	Показатели цифровизации
Показатели производительности	Показатели кадрового потенциала
Показатели конкурентоспособности	Показатели конкурентоспособности
Показатели цифровизации	Показатели уровня сервиса, предлагаемого клиентам
Показатели уровня сервиса, предлагаемого клиентам	Экономические показатели
Экономические показатели	Показатели производительности

По результатам опроса работников перегрузочно-складского комплекса ООО «Новоморснаб» были подтверждены разногласия в видении стратегического направления развития компании, выявленные также при расчете индекса цифровизации.

Соответственно, алгоритм построения системы управления ООО «Новоморснаб» выходит на шаг 4.1.1. Расхождение значимости индикаторов достижения целей внутри компании.

Поэтому, чтобы выйти на шаг 4.2., необходимо провести работу с персоналом ООО «Новоморснаб» по сопротивлению инновациям (шаг 4.1.2). В этих целях менеджменту компании предлагается пройти курс «Управление изменениями. Практикум», в программу которого входит решение проблем трудностей с внедрением изменений и столкновения с сопротивлением переменам [10].

Данный курс необходимо пройти владельцу бизнес-процессов «Перегрузка» и «Складирование» – начальнику перегрузочно-складского комплекса (2 штатных единицы), а также его непосредственным начальникам (главный инженер и генеральный директор). Стоимость курса составляет 25 тыс. руб.

Автором планируется, что при помощи обучения менеджмент компании сможет подготовить коллектив к изменениям и выйти на шаг 4.2. Совпадение значимости индикаторов достижения целей внутри компании.

Все расходы компании по стратегическому направлению представлены в табл. 5.

Таблица 5

Инвестиции ООО «Новоморснаб» в цифровую трансформацию бизнес-процессов

Статья расходов	Необходимое количество	Итого требуется, руб.
ПО Solvo.TOS Inland	1	140 000
Командировка	1	20 000
Оптимизация ПО	1	60 000
Wi-Fi роутер	1	15 000
Мобильный компьютер	5	875 000

Система позиционирования	1	450 000
Компьютер для ТС	15	3 000 000
Курсы повышения квалификации	4	100 000
Всего	29	4 640 000

Шаг 5. Выбор ключевых показателей для расчета экономического эффекта. Далее необходимо рассчитать экономический эффект от цифровизации бизнес-процессов. В табл. 1 одним из показателей, измеряющих эффективность вспомогательных бизнес-процессов, является производительность труда. Сначала автор предлагает рассмотреть производительность труда перегрузочно-складского комплекса до цифровизации на примере обработки контейнера. В качестве груза взят цинк в чушках. Совокупное время на обработку одного контейнера до цифровизации бизнес-процессов составляет 3,7 часа.

По экспертной оценке компании «СОЛВО», рост производительности труда за счет специализированного программного обеспечения может составить 15-25%. Возьмем значение 15%, следовательно, время на обработку одного контейнера после цифровизации бизнес-процессов составит 3,15 часа.

Шаг 6. Расчет экономического эффекта за счет выбранного показателя. Таким образом, экономия времени составит 0,55 чел.-ч на 1 контейнер. Контейнерооборот ООО «Новоморснаб» в 2021 г. составил 33436 TEU.

Следовательно, экономия времени за год составит: $33436 \cdot 0,55 = 18556,98$ чел.-ч.

Это значит, что компания сможет дополнительно обработать: $18556,98 / 3,15 = 5900$ TEU.

Результат повышения эффективности управления транспортно-экспедиторской компанией за счет цифровизации бизнес-процессов автор предлагает представить в следующем виде:

$$\Theta = \frac{(Д + \Delta Д) - (З + \Delta З)}{З + \Delta З} \quad (1)$$

где Θ – результат повышения эффективности управления транспортно-экспедиторской компании за счет цифровизации бизнес-процессов;

Д – доходы транспортно-экспедиторской компании;

$\Delta Д$ – дополнительные доходы транспортно-экспедиторской компании, получаемые за счет цифровизации бизнес-процессов;

З – расходы транспортно-экспедиторской компании;

$\Delta З$ – дополнительные расходы транспортно-экспедиторской компании, вызываемые цифровизацией бизнес-процессов.

В качестве доходов и расходов компании автор использует финансовые показатели по экспедиторским услугам в 2021 г.

Дополнительные доходы транспортно-экспедиторской компании можно рассчитать, умножив прирост контейнерооборота на доходную ставку. Средняя ставка за перевалку 1 тонны груза составляет 1,5 тыс. руб. [9]. Как правило, транспортно-экспедиторская компания закладывает в тариф 30% прибыли, следовательно, средняя себестоимость услуги составит 1,05 тыс. руб. Один TEU – это примерно 14 тонн груза [3].

Подставим значения в формулу 1:

$$\Theta = \frac{(790\,575\,431 + 1\,500 \cdot 5\,900 \cdot 14) - (731\,920\,909 + 4\,640\,000 + 1\,050 \cdot 5\,900 \cdot 14)}{731\,920\,909 + 4\,640\,000 + 1\,050 \cdot 5\,900 \cdot 14} = 0,11 \quad (11\%)$$

Сравним результаты ООО «Новоморснаб» до и после цифровизации бизнес-процессов в табл. 6.

Таблица 6

Результаты ООО «Новоморснаб» до и после цифровизации бизнес-процессов

Показатель	До цифровизации	После цифровизации	Темп роста, %
Время обработки одного контейнера, чел.-ч	3,7	3,15	85
Контейнерооборот, TEU	33436	39336	118
Производительность труда, TEU	393,36	462,78	118
Производительность труда, руб.	9300887,42	10758650,74	116
Выручка от экспедирования, руб.	790575431	914485313	116
Расходы по экспедированию, руб.	731920909	818657827	112
Прибыль от экспедирования (до налогообложения), руб.	58654522	95827486	163
Рентабельность услуг, %	8	12	146

Таким образом, совершенствование системы управления транспортно-экспедиторской компанией на основании алгоритма, предложенным автором, проведено успешно.

Шаг 7. Корректировка системы управления. Данный шаг компании рекомендуется использовать, если плановые показатели сильно отклоняются от значений, рассчитанных автором.

Используя данный алгоритм, также можно проанализировать другие бизнес-процессы ООО «Новоморснаб», и провести коррекцию системы управления, исходя из других показателей центров финансовой ответственности.

Заключение

Цифровая среда трансформирует систему менеджмента транспортного предприятия, что доказывает объективную необходимость изменения теоретических и практических положений и подходов к ее построению, в том числе введения в институциональную среду правил по определению уровня цифровизации.

В процессе исследования был разработан алгоритм построения системы управления транспортным предприятием, при помощи которого представляется возможным провести коррекцию системы управления в связи с введением в институциональную среду цифрового фактора.

Существует возможность применить данный алгоритм и для предприятий других отраслей, в этом случае необходимо:

- 1) установить бизнес-процессы, протекающие на предприятии;
- 2) определить показатели, при помощи которых можно оценить эффективность деятельности исследуемого предприятия;
- 3) изменить методику расчета индекса цифровизации, заложив в него цифровые технологии, используемые в исследуемой отрасли.

Список литературы

1. Ботнарюк М.В., Классовская, М.И. Определение значимости индикаторов достижения целей при построении системы управления предприятий транспортной отрасли в цифровой экономике // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – №2 (53). – С. 146–152.
2. Выставка СВЯЗЬ-2023. – URL: <https://www.sviaz-expo.ru/> (дата обращения 05.07.2022).
3. Грузооборот. – URL: <https://www.nle.ru/news/company/detail.php?ID=149> (дата обращения 07.07.2022).
4. Организация ООО «Новоморснаб». – URL: <https://www.list-org.com/company/524721> (дата обращения 29.11.2021).

5. Официальный сайт ООО «Новоморснаб». – URL: <http://www.novomorsnab.ru/> (дата обращения 25.04.2021).
6. Салмин П.С., Салмина Н.А. Структурирование организационных процессов в зависимости от типа ЦФО // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2015. – №43. – С. 237–244.
7. Салмин П.С., Салмина Н.А. Формирование финансового результата транспортного холдинга по центрам финансовой ответственности // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2014. – №41. – С. 268–276.
8. Система управления ж/д контейнерным терминалом. – URL: <https://www.solvo.ru/solutions/ports-terminals/inland-container-terminal/> (дата обращения 05.07.2022).
9. Тарифы на погрузку и выгрузку экспортных, импортных и транзитных грузов, осуществляемых ПАО «НМТП». – URL: http://www.nmtp.info/content/holding/downloads/2022/Tarif%20na%20PRR%20export_import_tranzit_2022.pdf (дата обращения 07.07.2022).
10. Управление изменениями. Практикум. – URL: <https://www.toptrening.ru/trainings/27907/#35209> (дата обращения 05.07.2022).

References

1. Botnaryuk M.V., Klassovskaya, M.I. Opredelenie znachimosti indikatorov dostizheniya tselei pri postroenii sistemy upravleniya predpriyatii transportnoi otrasli v tsifrovoi ehkonomike [Determining the significance for indicators of achieving goals when building a management system for transport enterprises in the digital economy]. Morskije intellektual'nye tekhnologii [Marine intellectual technologies], 2021, no. 2 (53), pp 146—152.
2. Vystavka SVYAZ'-2023 [Exhibition SVYAZ-2023]. Available at: <https://www.sviaz-expo.ru/> (accessed 05.07.2022).
3. Gruzooborot [Cargo turnover]. Available at: <https://www.nle.ru/news/company/detail.php?ID=149> (accessed 07.07.2022).
4. Organizaciya ООО «Novomorsnab» [Organization LLC Novomorsnab]. Available at: <https://www.list-org.com/company/524721> (accessed 29.11.2021).
5. Oficial'nyj sajt ООО «Novomorsnab» [Official website of LLC Novomorsnab]. Available at: <http://www.novomorsnab.ru/> (accessed 25.04.2021).
6. Salmin P.S., Salmina N.A. Strukturirovanie organizacionnyh processov v zavisimosti ot tipa CFO [The structuring of organizational processes depending on the type of CFD]. Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta [Volga State University of Water Transport], 2015, no. 43, pp 237—244.
7. Salmin P.S., Salmina N.A. Formirovanie finansovogo rezul'tata transportnogo holdinga po centram finansovoj otvetstvennosti [The generation of financial results of transportation holding by the centers of financial responsibility]. Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta [Volga State University of Water Transport], 2014, no. 41, pp 268—276.
8. Sistema upravleniya zh/d kontejnernym terminalom [Railway container terminal management system]. Available at: <https://www.solvo.ru/solutions/ports-terminals/inland-container-terminal/> (accessed 05.07.2022).
9. Tarify na pogruzku i vygruzku eksportnyh, importnyh i tranzitnyh грузов, osushchestvlyаемых ПАО «НМТП» [Tariffs for loading and unloading of export, import and transit cargo carried out by JSC NCSP]. Available at: http://www.nmtp.info/content/holding/downloads/2022/Tarif%20na%20PRR%20export_import_tranzit_2022.pdf (accessed 07.07.2022).
10. Upravlenie izmeneniyami. Praktikum [Change management. Workshop]. Available at: <https://www.toptrening.ru/trainings/27907/#35209> (accessed 05.07.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Классовская Мария Ивановна, преподаватель кафедры экономической теории, экономики и

Maria I. Klassovskaya, lecturer of the economic theory, economics and management

менеджмента, Государственный морской университет (ФГБОУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова»), 353900, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93, e-mail: mariaklass@mail.ru

department, Admiral Ushakov Maritime State University, 93, Lenin's avenue, Novorossiysk, 353900, e-mail: mariaklass@mail.ru

Статья поступила в редакцию 31.08.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 31.08.2022; published online 20.12.2022.

УДК 658

DOI:10.37890/jwt.vi73.330

Тренды развития экономики морского и речного транспорта в условиях пост-пандемии и новых санкций

В.В. Крайнова

ORCID: 0000-0001-7960-3661

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

Аннотация. Выполнен аналитический обзор рынка услуг морского и внутреннего водного транспорта в условиях пост-пандемии и изменения геополитической ситуации. Данное исследование направлено на проведение в первом приближении обзора современных условий работы морского и внутреннего водного транспорта, выявление основных проблем, а также трендов, определяющих облик будущего транспортной отрасли в условиях последствий пандемии и под влиянием международных санкций. Основными направлениями развития отрасли должны стать: развитие беспилотных транспортных систем, цифровая трансформация, создание новых транспортных коридоров и логистических цепей поставок.

Ключевые слова: тренды развития, международные санкции, геополитика, санкционная политика, последствия пандемии, морской транспорт, внутренний водный транспорт, экономика отрасли.

Trends in the development of the economy of sea and river transport in the post-pandemic and new sanctions environment

Vera V. Krainova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. An analytical review of the market of marine and inland waterway transport services in the post-pandemic and changing geopolitical situation has been carried out. This study is aimed at conducting a first approximation of the current working conditions of maritime and inland waterway transport, identifying the main problems, as well as trends that determine the shape of the future of the transport industry in the aftermath of the pandemic and under the influence of international sanctions. The main directions of the industry's development should be: the development of unmanned transport systems, digital transformation, the creation of new transport corridors and logistics supply chains

Keywords: development trends, international sanctions, geopolitics, sanctions policy, consequences of the pandemic, maritime transport, inland waterway transport, industry economics.

Введение

Важнейшей проблемой современной экономики транспорта становится глобальная трансформация всех сфер деятельности в условиях пандемии и ее последствий (2020-2022 гг.), а также в условиях стремительного изменения геополитической ситуации после начала спецоперации России на Украине в феврале 2022 года. В данной статье автором предпринята попытка в условиях новых вызовов определить возможности сохранения экономической стабильности предприятий отрасли и необходимые меры для достижения тактических и стратегических целей развития отрасли, закрепленных в национальных проектах.

В научной литературе уже подведены первые итоги социально-экономических последствий пандемии [1-5]. Проводился анализ влияния санкционной политики на российский рынок [6-7]. Есть и научные исследования, посвященные влиянию пандемии и санкционной политики на транспортную систему России [8-10]. Однако теоретические и методологические подходы к оценке влияния новых вызовов на экономику отрасли морского и внутреннего водного транспорта четко не определены, поэтому автор в исследовании опирается на экспертные оценки, практический опыт функционирования предприятий отрасли и статистические данные Росстата и Министерства транспорта РФ.

Основная часть

Транспорт относится к одной из наиболее пострадавших сфер в результате пандемии. Новый вирус COVID – 19 появился в мире в конце 2019 года, а в России распространился в начале 2020 года. К негативным последствиям, оказавшим существенное влияние на развитие транспорта, в том числе морского и речного относятся: введенные ограничения на перемещение людей и товаров, изоляции стран, разрыв цепей поставок, снижение спроса на товары и др.

Но последствия пандемии коронавируса, при всей их масштабности, «не идут ни в какое сравнение с задачами, которые поставила перед отраслью новая эпоха, начавшаяся после 24 февраля 2022 года. На фоне объявленной нам санкционной войны происходит радикальное изменение направлений, содержания и конфигурации внешнеторговых потоков России, внутренней транспортно-экономической логистики, схем и конкретных проектов» [11].

Последствия пандемии отразились на всех видах транспортных перевозок, но масштаб влияния не равнозначен. Он определяется видом транспорта и его зависимостью от мировой транспортно-логистической системы.

С использованием морского транспорта осуществляется 90% всей мировой торговли. Его основное преимущество – в экономичности. Результатом пандемии в отрасли стало снижение ставок морского фрахта, сокращение объемов грузовых перевозок, сопровождающееся закрытием одиннадцати и двенадцати крупнейших морских линий и избытком свободных контейнеров, введение новых экологических требований.

До пандемии мировая круизная индустрия оценивалась в 150 млрд долл. США. Если грузовые перевозки в период пандемии значительно сократились, то круизные компании полностью прекращали свою коммерческую деятельность. Суда становились очагами заражения. Круизные компании продавали суда, испытывая беспрецедентный кризис со времен второй мировой войны [12].

Россия была и остается крупнейшим игроком глобального рынка. В 2021 году внешнеторговый оборот России составил, по данным Банка России, 798,0 млрд долларов США (139,3% к 2020 г.), в том числе экспорт – 494,0 млрд долларов (148,2%), импорт – 303,9 млрд долларов (126,8%). Сальдо торгового баланса оставалось положительным, 190,1 млрд долларов США [13].

Наметившийся в 2021 - начале 2022 года постепенный выход из пандемического кризиса «приостановлен» санкциями, «угнетающими» торговлю с Россией. Санкции против России ввели или поддержали 46 стран во главе с США. В 2022 году Россия стала лидером по количеству санкций, обогнав Иран. В августе 2022 года МИД РФ сообщило о том, что на Россию наложено около 10 тысяч санкций.

Эксперты считают, что попытка изолировать ключевого участника транспортно-логистических процессов международного рынка станет «триггером негативных, необратимых и достаточно тяжелых последствий для остальных участников мирового бизнеса» [10]. Нет санкций, которые не нанесли бы ущерб только одной стране. Для мирового транспортно-логистического рынка стал неожиданным уход с рынка крупных судоходных компаний, таких как ONE, Nippon-Lloyd, HMM, MSC, Maersk

и CMA CGM. Компания Maersk была ключевым звеном российского транзита. По оценкам представителей транспортных компаний, 9 из 11 глобальных компаний ввели ограничения на перевозки через морские порты РФ и объявили об уходе из нашей страны.

Под санкции попали отечественные перевозчики — российским судам запретили заходить в европейские порты. Основной удар принял на себя российский трансграничный товарооборот, происходит падение объемов как импорта, так и экспорта. Последствия изменений для предприятий отрасли будут определяться гибкостью менеджмента морского судоходства и государственной поддержкой по подстройке к меняющимся внешнеэкономическим и внутренним условиям. Для этого, в первую очередь, требуется быстрая «перенастройка» логистических схем под новую реальность при обеспечении устойчивости и безопасности доставки в целом. Это ключевая задача для российской транспортно-логистической системы в ближайшее время.

Опираясь на статистические данные, практический опыт функционирования предприятий отрасли в период 2019-2022 гг. рассмотрим динамику показателей грузовых и пассажирских потоков, грузооборота портов в России в условиях пика пандемии (2020 год), выхода из коронавирусного «локдауна» (2021 год), и новых санкций (2022 год).

Перевозки грузов и пассажиров

Навигация 2020 года для судоходных компаний России проходила в условиях жестких ограничительных мер. Минтрансом России при согласовании с Роспотребнадзором был определен соответствующий перечень требований, направленных на безопасное функционирование морского и внутреннего водного транспорта в условиях COVID-19 [14]. Результаты навигации 2020 года и динамика основных показателей работы морского и речного флота в России в 2019-2022 г. представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные показатели работы морского и внутреннего водного транспорта в 2019-2022 гг.

	2019 г.	2020 г.	2020 г. к 2019 г., %	2021 г.	2021 г. к 2019 г., %	1-ое полуг. 2022 г.	1-ое полуг. 2022 г. к 1- му полуг. 2021 г.,%
1. Перевозки грузов, млн тонн							
морской	18,5	24,7	133,5	23,2	125,4	11,9	113,3
внутренний водный	98,3	109,0	110,8	110,3	112,2	38,3	102,0
2. Грузооборот, млрд тонно-километров							
морской	36,5	42,5	116,4	43,2	118,3	19,92	100,8
внутренний водный	62,8	64,3	102,3	70,6	112,4	25,52	98,2
3. Перевозки пассажиров, млн чел.							
морской	6,05	4,616	76,2	4,515	74,6	1,485	76,2
внутренний водный	10,37	7,722	74,4	8,611	83,0	3,110	99,2
4. Пассажирооборот, млрд пассажиро-километров							
морской	0,052	0,033	63,4	0,036	90,2	0,010	72,6
внутренний водный	0,540	0,232	42,9	0,419	77,5	0,168	122,2

Составлено автором по данным Минтранса России <https://mintrans.gov.ru> [15].

Морской и внутренний водный транспорт России по итогам 2020 года, на который пришелся пик пандемии коронавируса, продемонстрировали противоположные векторы развития по видам перевозок. В части грузовых перевозок и морской, и внутренний водный транспорт в 2020 году показали прирост по сравнению с 2019 годом: морской транспорт +33,5% - по объему перевозок, +16,4% - по грузообороту; внутренний водный +10,8%-по объему перевозок, +2,3% - по грузообороту.

В 2021 году показатели работы морского и речного флота также имели положительную динамику относительно 2019 года, хороший прирост показал грузооборот на внутреннем водном транспорте (+12,4%).

В 2022 году на работу транспорта, в особенности морского, существенное влияние оказали введенные против России санкции: запрет захода в европейские порты, запрет на экспорт, импорт ряда товаров и др. В ответ на эти санкции Президентом были подписаны законы о введении контрсанкций: 14.03.2022 - об ограничении захода иностранных морских судов из списка недружественных стран в отечественные порты и на внутренние водные пути; 15.04.2022 - о снятии ограничений, связанных с использованием для внутренних перевозок иностранных контейнеров, временно ввезенных на территорию РФ.

Для преодоления последствий санкций проводится активная политика создания новых транспортных маршрутов, прежде всего коридоров Восточного и Азово-Черноморского направлений, а также международного транспортного коридора «Север – Юг». Проведенные мероприятия обеспечили существенный прирост (+13,3%) за первое полугодие 2022 года объемов перевозки грузов морским транспортом, другие показатели работы флота находятся примерно на уровне прошлого года.

Важнейшая задача в условиях санкций – развитие Северного морского пути. Этот безопасный маршрут проходит в экономической зоне нашей страны, которая дает весомый вклад в ВВП - 6,2%. По данным ФБУ «Администрация Северного морского пути» в 2019-2021 гг. сохранилась положительная динамика в отношении объемов перевозок по Северному морскому пути (2019 г.-31 531,2 тыс. тонн, 2020 г. – 32 978,9 тыс. тонн, 2021 г. – 34867 тыс. тонн) [15]. Грузопоток по Северному морскому пути (СМП) в первом полугодии 2022 года превысил план на 5%. Однако, грузоперевозки по Северному морскому пути в 2022 году, по прогнозу, составят чуть менее 34 млн. тонн, что примерно на 2,7% меньше уровня прошлого года. Снижение транзита произошло по геополитическим причинам, в то же время объем перевозок российских грузов по СМП в 2022 году по прогнозу вырастет по сравнению с 2021 годом приблизительно на 2,5% [16].

Значительно «пострадал» в 2020 году сектор пассажирских перевозок по причине введенных регионами длительных ограничительных мер. Открытие пассажирской навигации на внутреннем водном транспорте было перенесено на более поздние сроки, остановилось морское круизное судоходство. Самые тяжелые последствия выпали на долю круизных компаний: некоторые были полностью лишены работы, другие могли отработать, по существу, лишь 2 месяца из всей навигации и только с российскими туристами; большинство круизных судов в эксплуатацию не вводились. Пассажирооборот морского транспорта снизился в 2020 году на 36,6 %, на внутреннем водном транспорте – на 57,1%.

Естественно, что пандемия еще будет оказывать влияние на деятельность пассажирского транспорта в связи тем, что она изменила транспортные привычки людей. И хотя пик заболеваемости был пройден, аналогичные показатели морского и внутреннего водного транспорта в 2021 году не достигли своего «допандемийно» значения (табл.1). Но, начиная с 2021 года, мы наблюдаем постепенное восстановление активности пассажиров и увеличение популярности морских а,

особенно, речных поездок (по результатам работы за 1-ое полугодие 2022 года прирост на речных перевозках составил 22,2%).

В 2022 году бронирование круизных туров в первом полугодии возросло в 7 раз по сравнению с 2021 годам. По программе туристического кэшбэка круизы приобрели более 100 тыс. человек. Ожидается, что в 2022 году около 700 человек отдохнут на пассажирских круизных лайнерах [11].

В период коронавируса и санкционного кризиса экономика транспорта столкнулась с «эффектами дезорганизации» [1], что влечет за собой дополнительные издержки для того, чтобы поддерживать сложившиеся бизнес-процессы. В части трудовых ресурсов – это проблемы смены экипажей судов [17-19].

Закрытие границ в 2020 году вызвало проблему смены экипажей судов. По информации профсоюза, более 100 тысяч российских моряков продолжали получать зарплату и снабжение, но при этом находились на борту судов сверх контрактного срока [17]. Учитывая сложившиеся условия, Морская администрация России продлила действие квалификационных документов членов экипажей судов, срок действия которых истек, до 30.06.2021.

В сентябре 2022 года наметилась следующая кадровая проблема – замещение призванных в рамках частичной мобилизации членов плавсостава. Российский профессиональный союз моряков в сентябре 2022 года обратился в Правительство РФ о рассмотрении возможности освобождения моряков от призыва на военную службу по мобилизации, выражая обеспокоенность тем, что может возникнуть дефицит квалифицированных морских кадров, замену которых найти достаточно сложно, учитывая требования различных подготовок как для рядового, так и для командного состава [20].

Кроме того, может возникнуть проблема, связанная с визовыми ограничениями для российских граждан, введёнными в сентябре 2022 года, так как около 30 тысяч российских моряков продолжают работать на судах европейских судоходных компаний [21].

Перевалка грузов

Рассмотрим объемы перевалки грузов в морских и внутренних портах России (табл. 2).

Таблица 2

Объёмы погрузо-разгрузочной деятельности в морских портах и на внутреннем водном транспорте

	2019 г.	2020 г.	2020 г. к 2019 г.,%	2021 г.	2021 г. к 2019 г. ,%	1-ое полугодие 2022 г.	1-ое полуг. 2022 г. к 1-му полуг. 2021 г.,%
<i>Объем перевалки грузов в морских портах Российской Федерации, млн тонн</i>							
Всего грузов	840,2	820,9	97,7	835,2	99,4	410,1	99,5
в том числе:							
сухогрузы	376,0	404,7	107,6	412,9	109,8	190,0	94,6
из них грузы в контейнерах	56,5	57,7	102,1	61,2	108,3	24,1	79,2
наливные	464,2	416,2	89,6	422,4	90,9	220,1	104,1
<i>Объем погрузочно-разгрузочной деятельности на внутреннем водном транспорте, млн. тонн</i>							

Всего грузов портовых и кооперированных	126,5	123,6	97,8	126,3	99,8	39,3	97,1
в том числе:							
сухогрузы	119,3	117,2	98,2	119,1	99,8	37,5	98,6
из них в контейнерах	1,164	1,141	98,0	1,281	110,0	0,329	126,2
наливные	7,168	6,42	89,5	7,14	99,6	1,784	73,4

Составлено автором по данным Минтранса России <https://mintrans.gov.ru> [15].

Грузооборот морских портов России по итогам 2020 года сократился на 2,3% до 820,77 млн тонн на фоне падения перевалки наливных грузов (на 10,4%, до 416,05 млн тонн в связи с сокращением добычи нефти по сделке ОПЕК), а также снижения перевалки грузов на парамах и накатных грузов на 12%. Объем перевалки сухих грузов при этом увеличился на 7,6% – до 404,7 млн тонн. Перевалка на внутреннем водном транспорте сократилась в 2020 году на 2,2 % , в большей степени за счет наливных грузов (снижение нефтепродуктов на экспорт)

По итогам 2021 года перевалка грузов в морских портах увеличилась на 1,7% до 835,2 млн тонн. Росту перевалки способствовала благоприятная конъюнктура мирового рынка на фоне восстановления экономик после развития пандемии COVID-19 и предпринятых мер по ограничению её распространения. Прирост перевалки по итогам 2021 года наблюдался по многим грузам: грузы в контейнерах (+6,1%) нефтеналивные (+4%), уголь и кокс (+7,6%), однако в ряде случаев имелась отрицательная динамика, например, перевалка зерна в 2021 году сократилась на 15,8%. [22].

За первое полугодие 2022 года грузооборот морских портов РФ за 6 месяцев 2022 остался на уровне прошлого года, достигнув 410,1 млн тонн. При этом значительно снизился контейнерный грузооборот, а перевалки нефтепродуктов выросли. Порты Юго-Восточного региона занимали первое место по объемам переработанных грузов.

Влияние геополитической обстановки продолжает сказываться на грузообороте морских портов за 3 квартал 2022 года. Перевалка грузов в российских портах снизилась на 0,5% к аналогичному периоду 2021 года – до 209,1 млн тонн. Это связано с нарушением экономических связей между Россией с одной стороны и Европой, США и иными странами – с другой [23].

Несмотря на введенные санкции, относительно стабилен экспорт угля за счет диверсификации становой структуры экспорта, нефти за счет реорганизации ее поставок, руды, как товара, не попадающего под санкции [23].

Значительно выросла перевалка сжиженных газов (+21,8%), удобрений (+31,1%), что связано с ростом мировых цен, отсутствием принципиальных ограничений на их поставку и с открытием нового терминала по отгрузке удобрений и руд «Ультрамар» на берегу Финского залива.

Максимальное снижение вновь зафиксировано в перевалке грузов в контейнерах (33,3%). Существенное снижение демонстрирует перевалка зерна (-11,2%). Причинами снижения является усложнение фрахтования, страхования и проведения платежей в условиях санкций, а также подписание соглашения о создании «зернового коридора» для вывоза зерна из портов Украины. Снизилась перевалка нефтепродуктов (-4,2%) и черных металлов (-5,9%) в основном за счет ряда терминалов Азово-Черноморского и Балтийского бассейнов соответственно.

Самое заметное снижение перевалки в третьем квартале наблюдалось в Балтийском бассейне (-6,4%) как наиболее ориентированном на экспорт в Европу. Спад произошел и в Каспийском бассейне (-4,4%). В Арктическом и Азово-

Черноморском бассейнах наблюдался небольшой рост перевалки (+1,0% и +0,8% соответственно), а в Дальневосточном – более существенный (+4,2%) [23].

Грузооборот морских портов России за январь-октябрь 2022 года практически остался на уровне аналогичного периода прошлого года и составил 694 млн 546 тыс. тонн. Перевалка сухих грузов составила 332,8 млн тонн (-4%), наливных грузов — 361,7 млн тонн (+3,7%) [24].

Положительная динамика показателей грузовых перевозок и предотвращение банкротства сектора пассажирских перевозок, сохранение объемов перевалки грузов во многом было определено мерами государственной поддержки водного транспорта. В период пандемии 2020 года судоходные компании вошли в перечень системообразующих организаций, их деятельность была включена в перечень наиболее пострадавших от пандемии отраслей. Это позволило предприятиям отрасли получать соответствующие льготы и пользоваться мерами господдержки: отсрочкой по уплате налогов и сборов, снижением ставки страховых взносов, временным мораторием на проверки бизнеса, возможностью получения безвозмездной финансовой помощи и беспроцентного кредита на выплату зарплаты при сохранении определенного уровня занятости [25-26]. Однако, с другой стороны, это снижало оценки заемщиков и усложняло процесс получения льготных кредитов, большинству компаний их получить не удалось. Судоходным компаниям, осуществляющим морские и речные круизные перевозки, из федерального бюджета выделено субсидий на сумму 320 млн рублей для компенсации выплат по договорам лизинга.

В 2022 году пассажирский морской и пассажирский внутренний водный транспорт вошли в перечень отраслей, наиболее пострадавших из-за санкционного давления [27]. Им предоставлена преференция в виде кредитных каникул. В сентябре 2022 г. Правительство России выделило из Резервного фонда Росморречфлоту 1,377 млрд рублей для субсидирования морских грузовых перевозок в Калининградскую область, которая столкнулась с ограничениями на транзит грузов из других регионов страны [28]. К мерам государственной поддержки относятся ряд налоговых и таможенных льгот для судоходных компаний.

Основные тренды развития

Необходимость уменьшить человеческие контакты как мера предосторожности во время пандемии COVID-19 обозначила актуальность использования бесконтактного оказания транспортных услуг. Новая модель отрасли – умный водный транспорт – включает основные направления – e-Навигация и a-Навигация, то есть электронные технологии судовождения и автономное судоходство. Это позволит повысить безопасности судоходства и одновременно снизить себестоимость перевозок. В рамках инициативы «Маяки развития технологий» уже реализуется проект «Автономное судовождение» [11].

Пандемия коронавируса наглядно показала роль цифровой трансформации для развития транспорта. Уже делаются первые шаги перевода госуслуг в транспортной сфере в цифровой вид, до конца 2022 года на портале должно появиться не менее 30 подобных электронных госуслуг: выдача различных специальных разрешений и лицензий на перевозки, выдача удостоверений личности моряка и т.д. Необходимо более активное внедрение цифровых решений, интеллектуальных систем во все сферы деятельности судоходных компаний. Это необходимо для контроля расхода топлива, обеспечения безопасности и безаварийности работы флота.

Важнейшая задача в условиях новых санкций – создание новой экспортно-импортной логистики. Это создание новых транспортных маршрутов, прежде всего коридоров Восточного и Азово-Черноморского направлений, а также

международного транспортного коридора «Север – Юг», который предполагает прямые морские перевозки из России по Каспию в Иран.

Правительством сформирована дорожная карта, которая предусматривает строительство высокотехнологичной инфраструктуры. Общий объем финансирования составляет более 4,5 трлн рублей, в том числе около 300 млрд рублей будет выделено из федерального бюджета [29].

По консервативному варианту прогноза грузопоток всех видов транспорта по направлению «Север – Юг» вырастет к 2030 году на 135% к уровню 2021 года и составит около 32,5 млн тонн, по Азово-Черноморскому направлению – почти на 70%, до 300 млн тонн, по Восточному – на 25%, до 350 млн тонн. [29].

Выводы

Стабильная работа транспортного комплекса — одно из обязательных условий функционирования любого государства. Россия – это мировая держава с огромным транспортным потенциалом, с территорией более 17 млн квадратных километров, богатая природными ресурсами. Россия – самодостаточная страна, чтобы быть уязвимой к санкциям.

Важно добиваться положительных изменений по всем направлениям, несмотря на вызовы, которые несут последствия пандемии и санкционные действия недружественных государств. Это то, что необходимо для обеспечения достойной жизни миллионов граждан, развития самой отрасли и экономики в целом, сохранения страны как важного участника системы глобальной торговли.

Список литературы

1. Инфляционные вызовы периода пандемии и уроки для будущего [Текст]: докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2022 г. / Н. В. Акиндинова (рук. авт. кол.), В. А. Бессонов, Н. В. Кондрашов и др. ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. — 90 с. — ISBN 978-5-7598-2660-6 (в обл.). — ISBN 978-5-7598-2472-5 (e-book).
2. Авксентьев Н. А., Агранович М. Л., Акиндинова Н. В. Общество и пандемия: опыт и уроки борьбы с COVID-19 в России. - Москва: Дело, 2020. - 737 с.
3. Маслов А. А. Китай 2020: пандемия, общество и глобальные альтернативы. - Москва: РИПОЛ классик, 2020. — 367 с.
4. Шеварднадзе С. Будущее сегодня: как пандемия изменила мир. - Москва: Эксмо, 2020. - 221 с.
5. Осипов Ю. М., Архипов А. Ю., Зотова Е. С. Коронованная пандемия и зачарованный мир: монография. - Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2020. - 406 с.
6. Bayramov V. Collateral damage: The Western sanctions on Russia and the evaluation of implications for Russia's post-communist neighbourhood / V. Bayramov, N. Rustamli, G. Abbas // *International Economics*. — August 2020. — Vol. 162. — Pp. 92–109. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2020.01.002>.
7. Шпак П. С. Аналитический прогноз последствий санкций 2022 г. для российской экономики // *Азиатско-Тихоокеанский регион: экономика, политика, право*. 2022. Т. 24, № 2. С. 15–23. <https://doi.org/10.24866/1813-3274/2022-2/15-23> (дата обращения: 08.11.2022)
8. Россия и мир во время и после пандемии COVID-19: вызовы и возможности: Коллективная монография / под редакцией д. э. н., проф. Е. С. Вылковой. — СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2020. — 274 с.
9. Многогранность современной пандемической реальности: Коллективная монография / под редакцией д. э. н., проф. Е. С. Вылковой. — СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2021. — 300 с.
10. Покровская О.Д. Логистические транспортные системы России в условиях новых санкций//Бюллетень результатов научных исследований-2022- Вып. 1 -С.80-94.

11. Лаврищев А.В. Вектор перемен/ Транспорт России, приложение Транспортный вестник ,№ 3- 2022.
12. Транспортная сфера в контексте COVID-19 Дайджест Департамента международного и регионального сотрудничества. Счетная Палата 2020 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-transport.pdf> (дата обращения: 08.11.2022).
13. О внешней торговле в 2021 году [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/26_23-02-2022.html (дата обращения: 08.11.2022).
14. Временные рекомендации, направленные на безопасное функционирование морского и внутреннего водного транспорта в условиях COVID-19, утверждены Министром транспорта Российской Федерации 25.05.2020 .и согласованы Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, письмо от 25.05.2020 № 02/10389-2020-23.
15. Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. Январь – декабрь 2019 года, январь-декабрь 2020 года, январь-декабрь 2021 года, январь - июнь 2022 года [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru> (дата обращения: 08.11.2022).
16. Грузопоток по Северному морскому пути в первом полугодии 2022 года превысил план на 5%. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://portnews.ru/news/333134/> (дата обращения: 08.11.2022).
17. Водный транспорт в условиях пандемии/Морские вести России № 6, 2020 г. с. 10.
18. В условиях глобальной пандемии - приравнять моряков к «ключевым работникам» /Морские вести России № 7, 2020 г. с. 9.
19. Лаврентьева Е.А Трансформация трудовых процессов на водном транспорте в условиях пандемии В сборнике: Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова". Сборник научных статей конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 301-307.
20. Российский профсоюз моряков просит предоставить морякам право на отсрочку по мобилизации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://portnews.ru/news/336232/>(дата обращения: 08.11.2022).
21. Российские моряки дают четкий сигнал /Морские вести №14 (549) – 2022.
22. Порты России по итогам 2021 года: инфографика и аналитика [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://portnews.ru/news/324105/> (дата обращения: 11.11.2022).
23. Порты России в III квартале 2022 года: инфографика и аналитика [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://portnews.ru/news/337136/> (дата обращения: 11.11.2022).
24. Грузооборот морпортов России за 10 месяцев почти не изменился к уровню годом ранее и составил 694,5 млн тонн [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://portnews.ru/news/338404/>(дата обращения: 11.11.2022).
25. Господдержка как залог восстановления экономики / Морские вести России № 5, 2020 г. с. 8.
26. Постановление Правительства РФ от 03.04.2020 N 434 «Об утверждении перечня отраслей российской экономики, в наибольшей степени пострадавших в условиях ухудшения ситуации в результате распространения новой коронавирусной инфекции» (с изм. и доп.)
27. Постановление Правительства РФ от 10 марта 2022 г. N 337 "Об утверждении перечня отраслей, в которых осуществляет деятельность заемщик, указанный в части 1 статьи 7 Федерального закона "О внесении изменений в Федеральный закон "О Центральном банке Российской Федерации (Банке России)" и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части особенностей изменения условий кредитного договора, договора займа" и о признании утратившими силу отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями).
28. Поддержка Калининградской области /Морские вести №14 (549) – 2022

29. Кабмин заложил до 2030 года свыше 4,5 трлн рублей на создание новой экспортно-импортной логистики [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rg.ru/2022/10/18/kabmin-zalozhil-do-2030-goda-svyshe-45-trln-rublej-na-sozdanie-novoj-eksportno-importnoj-logistiki.html>

References

1. Inflationary challenges of the pandemic period and lessons for the future [Text]: dokl. to the XXIII Yasinskaya (April) International Scientific Conference on problems of Economic and Social Development, Moscow, 2022 / N. V. Akindinova (author's col.), V. A. Bessonov, N. V. Kondrashov et al.; Nats. research. uni-t "Higher School of Economics". - Moscow : Publishing House of the Higher School of Economics, 2022. — 90 p. — ISBN 978-5-7598-2660-6 (in the region). — ISBN 978-5- 7598-2472-5 (e-book).
2. Avksentiev N. A., Agranovich M. L., Akindinova N. V. Society and the pandemic: experience and lessons of combating COVID-19 in Russia. - Moscow: Delo, 2020. - 737 p.
3. Maslov A. A. China 2020: pandemic, society and global alternatives. - Moscow: RIPOLL classic, 2020. — 367 p.
4. Shevardnadze S. The future today: how the pandemic changed the world. - Moscow: Eksmo, 2020. - 221 p.
5. Osipov Yu. M., Arkhipov A. Yu., Zotova E. S. The crowned pandemic and the enchanted world: monograph. - Rostov-on-Don; Taganrog: Publishing House of the Southern Federal University, 2020. - 406 p.
6. Bayramov V. Collateral damage: The Western sanctions on Russia and the evaluation of implications for Russia's post-communist neighbourhood / V. Bayramov, N. Rustamli, G. Abbas // International Economics. — August 2020. — Vol. 162. — Pp. 92-109. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2020.01.002>.
7. Shpak P. S. Analytical forecast of the consequences of sanctions in 2022 for the Russian economy // Asia-Pacific region: economics, politics, law. 2022. Vol. 24, No. 2. pp. 15-23. <https://doi.org/10.24866/1813-3274/2022-2/15-23> (accessed: 08.11.2022)
8. Russia and the world during and after the COVID-19 pandemic: Challenges and opportunities: A collective monograph / edited by Doctor of Economics, prof. E. S. Vylkova. — St. Petersburg: Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions, 2020. - 274 p
9. The versatility of modern pandemic reality: A collective monograph / edited by Doctor of Economics, prof. E. S. Vylkova. — St. Petersburg: Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions, 2021. — 300 p.
10. Pokrovskaya O.D. Logistics transport systems of Russia under new sanctions//Bulletin of Research Results-2022- Issue 1 -pp.80-94.
11. Lavrishchev A.V. Vector of Changes/ Transport of Russia, appendix Transport Bulletin, No. 3- 2022.
12. Transport sphere in the context of COVID-19 Digest of the Department of International and Regional Cooperation. Accounting Chamber 2020 [Electronic resource]. — Access mode: <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-transport.pdf> (accessed: 08.11.2022).
13. On foreign trade in 2021 [Electronic resource]. — Access mode: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/26_23-02-2022.html (date of appeal: 08.11.2022).
14. Temporary recommendations aimed at the safe functioning of maritime and inland waterway transport in the conditions of COVID-19 were approved by the Minister of Transport of the Russian Federation on 25.05.2020 and approved by the Head of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation Federation, letter dated 05/25/2020 No. 02/10389-2020-23.
15. Transport of Russia. Information and statistical bulletin. January – December 2019, January-December 2020, January-December 2021, January-June 2022 [Electronic resource]. — Access mode: <https://mintrans.gov.ru> (accessed: 08.11.2022).
16. Cargo traffic along the Northern Sea Route in the first half of 2022 exceeded the plan by 5%. [electronic resource]. — Access mode: <https://portnews.ru/news/333134/> (accessed: 08.11.2022).
17. Water transport in a pandemic/Marine News of Russia No. 6, 2020, p. 10.
18. In the conditions of a global pandemic - equate seafarers to "key workers" / Marine News of Russia No. 7, 2020 p. 9.

19. Lavrentieva E.A. Transformation of labor processes on water transport in the conditions of a pandemic In the collection: Collection of scientific articles of the national scientific and practical conference of the teaching staff of the GUMRF named after Admiral S.O. Makarov". Collection of scientific articles of the conference. St. Petersburg, 2022. pp. 301-307.
20. The Russian Seafarers' Trade Union asks to grant seafarers the right to delay mobilization [Electronic resource]. — Access mode: <https://portnews.ru/news/336232> /(date of address: 08.11.2022).
21. Russian sailors give a clear signal /Sea news №14 (549) – 2022.
22. Ports of Russia by the end of 2021: infographics and analytics [Electronic resource]. — Access mode: <https://portnews.ru/news/324105> // (date of request: 11.11.2022).
23. Ports of Russia in the III quarter of 2022: infographics and analytics [Electronic resource]. — Access mode: <https://portnews.ru/news/337136> / (date of request: 11.11.2022).
24. The cargo turnover of Russian seaports for 10 months has almost not changed to the level a year earlier and amounted to 694.5 million tons [Electronic resource]. — Access mode: <https://portnews.ru/news/338404> /(date of request: 11.11.2022).
25. State support as a guarantee of economic recovery / Marine News of Russia No. 5, 2020, p. 8.
26. Decree of the Government of the Russian Federation of 03.04.2020 N 434 "On approval of the list of sectors of the Russian economy most affected by the deterioration of the situation as a result of the spread of a new coronavirus infection" (with amendments and additions)
27. Resolution of the Government of the Russian Federation of March 10, 2022 N 337 "On Approval of the List of Industries in which the Borrower Operates, Specified in Part 1 of Article 7 of the Federal Law "On Amendments to the Federal Law "On the Central Bank of the Russian Federation (Bank of Russia)" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation regarding the Specifics of the Change the terms of the loan agreement, the loan agreement" and on the invalidation of certain provisions of certain acts of the Government of the Russian Federation" (with amendments and additions).
28. Support of the Kaliningrad region /Marine News No. 14 (549) – 2022
29. The Cabinet of Ministers has pledged over 4.5 trillion rubles until 2030 to create a new export-import logistics [Electronic resource]. — Access mode: <https://rg.ru/2022/10/18/kabmin-zalozhil-do-2030-goda-svyshe-45-trln-rublej-na-sozdanie-novoj-eksportno-importnoj-logistiki.html>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Крайнова Вера Владимировна, к.э.н., доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и финансов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: krainova.vv@vsuwt.ru

Vera V. Krainova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Accounting, Analysis and Finance, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 14.11.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 14.11.2022; published online 20.12.2022.

УДК 656.624.3

DOI:10.37890/jwt.vi73.318

Методика определения оптимального территориального размещения транспортно-логистических терминалов на речном транспорте

Ничипорук А.О.¹

ORCID 0000-0002-7763-2829

Карташова О.И.²

Ганчеренок И.И.³

ORCID 0000-0003-3537-390X

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

²*Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф.М. Апраксина – филиал «Волжского государственного университета водного транспорта», Астрахань, Россия*

³*Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций, Белорусского национального технического университета, Республика Беларусь, Минск*

Аннотация. В статье рассматривается проблема определения оптимального местоположения грузовых терминалов в системе доставки грузов. Рассматриваются методы и подходы, с помощью которых традиционно решается данная задача. На основании анализа научных публикаций сделан вывод о целесообразности использования для решения обозначенной задачи метода центра тяжести грузопотоков. Сделаны предложения по доработке данного подхода с учетом ряда дополнительных критериев, имеющих значение для заинтересованных участников в транспортно-логистической системе доставки. Разработана и представлена методика определения оптимального места территориального размещения терминала в системе перевозок грузов по международному транспортному коридору с участием речного транспорта. Приведены результаты апробации методики на контрольном примере по перевозкам зерна в рамках международного транспортного коридора «Север-Юг». Сделаны выводы о возможности использования предлагаемой методики при формировании опорной сети терминалов в транспортно-логистических системах доставки грузов в международном и региональном сообщении, а также возможных направлениях её развития.

Ключевые слова: метод центра тяжести грузопотоков, речной транспорт, транспортно-логистические терминалы.

Methodology for determining the optimal territorial location of river transport logistics terminals

Andrey O. Nichiporuk¹

ORCID 0000-0002-7763-2829

Olga I. Kartashova²

Igor I. Hancharonak³

ORCID 0000-0003-3537-390X

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

²*Caspian Institute of Sea and River Transport named after General-Admiral F.M. Apraksin – the affiliation of the «Volga State University of Water Transport», Astrakhan, Russia*

³Belarus-Uzbek Intersectoral Institute of Applied Technical Qualifications, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The article discusses the problem of determining the optimal location of cargo terminals in the cargo delivery system. The methods and approaches by which this task is traditionally solved are considered. Based on the analysis of scientific publications, it was concluded that it is advisable to use the center of gravity method of cargo flows to solve the indicated problem. Proposals have been made to finalize this approach, taking into account a number of additional criteria that are important for interested participants in the transport and logistics delivery system. The methodology for determining the optimal location of the terminal in the system of cargo transportation along the international transport corridor with the participation of river transport has been developed and presented. The results of testing of the methodology on the reference example on grain transportation within the framework of the international transport corridor "North-South" are given. Conclusions were drawn on the possibility of using the proposed methodology in the formation of a reference network of terminals in transport and logistics systems for the delivery of goods in international and regional traffic, as well as possible directions for its development.

Keywords: method of center of gravity of cargo flows, river transport, transport and logistics terminals.

Введение

При моделировании и последующей оптимизации сети транспортно-логистических терминалов важное значение имеет как выбор подходящего по функционалу программного обеспечения, так и методы, положенные в основу оптимизационных параметров, а также критерии, которые используются при оптимизации и поиске наилучшего варианта построения рассматриваемой сети.

Следует отметить, что зачастую рассматриваемая терминальная сеть обслуживается одним видом транспорта (как правило, автомобильным), из-за чего оптимизационная задача существенно упрощается. С другой стороны, даже в этом конкретном случае мы можем иметь дело с разными типами подвижного состава, широкой номенклатурой перевозимых грузов, множеством привлекаемых компаний-перевозчиков и так далее. То есть, даже в такой постановке задача может быть осложнена.

Если же терминальная сеть представляет собой транспортную инфраструктуру какого-либо региона или транзитную часть международного транспортного коридора, то к перечисленным варьируемым параметрам добавятся различные виды транспорта, типы и оснащённость терминалов. Таким образом, сложность оптимизационной задачи возрастет многократно. И в этих условиях правильно выбранный алгоритм оптимизации транспортно-логистической сети, математическое и другое описание процессов, существующих в рамках рассматриваемой сети, а также простота и степень автоматизации проведения необходимых расчетов (или части из них) могут значительно повысить эффективность моделирования и позволить быстро находить требуемые оптимальные решения.

Обзор существующих подходов и задачи разработки методики

Традиционно для нахождения оптимального места размещения терминала или какого-либо другого объекта транспортно-логистической сети в рамках применения аналитического подхода используется метод центра тяжести грузопотоков [1, 2]. Однако у него имеется множество модификаций в зависимости от нужд исследователей, сложности терминальной сети и функционирующих в ней объектов и контрагентов.

В статье [1] авторами используется упрощенная версия метода, без учета размеров грузопотоков, а только расстояний между пунктами терминальной сети. Данный подход можно использовать в том случае, когда мы не располагаем данными о предполагаемых объемах перевозок либо они равны между собой – тогда условно можно принять все грузопотоки равными единице, перейдя к упрощенной формуле метода. Однако такое упрощение в итоге ведет к получению неоптимальных вариантов решений.

Есть ряд предложений по определению местоположения терминалов или объектов логистической сети без применения метода центра тяжести грузопотоков [3, 4]. Суть их сводится к тому, что оценка и последующий выбор точек терминальной сети производятся на основании экспертных или иных оценок по ряду критериев (факторов). Полученные оценки сводятся к единому значению либо сравниваются в совокупности. В результате сравнения результатов выбирается один или несколько наилучших вариантов размещения опорных терминалов в ряде пунктов. Широкое использование данного подхода связано с относительной простотой его использования (не нужно разрабатывать аналитические выражения, вводить для них значения показателей и создавать соответствующие базы данных). Однако имеются здесь и существенные недостатки, на наш взгляд, делающие подход неприменимым для оптимизации крупной и сложной транспортно-логистической сети. Во-первых, правильность и адекватность оценок и используемых удельных весов во многом зависят от квалификации и опыта привлекаемых экспертов и аналитиков, что уже позволяет подвергнуть сомнению любые полученные результаты. Во-вторых, и это самое главное, в [3, 4] производится оценка существующих пунктов логистической сети, без возможности оценки потенциального размещения терминалов в новых местах. Следовательно, серьезно сужается сфера применимости данного подхода, особенно при проектировании транспортно-логистических терминальных сетей.

Однако имеются более интересные подходы, усложняющие или дополняющие обычный метод центра тяжести грузопотоков, благодаря чему оптимизационный процесс представляется более эффективным, позволяющим получить достоверные результаты.

В работе [5] вместо размеров грузопотоков используется показатель «веса спроса» (по сути, качественная характеристика объема грузопотока, позволяющая уйти от использования и необходимости нахождения количественного значения), а также коэффициент, уточняющий величину расстояния между пунктами. Следует отметить, что последний параметр позволяет учесть различия в расстояниях при движении по транспортным путям, которые, как правило, отличаются от расстояний между пунктами по прямой.

Авторы статьи [6] также предлагают учитывать реальные расстояния перевозок, для чего в предлагаемом методе используется инструментарий географических информационных систем. После получения первых результатов поиска оптимального решения на втором этапе варианты дополнительно оцениваются по ряду критериев (с использованием удельных весов). Таким образом, получается комбинация метода центра тяжести грузопотоков и метода экспертных оценок.

В [7] дополнительно транспортная составляющая уточнена с учетом возможной (и в реальности существующей) разницы в тарифах перевозчиков на различных видах транспорта в зависимости от используемого подвижного состава, загрузки, расстояния перевозки и так далее. В статье [2] формулы метода центра тяжести грузопотоков уточнены в целях определения количества и минимизации выбросов углекислого газа автотранспортом. Другие критерии при этом из рассмотрения опускаются, что, на наш взгляд, некорректно.

В работе [8] центр тяжести грузопотоков используется для поиска оптимальных мест размещения пунктов обслуживания по ряду регионов. При этом не учитывается, что в каждом регионе может располагаться несколько таких пунктов (идет поиск

обязательно только одной точки), а также возможность взаимных перевозок и перемещения продукции между пунктами разных регионов.

Интерес представляют методы, предлагаемые в [9] и [10]. В этих работах для более корректного учета возможности создания опорных пунктов в новых местах вводится стоимостная оценка затрат на строительство (соответственно, для существующих терминалов она равна нулю, для новых – определенному фиксированному значению). При этом в обеих методиках нет допущения, что затраты на создание терминала в одной и той же точке могут отличаться в зависимости от потребного функционала, используемого оборудования, применяемой технологии и технического оснащения. Хотя данная ситуация, когда характеристики терминалов определяют различия в их стоимости (и весьма существенные), согласно [11-13], достаточно часто встречается.

В [14] в метод центра тяжести грузопотоков вводится параметр транспортной составляющей для более точного учета расстояний, причем не только до точки предполагаемого места размещения терминала, но и также до других, таких же терминалов.

Рассмотренные публикации и описанные в них методы и подходы показывают, с одной стороны, единство в общем направлении выбора методов оптимизации и определения мест расположения объектов транспортно-логистической сети. С другой стороны, в зависимости от конечных целей использования методов или значимости тех или иных избранных критериев, имеют место различные модификации известных методов, а также различная степень их формализации.

В связи с этим для разработки метода обоснования оптимального территориального размещения транспортно-логистических терминалов (в том числе речных) или оптимизации их сети представляется необходимым формирование набора требований и критериев, имеющих значение, а также учитывающих специфику функционирования системы комбинированных перевозок, их инфраструктурного обеспечения на различных видах транспорта.

Материалы и методы

Метод обоснования оптимального территориального размещения транспортно-логистических терминалов или оптимизации их сети должен формироваться по результатам выполнения следующего алгоритма:

1. Рассмотрение существующих подходов и методов определения оптимального местоположения и рекомендаций по размещению транспортно-логистических терминалов и других объектов логистической инфраструктуры.
2. Выделение преимуществ и недостатков различных методов с целью определить, какие из них следует использовать, какие – отвергнуть, а какие следует учесть, но только при определенном развитии и доработке.
3. Формулировка требований к разрабатываемому методу территориального размещения транспортно-логистических терминалов с учетом специфики функционирования речного и других видов транспорта, а также условий осуществления перевозочной деятельности (например, в рамках международных транспортных коридоров или системы региональных перевозок).
4. Разработка и формализация методики определения оптимального места расположения терминалов в системе комбинированных перевозок с участием речного транспорта.

5. Апробация разработанной методики на примере какой-либо формируемой или действующей транспортной сети (международного транспортного коридора и др.).

Анализ публикаций и источников, описывающих и предлагающих различные модификации метода центра тяжести грузопотоков или его альтернатив, нами проведен выше. Там же указаны преимущества и недостатки существующих подходов, которые необходимо учитывать при разработке нового метода определения территориального размещения транспортно-логистических терминалов.

С учетом выполненного анализа, по мнению авторов, применительно к условиям функционирования международного транспортного коридора методика определения оптимального местоположения терминала в системе комбинированных грузовых перевозок должна учитывать следующие требования:

- поиск оптимального места расположения должен учитывать не только географическое положение источников грузопотоков (производителей, грузоотправителей), но также и стоимость транспортирования грузов;
- стоимость транспортирования грузов должна включать доставку от источника грузопотока на терминал и последующую доставку на ключевые пункты дальнейшего грузодвижения в рамках коридора (в нашем случае – порты перевалки грузов с сухопутных и речного вида транспорта на морской транспорт);
- перевозка груза может осуществляться различными видами транспорта, в том числе с распределением грузопотока между основными тремя видами транспорта – водным, автомобильным и железнодорожным;
- терминал может быть образован на базе уже имеющегося перегрузочного пункта (при необходимой модернизации и развитии имеющейся инфраструктуры), либо спроектирован и построен;
- терминал может быть рассчитан на грузопереработку определенного рода груза либо являться универсальным, обеспечивая перевалку нескольких обусловленных грузов.

Результаты

Для нашего случая может быть использован метод центра тяжести грузопотоков, широко применяемый в логистике. Однако, учитывая, что он имеет ряд недостатков, таких, как учет расстояния между основными пунктами по прямой, а также игнорирование топографии местности, нам придется модифицировать данный подход, приведя его к форме, удобной для учета названных выше требований.

В классической формулировке координаты центра тяжести грузопотоков, указывающие на оптимальное место расположения склада или распределительного центра, определяются по выражениям:

$$X_{\text{ц}} = \frac{\sum X_i \cdot Q_i}{\sum Q_i};$$
$$Y_{\text{ц}} = \frac{\sum Y_i \cdot Q_i}{\sum Q_i},$$

где X_i и Y_i – координаты i -го потребителя;

Q_i – грузооборот i -го потребителя;

$X_{\text{ц}}$ и $Y_{\text{ц}}$ – координаты центра тяжести грузопотоков.

Для учета стоимости транспортировки данные выражения необходимо привести к виду:

$$X_{\text{т}} = \frac{\sum X_i \cdot Q_i \cdot T_{ij}}{\sum Q_i \cdot T_{ij}};$$

$$Y_T = \frac{\sum Y_i \cdot Q_i \cdot T_{ij}}{\sum Q_i \cdot T_{ij}},$$

где T_{ij} – стоимость доставки груза i -го грузовладельца j -ым видом транспорта, руб./ткм;

X_T и Y_T – координаты места расположения терминала.

Поскольку кроме консолидирующихся (распределяемых) грузопотоков для терминала имеется исходящий (входящий) грузопоток, идущий от терминала по транспортному коридору, этот дополнительный объем груза, проходящий через ключевые пункты коридора, также должен быть учтен. В результате выражение примет вид:

$$X_T = \frac{\sum X_i \cdot Q_i \cdot T_{ij} + X_k \cdot T_k \cdot \sum Q_i}{\sum Q_i \cdot T_{ij} + T_k \cdot \sum Q_i};$$

$$Y_T = \frac{\sum Y_i \cdot Q_i \cdot T_{ij} + Y_k \cdot T_k \cdot \sum Q_i}{\sum Q_i \cdot T_{ij} + T_k \cdot \sum Q_i},$$

где X_k и Y_k – координаты места расположения ключевого пункта транспортного коридора, на или через который происходит вывоз (ввоз) грузов с консолидирующего (распределительного) терминала;

T_k – стоимость доставки груза с терминала на ключевой пункт транспортного коридора (или наоборот, в зависимости от направления грузопотока), руб./ткм;

Следует отметить, что предлагаемый методический подход имеет ряд ограничений в своем применении. В частности, предполагается, что вывоз или ввоз груза на терминал осуществляется только одним видом транспорта (поэтому в выражениях отсутствует суммирование по признаку j), тогда как в реальности различные виды транспорта могут одновременно использоваться для осваивания крупного грузопотока. Также не рассчитано, что терминалов в рамках транспортного коридора может быть несколько (идет поиск координат только одного центра тяжести), и более того, что на их обустройство и модернизацию могут потребоваться дополнительные инвестиции, в результате чего найденное решение окажется неоптимальным, а в ряде случаев и невозможным для реализации.

Таким образом, использование последних выражений следует рекомендовать для первоначального, примерного определения местоположения терминальных комплексов в рамках транспортного коридора. На втором этапе необходимо будет производить сравнительную оценку приемлемых вариантов создания или модернизации существующих терминалов и организации грузодвижения через них. К сожалению, объединения этих двух этапов в единый математический аппарат данный метод не предусматривает.

Указанные выше ограничения обуславливают необходимость рассмотрения различных вариантов организации работы терминалов в транспортных коридорах, что ведет к другой постановке задачи и использованию других методических подходов.

Так, представляется возможным формирование соответствующей экономико-математической модели, сформулированной авторами далее.

Целевая функция – поиск такого места расположения терминала (координат X_T и Y_T), при котором будет достигаться минимальная стоимость транспортирования груза от грузовладельцев на терминал и от терминала к ключевому пункту транспортного коридора, при этом дополнительные затраты на развитие терминальной инфраструктуры также должны быть минимальны:

$$\sum_i (Q_i T_{ij_{X_T Y_T}} + Q_i T_{k_{X_T Y_T}}) + I_{X_T Y_T} \rightarrow \min ,$$

где Q_i – размер грузопотока, перевозимого от i -го грузовладельца, т.;

$T_{ij X_T Y_T}$ – стоимость доставки груза i -го грузовладельца j -ым видом транспорта до терминала, расположенного в координатах X_T и Y_T , руб./ткм;

$T_{k X_T Y_T}$ – стоимость доставки груза с терминала, расположенного в координатах X_T и Y_T , на ключевой пункт транспортного коридора (или наоборот), руб./ткм;

$I_{X_T Y_T}$ – затраты (инвестиции) на модернизацию инфраструктуры или постройку терминала в точке с координатами X_T и Y_T , руб.

В основной модели также должен быть учтен ряд ограничений, о которых было сказано ранее.

Ограничения:

1. Должен быть освоен весь планируемый к транспортированию через транспортный коридор грузопоток:

$$\sum_i Q_i = Q_{\text{МТК}},$$

где $Q_{\text{МТК}}$ – общий грузопоток, планируемый к освоению в рамках международного транспортного коридора, т.

Перевозки между пунктами осуществляются одним из рассматриваемых видов транспорта, поэтому в формуле функции цели отсутствует суммирование по индексу j .

2. Суммарные затраты на модернизацию инфраструктуры или постройку терминала не должны превышать возможности инвесторов:

$$I_{X_T Y_T} \leq I_{\text{пред}},$$

где $I_{\text{пред}}$ – предельный уровень затрат инвесторов в модернизацию существующего или постройку нового терминала, руб.

3. Переменные являются неотрицательными целочисленными величинами:

$$i = 1, 2, \dots, m; i \in I;$$

$$j = 1, 2, \dots, n; j \in J.$$

Для перевозок грузов от конкретного грузовладельца могут одновременно использоваться все доступные виды транспорта при условии совместного освоения грузопотока. В этом случае целевая функция примет вид:

$$\sum_i \sum_j Q_{ij} T_{ij X_T Y_T} + \sum_i Q_i T_{k X_T Y_T} + I_{X_T Y_T} \rightarrow \min;$$

Дополнительное ограничение:

$$\sum_j Q_{ij} = Q_i,$$

где Q_{ij} – размер грузопотока, перевозимого от i -го грузовладельца j -ым видом транспорта, т.;

В зависимости от разнообразия грузов и объемов грузопотоков по районам, прилегающим к транспортному коридору, возможна организация перевалки через несколько перегрузочных пунктов (осуществляется поиск координат нескольких терминалов, предельное количество которых может задаваться):

$$\sum_i \sum_j \sum_t Q_{ijt} T_{ij X_t Y_t} + \sum_i \sum_t Q_{it} T_{k X_t Y_t} + \sum_t I_{X_t Y_t} \rightarrow \min;$$

Дополнительное ограничение:

$$t = 1, 2, \dots, l; t \in T,$$

где Q_{ijt} – размер грузопотока, перевозимого от i -го грузовладельца j -ым видом транспорта через терминал t (находящийся в координатах X_t и Y_t), т.;

$T_{ij X_t Y_t}$ – стоимость доставки груза i -го грузовладельца j -ым видом транспорта до терминала, расположенного в координатах X_t и Y_t , руб./ткм;

$T_{k X_t Y_t}$ – стоимость доставки груза с терминала, расположенного в координатах X_t и Y_t , на ключевой пункт транспортного коридора (или наоборот), руб./ткм;

$I_{X_t Y_t}$ – затраты (инвестиции) на модернизацию инфраструктуры или постройку терминала в точке с координатами X_t и Y_t , руб.

Специализация терминала должна соответствовать роду перегружаемого через него груза (z). В этом случае целевая функция будет определяться следующим выражением:

$$\sum_i \sum_j \sum_t z_{it} Q_{ijt} T_{ij X_t Y_t} + \sum_i \sum_t z_{it} Q_{it} T_{k X_t Y_t} + \sum_t I_{X_t Y_t} \rightarrow \min ;$$

где z_{it} – признак возможности осуществления перевозки i -го груза через терминал t (находящийся в координатах X_t и Y_t), $z_{it} = 0, 1$ (0 – перевозка невозможна, 1 – перевозка возможна).

Итоговый вариант экономико-математической модели с учетом всех ограничений, направленный на поиск оптимального варианта размещения одного или нескольких терминальных комплексов, обеспечивающих освоение всех грузопотоков, проходящих по коридору, примет вид:

$$\sum_i \sum_j \sum_t z_{it} Q_{ijt} T_{ij X_t Y_t} + \sum_i \sum_t z_{it} Q_{it} T_{k X_t Y_t} + \sum_t I_{X_t Y_t} \rightarrow \min ;$$

Ограничения:

$$\sum_j \sum_t Q_{ijt} = Q_i ;$$

$$\sum_i \sum_j \sum_t Q_{ijt} = Q_{\text{МТК}} ;$$

$$\sum_t I_{X_t Y_t} \leq I_{\text{пред}} ;$$

$$i = 1, 2, \dots, m; i \in I ;$$

$$j = 1, 2, \dots, n; j \in J ;$$

$$t = 1, 2, \dots, l; t \in T .$$

Для апробации разработанной методики рассмотрим контрольный пример по участку международного транспортного коридора «Север – Юг», охватывающему Астраханскую, Волгоградскую, Самарскую, Саратовскую, Ростовскую, Тамбовскую и Воронежскую области. В качестве обслуживаемого грузопотока выступит зерно, которое активно перевозится в экспортном направлении из России в Иран через порт Астрахань. Этот грузопоток может стать возможной обратной загрузкой для подвижного состава, перевозящего пиломатериалы, промышленное оборудование из Ирана в Европу транзитом через нашу страну.

На рисунке 1 показаны основные грузообразующие пункты в рассматриваемых областях, а также потенциальные объемы для экспорта зерна из страны.

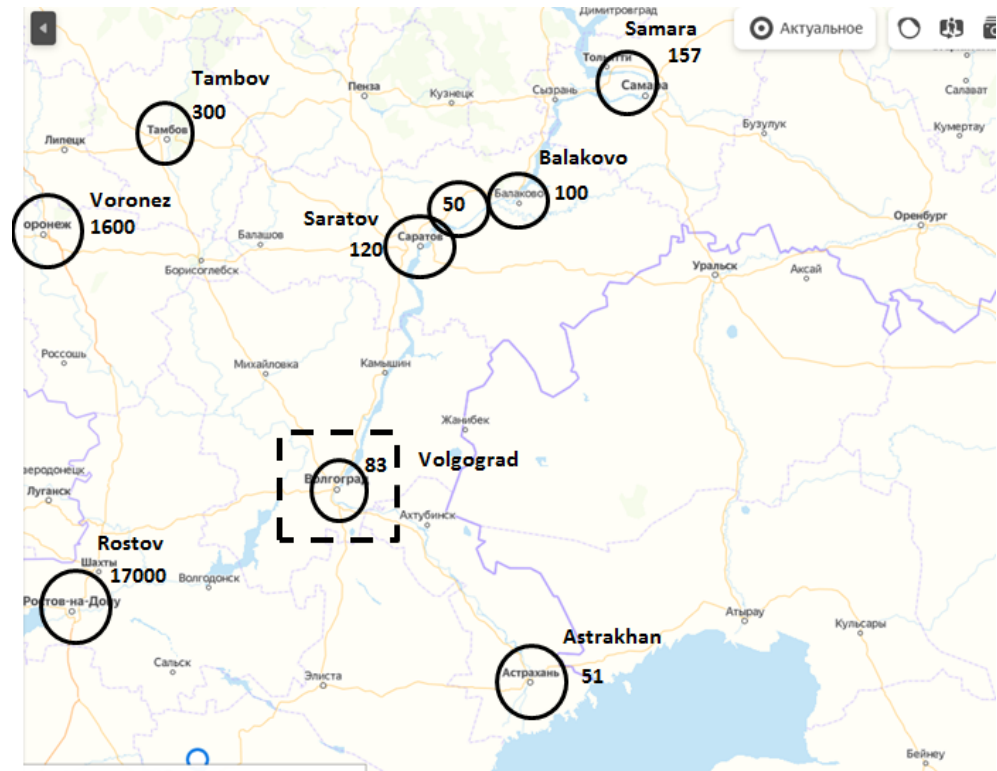


Рис. 1. Источники экспортного грузопотока зерна, следующего из России в Иран, и результат определения оптимального места расположения терминала (выделен пунктиром)

По предложенной методике были произведены расчеты оптимального места расположения терминального комплекса для консолидации имеющихся грузопотоков и экономически оправданной транспортировки с терминала на ключевой пункт транспортного коридора, в качестве которого в нашем примере выступает порт Астрахань (и по которому рассчитывается общий экспортный объем перевозок). Результаты расчета в виде оптимального для размещения терминала района показаны на рисунке пунктиром.

Следует отметить, что задача решалась на поиск одного терминала, обслуживающего весь рассматриваемый район, но также возможен поиск оптимального расположения целой сети терминалов, консолидирующих обслуживаемые грузопотоки по отдельным регионам и областям. Однако для этого следует иметь соответствующую базу данных по грузовладельцам, их экспортно-импортному потенциалу, тарифам местных перевозчиков, пропускным способностям и специализации имеющихся терминалов.

Выводы

Предлагаемый методический подход, основанный на методе центра тяжести грузопотоков, может быть использован для определения оптимального местоположения и размещения транспортно-логистических терминалов в системе комбинированных перевозок с участием речного транспорта. Его также можно использовать при моделировании транспортно-логистических систем доставки грузов с целью их оптимизации, а также нахождения оптимальной схемы территориального размещения воднотранспортных терминалов, при которой взаимодействие речного и

других видов транспорта было бы взаимовыгодным и эффективным как для транспортных организаций, так и для потребителей их услуг.

Рассмотренный пример формирования методики для условий функционирования международного транспортного коридора показывает возможность её использования для различных условий и видов транспортно-логистических систем. Однако при этом необходима модернизация целевой функции, ограничений (существующих, а также ввод ряда дополнительных при необходимости) для отражения специфики той или иной транспортно-логистической системы и адекватности результатов расчетов.

Список литературы

1. Van Thai V., Grewal D. Selecting the location of distribution centre in logistics operations: A conceptual framework and case study // *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*. 2005. Vol. 17. No. 3. Pp. 3–24. doi: 10.1108/13555850510672359
2. Büyüksaatçi S., Ş. Esnaf Ş. Carbon Emission Based Optimisaton Approach for the Facility Location Problem // *TOJSAT: The Online Journal of Science and Technology*. 2014. Vol. 4. No. 1. URL:<http://www.tojsat.net/journals/tojsat/volumes/tojsat-volume04-i01.pdf#page=15>
3. Ližbetin J. Methodology for Determining the Location of Intermodal Transport Terminals for the Development of Sustainable Transport Systems: A Case Study from Slovakia, Sustainability // *Special Issue “Intermodal Transportation and Sustainable Mobility”*. 2019. Vol. 11. Issue 5. doi: 10.3390/su11051230
4. Liang F., Verhoeven K., Brunelli M., Rezaei J. Inland terminal location selection using the multistakeholder best-worst method // *International Journal of Logistics Research and Applications*. 2021. doi:10.1080/13675567.2021.1885634
5. Liu Y., Ren Z. Study on site selection of cold chain logistics in northwest territories // *AIP Conference Proceedings* 1864. 2017. Pp. 020157-1–020157-8. doi:10.1063/1.4992974
6. Bosona T., Nordmark I., Gebresenbet G., Ljungberg D. GIS-Based Analysis of Integrated Food Distribution Network in Local Food Supply Chain // *International Journal of Business and Management*. 2013. Vol. 8. No. 17. Pp. 13–34. doi:10.5539/ijbm.v8n17p13
7. Almetovaa Z., Shepelev V., Shepelev S. Cargo Transit Terminal Locations According to the Existing Transport Network Configuration // *International Conference on Industrial Engineering, Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. Pp. 1396–1402. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.335
8. Nahleh Y.A., Kumar A., Daver F. Facility Location Problem in Emergency Logistic // *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*. 2013. Vol. 7. No. 10. https://www.academia.edu/download/43650813/Facility_Location_Problem_in_Emergency_L20160312-1543-th7iy8.pdf
9. Slabinac M. Approaches to distribution centre's location problem and its role in green supply chain management // *Business Logistics in Modern Management*. 2013. Vol. 13. <http://www.efos.unios.hr/repec/osi/bulimm/PDF/BusinessLogisticsinModernManagement13/blimm1309.pdf>
10. Li L., Zhang J. Logistics Distribution Center Location Optimizatio Model An Example Study // *13th Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM 2016), MATEC Web Conf*. 2017. Vol. 100. doi: 10.1051/mateconf/201710002026
11. Никулина М.В., Подобед В.А. Особенности обоснования эффективности строительства речных причалов предприятий // *Научные проблемы водного транспорта*. 2020. №64. С. 164–170. doi:10.37890/jwt.vi64.107
12. Телегин А.И., Нюркин С.И., Нюркин А.В. Анализ требований технического регламента к грузовому речному терминалу для безопасной перегрузки и складирования автотранспортных средств // *Научные проблемы водного транспорта*. 2020. №64. С. 180–185. doi:10.37890/jwt.vi64.109
13. Троилина А.В. Тенденции, факторы и индикаторы развития транзитной транспортной инфраструктуры Российской Федерации // *Научные проблемы водного транспорта*. 2021. №66. С. 123–137. doi:10.37890/jwt.vi66.152

14. Gutierrez M.T.E., Mutuc J.E.S. A Model for Humanitarian Supply Chain: An Operation Research Approach // 7th International Conference on Building Resilience, Procedia Engineering, 2018. Vol. 212. Pp. 659–666. doi: 10.1016/j.proeng.2018.01.085

References

1. Van Thai V., Grewal D. Selecting the location of distribution centre in logistics operations: A conceptual framework and case study, *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 2005, vol. 17, no. 3, pp. 3–24. doi: 10.1108/13555850510672359
2. Büyüksaatçi S., Ş. Esnaf Ş. Carbon Emission Based Optimisation Approach for the Facility Location Problem, *TOJSAT: The Online Journal of Science and Technology*, 2014, vol. 4, no. 1. URL: <http://www.tojsat.net/journals/tojsat/volumes/tojsat-volume04-i01.pdf#page=15>
3. Ližbetin J. Methodology for Determining the Location of Intermodal Transport Terminals for the Development of Sustainable Transport Systems: A Case Study from Slovakia, Sustainability, *Special Issue "Intermodal Transportation and Sustainable Mobility"*, 2019, vol. 11, issue 5. doi: 10.3390/su11051230
4. Liang F., Verhoeven K., Brunelli M., Rezaei J. Inland terminal location selection using the multistakeholder best-worst method // *International Journal of Logistics Research and Applications*. 2021. doi:10.1080/13675567.2021.1885634
5. Liu Y., Ren Z. Study on site selection of cold chain logistics in northwest territories, *AIP Conference Proceedings 1864*, 2017, pp. 020157-1–020157-8. doi:10.1063/1.4992974
6. Bosona T., Nordmark I., Gebresenbet G., Ljungberg D. GIS-Based Analysis of Integrated Food Distribution Network in Local Food Supply Chain, *International Journal of Business and Management*, 2013, vol. 8, no. 17, pp. 13–34. doi:10.5539/ijbm.v8n17p13
7. Almetovaa Z., Shepelev V., Shepelev S. Cargo Transit Terminal Locations According to the Existing Transport Network Configuration, *International Conference on Industrial Engineering, Procedia Engineering*, 2016, vol. 150, pp. 1396–1402. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.335
8. Nahleh Y.A., Kumar A., Daver F. Facility Location Problem in Emergency Logistic, *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 2013, vol. 7, no. 10. https://www.academia.edu/download/43650813/Facility_Location_Problem_in_Emergency_L20160312-1543-th7iy8.pdf
9. Slabinac M. Approaches to distribution centre's location problem and its role in green supply chain management, *Business Logistics in Modern Management*, 2013, vol. 13. <http://www.efos.unios.hr/repec/osi/bulimm/PDF/BusinessLogisticsinModernManagement13/blimm1309.pdf>
10. Li L., Zhang J. Logistics Distribution Center Location Optimization Model An Example Study, 13th *Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM 2016)*, *MATEC Web Conf. 2017*, vol. 100. doi: 10.1051/mateconf/201710002026
11. Nikulina M.V., V. Podobed V.A., Osobennosti obosnovanija jeffektivnosti stroitel'stva rechnyh prichalov predpriyatij [The Features Of Effectiveness Substantiation For Construction Of River Piers Of Enterprises], *Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport]*, 2020, vol. 64, pp. 164–170. doi:10.37890/jwt.vi64.107
12. Telegin A.I., Nyurkin S.I., Nyurkin A.V. Analiz trebovanij tehničeskogo reglamenta k gruzovomu rechnomu terminalu dlja bezopasnoj peregruzki i skladirovaniija avtotransportnyh sredstv [Analysis Of Technical Regulations Requirements To The Cargo River Terminal For The Safe Handling And Storage Of Motor Vehicles], *Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport]*, 2020, vol. 64, pp. 180–185. doi:10.37890/jwt.vi64.109
13. Troilina A.V. Tendencii, faktory i indikatory razvitiija tranzitnoj transportnoj infrastruktury Rossijskoj Federacii [Trends, factors and indicators of development of the transit transport infrastructure of the Russian Federation], *Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport]*, 2021, vol. 66, pp. 123–137. doi:10.37890/jwt.vi66.152
14. Gutierrez M.T.E., Mutuc J.E.S. A Model for Humanitarian Supply Chain: An Operation Research Approach, *7th International Conference on Building Resilience, Procedia Engineering*, 2018, vol. 212, pp. 659–666. doi: 10.1016/j.proeng.2018.01.085

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Andrey O. Nichiporuk, Dr. Sci. (Eng), Assistant Professor, Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterova, 5, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: nichiporouk@rambler.ru

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

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

Ганчеренок Игорь Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, директор Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций, Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: gancher62@mail.ru

Igor I. Gancherenok, Dr. Sci. (Phys & Math), Professor Director of the Belarusian-Uzbek Interdisciplinary Institute of Applied Technical Qualifications, Belarusian National Technical University, 65 Independence Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: gancher62@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.06.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 15.06.2022; published online 20.12.2022.

УДК 629.12.001.2:656.66.
DOI: 10.37890/jwt.vi73.319

Менеджмент процессов как основа совершенствования деятельности речного порта

В.Г. Соловьева

ORCID: 0000-0002-6979-9231

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

Аннотация. Актуальность исследования лежит в плоскости исследования преимуществ использования процессного подхода применительно к системе менеджмента организации, включая такие этапы управления ее процессами, как планирование, обеспечение, реализация, улучшение. В статье приводятся результаты анализа стандартов в области управления качеством в части требований по внедрению процессного подхода, систематизируются данные об элементах процессного подхода и их параметрах, показываются особенности документирования процесса, выявляются основные направления улучшения системы менеджмента с учетом требований отдельных стандартов. На примере речного порта оцениваются основные теоретические аспекты внедрения процессного подхода в деятельность организации водного транспорта, предлагаются практические пути разработки отдельных элементов системы менеджмента качества речного порта. Результаты исследования позволяют сделать вывод о возможности совершенствования деятельности и обеспечения роста удовлетворенности потребителей речного порта на основе непрерывного тотального управления совокупностью взаимосвязанных процессов.

Ключевые слова: управление, система менеджмента качества, процессный подход, соответствие требованиям, речные порты

Process management as a basis for improving the activities of the river port

Vitaliya G. Solovjeva

ORCID: 0000-0002-6979-9231

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The relevance of the study is related to the assessment of the benefits of implementing an organization's quality management system based on the use of a process approach. The study considers the stages of process management - planning, provision, implementation, improvement. The article presents the results of the analysis of the standard requirements in the field of quality management in terms of the process approach implementation, systematizes data on the elements of the process approach and their parameters, shows the features of documenting the process, identifies the main directions for improving the management system, taking into account the requirements of individual standards. On the example of a river port, the main theoretical aspects of the process approach introduction into the activities of a water transport organization are evaluated. It also offers practical ways to develop individual elements of the quality management system of the river port. The results of the study allow us to conclude that it is possible to improve activities and ensure the growth of consumer satisfaction on the basis of continuous total management of a set of interrelated processes of the river port.

Keywords: management, quality management system, process approach, requirement compliance, river ports.

Abstract. The relevance of the study is related to the assessment of the benefits of implementing an organization's quality management system based on the use of a process approach. The study considers the stages of process management - planning, provision, implementation, improvement. The article presents the results of the analysis of the requirements of standards in the field of quality management in terms of the implementation of the process approach, systematizes data on the elements of the process approach and their parameters, shows the features of documenting the process, identifies the main directions for improving the management system, taking into account the requirements of individual standards.

On the example of a river port, the main theoretical aspects of introducing a process approach into the activities of a water transport organization are evaluated. It also offers practical ways to develop individual elements of the quality management system of the river port. The results of the study allow us to conclude that it is possible to improve activities and ensure the growth of consumer satisfaction on the basis of continuous total management of a set of interrelated processes of the river port.

Keywords: management, quality management system, process approach, requirement compliance, river ports.

Введение

Устойчивый успех, основанный на функционировании результативной системы менеджмента качества (далее – СМК), рассматривается как приоритетная цель организации любой формы собственности и отраслевой принадлежности. Согласно международному стандарту ISO 9001:2015¹² и идентичному ему национальному стандарту ГОСТ Р ИСО 9001-2015¹³ (далее - ИСО 9001) решение организации о внедрении СМК является «стратегическим решением, которое может помочь улучшить ее показатели деятельности». В первую очередь, подобные улучшения позволяют идентифицировать и использовать возможности роста удовлетворенности заинтересованных сторон, в т.ч. потребителей организации [1]. При этом имеется обязательное условие обеспечения соответствия результатов деятельности их потребностям и ожиданиям, а также требованиям нормативных правовых актов.

Другим фактором совершенствования деятельности организации становится систематизация рисков и возможностей как результат анализа контекста (условий деятельности) организации в рамках функционирования СМК [2].

Разработка, внедрение и дальнейшее улучшение СМК в соответствии с требованиями стандартов ИСО серии 9000 основывается на использовании принципов менеджмента качества, среди которых одним из наиболее значимых является процессный [3] [4].

Достижение целей исследования

Рассматривая сущность процессного подхода с целью выявления потенциальных преимуществ от практики его использования, следует отметить, что он нашел свое отражение сразу в ряде стандартов в области качества. Так, в международном стандарте ISO 9000:2015 и идентичном ему национальном стандарте ГОСТ Р ИСО 9000-2015¹⁴ (далее - ИСО 9000) определяется концепция его применения в сочетании с использованием цикла PDCA (Планируй-Делай-Проверяй-Действуй) (п. 0.1), а сам он декларируется как один из принципов менеджмента качества (п. 0.2).

¹² ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements.

¹³ ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Требования.

¹⁴ ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

Для внедрения указанной концепции не менее важна также роль и других стандартов серии ИСО 9000 (табл. 1). Например, если обеспечение «понимания основных понятий, принципов и терминологии менеджмента качества» и поддержка использования других стандартов на СМК определяется как назначение ИСО 9000, то возможность расширения области внедрения идеологии качества в деятельность организации предоставляется на базе использования международного стандарта ISO 9004:2018 и идентичного ему национального стандарта ГОСТ Р ИСО 9004-2019¹⁵ (далее - ИСО 9004).

Таблица 1

Основные элементы процедуры внедрения процессного подхода в соответствии с требованиями отдельных стандартов ИСО серии 9000

Элемент	Назначение	Пункт стандарта		
		ИСО 9000	ИСО 9001	ИСО 9004
Формулировка	Выработка понимания большей эффективности достижения результатов в управляемой системе взаимосвязанных процессов (далее - СВП)	2.3.4.1	0.3.1	8.1
Обоснование	Оптимизация системы менеджмента и ее результатов на основе обеспечения результативности СВП	2.3.4.2	0.1	4.2.1
Преимущества	Обеспечение роста эффективности деятельности за счет выделения ключевых процессов в СВП, прогнозирования выходов, результативности менеджмента, формирования уверенности заинтересованных сторон в обязательном ее достижении	2.3.4.3	0.3.1	8.1
Действия	Формулирование целей СМК и процессов в СВП	2.3.4.4	4.4.1	8.2
	Распределение ответственности и полномочий в СВП		6.1.2	8.3
	Оценка возможностей и ограничений СВП		8.1-	8.4
	Анализ взаимосвязи процессов и влияния изменений каждого из них на СВП		8.5	
	Достижение целей в области качества как результат менеджмента СВП			
	Функционирование, мониторинг, анализ, оценка и улучшение СВП на основе обеспечения доступа к необходимой информации			
	Управление рисками снижения результативности СМК			
Документирование	Обеспечение функционирования СВП на основе управления документированной информацией (далее – ДИ) (разработка, актуализация, регистрация, сохранение, применение)	3.4.3	4.4.2	10.2.2
		3.8.6	7.5	

Отметим также наличие еще ряда стандартов, направленных на улучшение СМК (процессов, видов деятельности) организации. К их числу могут быть отнесены стандарты, целью внедрения которых является обеспечение роста степени удовлетворенности потребителей, в частности, ИСО 10001¹⁶, ИСО 10004¹⁷, ИСО/ТО

¹⁵ ГОСТ Р ИСО 9004-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации.

¹⁶ ГОСТ Р ИСО 10001-2009. Менеджмент качества. Удовлетворенность потребителей. Рекомендации по правилам поведения для организаций.

¹⁷ ГОСТ Р ИСО 10004-2020. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент качества. Удовлетворенность потребителей. Руководящие указания по мониторингу и измерению.

10017¹⁸. Кроме того, нельзя обойти вниманием стандарт ИСО 10005¹⁹, требования которого направлены на реализацию планирования в области качества (табл. 2).

Таблица 2

Возможные направления улучшения СМК с учетом требований отдельных стандартов

Стандарт	Область (объект) внедрения улучшений	Выгода для управления организацией
ИСО 9000	Понимание идеологии качества	Учет принципов менеджмента качества
ИСО 9001	Доверие к продукции (услугам) организации	Повышение удовлетворенности потребителей
		Повышение степени управляемости
ИСО 9004	Расширение области требований ИСО 9001	Улучшение результатов деятельности
ИСО 10001	Удовлетворенность потребителей на основе обеспечения соответствия их потребностям и ожиданиям	Повышение доверия потребителей к организации
ИСО 10004	Продукция (услуги), процессы и характеристики, имеющие ценность для потребителей	Повышение степени лояльности потребителей
ИСО 10005	Соответствие требований процесса (продукта, проекта, контракта) средствам обеспечения производства продукции (методы, практики)	Повышение степени управляемости на основе обязательного выполнения требований и мотивации вовлеченного персонала
ИСО/ТО 10017	Изменчивость функционирования и результатов процессов	Постоянное улучшение качества продукции (услуг) и процессов
	Совершенствование методов обработки информации для принятия решений	

Деятельность по менеджменту процессов в СМК организации производится непрерывным образом, структурирована, а ее многогранность обуславливает потребность в элементах творческого подхода к ее организации (рис. 1).

¹⁸ ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001.

¹⁹ ГОСТ Р ИСО 10005-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент качества. Руководящие указания по планам качества.



Рис. 1. Основные практические этапы внедрения менеджмента процессов

Реализация приведенных этапов для каждого процесса позволит с достаточной степенью определенности говорить об адекватной постановке менеджмента процессов СМК в организации.

Следует отметить, что этапы 2-5 применяются для каждого процесса, а с учетом потребности в периодической актуализации отдельного процесса или их совокупности, можно говорить о повторяющемся применении каждого этапа к каждому процессу.

Как правило, в организациях, деятельность которых реализуется в соответствии с традиционно определенными процессами и видами работ, можно говорить о внедрении процессного подхода [5]. Это представляется тем более верным, если речь идет об организациях, внедривших СМК в соответствии с ИСО 9001. В этом случае работы по определению процессов СМК и их взаимосвязи, методах мониторинга, анализа и оценки, другие мероприятия уже выполнены и (или) выполняются на постоянной основе. Поэтому становится возможным пропуск одного или нескольких начальных этапов внедрения процессного подхода при условии полноты их реализации в деятельности организации.

Тем не менее, в рамках внедрения СМК каждая организация, так или иначе, сталкивается с проблемой идентификации требующихся процессов в составе СВП. Практика внедрения СМК показывает многообразие названий классификационных типов процессов, различие мнений о принципах определения требуемого их числа, встречается подход к идентификации процессов СМК, основанный на оглавлении ИСО 9001 [6]. В ряде случаев формирование реестра процессов основывается на использовании какой-либо типовой модели или лучших практик внедрения СМК, в том числе, в своей отрасли.

Ввиду отсутствия единой концепции, этап выработки реестра взаимодействующих процессов (этап 1) заслуживает едва ли не самого пристального внимания и должен учитывать уникальность конкретной организации. Основой формирования этого реестра должна стать направленность процессов СМК на выпуск качественной продукции (качественное предоставление услуг) [7]. Таким образом, процессам производства продукции (предоставления услуги) и проектирования новых их видов отводится основная роль в общей совокупности процессов СМК. Необходимым видится также включение в состав СВП процессов, обеспечивающих выпуск продукции (предоставление услуги), и, тем самым, влияющих на их качество. Примером этого может считаться процесс управления инфраструктурой и

производственной средой²⁰. Не вызывает сомнения потребность и в управленческих процессах, составляющих основу реализации процессного подхода к менеджменту, их количество определяется, как минимум, циклом PDCA.

На состав, вид, степень важности (приоритетность) и взаимодействие процессов в СВП оказывает влияние контекст организации, в первую очередь, ее отраслевая принадлежность. Например, основными видами деятельности речного порта как предприятия транспортной отрасли являются погрузочно-разгрузочная и складская, в то время как все остальные виды деятельности направлены на обслуживание объектов деятельности (грузов и судов) и обеспечение безопасности их функционирования²¹. Примерный состав СВП СМК речного порта демонстрирует рис. 2.

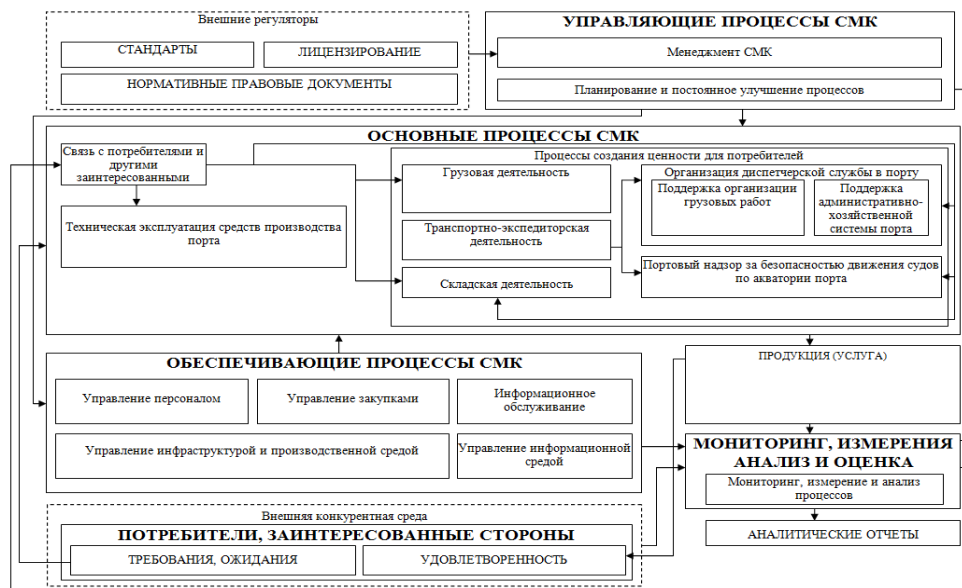


Рис. 2. Примерный состав СВП СМК речного порта

Приведем комментарии, относящиеся к практике реализации других этапов управления процессом.

В рекомендациях к методике менеджмента процессов в системе качества в качестве объекта планирования (этап 2) предлагается рассматривать как новый процесс, так и уже существующий [8]. Отметим здесь отличие лишь в направленности планирования. Так, для нового процесса планированием может считаться его проектирование, а для действующего процесса реализуется планирование его выполнения [9].

Качество результатов этапа планирования процесса определяет его результативность и напрямую связано с выявлением возможностей ее роста путем внедрения улучшений (табл. 3).

²⁰ Приказ Минтранса России от 27.08.2015 N 268 «Об утверждении Порядка ведения раздельного учета доходов и расходов по видам деятельности, связанной с оказанием услуг субъектами естественных монополий в речных портах и услуг по использованию инфраструктуры внутренних водных путей».

²¹ ГОСТ Р 55441-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Внутренний водный транспорт. Эксплуатация перегрузочных комплексов и пассажирских терминалов речных портов. Общие требования безопасности.

Таблица 3

Элементы процедуры планирования процесса с учетом выявления возможностей для улучшения деятельности

Объект проектирования	Дополнительные объекты оперативного планирования для внедрения улучшений
Назначение процесса	-
Результаты	Последствия реализации процесса (ИСО 9004, п. 8.2.2 пп. f)
Цель процесса	Цели и стратегия по улучшению (Рекомендации, п. 5.4)
Место в СВП	-
Уровень в структуре процессов	
Название	
Область распространения	
Потребители процесса	Изменения в потребностях и ожиданиях заинтересованных сторон (ИСО 9004, п. 8.2.2 пп. d))
Требования потребителей к процессу и его результатам	
Руководитель процесса	Формирование группы специалистов по реализации проекта улучшения с назначением координатора группы (Рекомендации, п. 5.3)
Входы процесса (включая необходимые ресурсы, их поставщики и требования к ним)	Изменения в операциях, рынках и технике (ИСО 9004, п. 8.2.2 пп. e))
	Ограничения процесса (ИСО 9004, п. 8.2.2 пп. i))
	Ресурсы проекта улучшения (временные, финансовые, технические, информационные, др.) (Рекомендации, п. 5.4)
Алгоритм деятельности, распределение ответственности и полномочий в рамках процесса	Среда реализации проекта улучшения (поддержка руководства, заявление руководства, атмосфера работы, мотивация персонала) (Рекомендации, п. 5.4)
	Алгоритм внедрения улучшений (проект улучшения, персонал, задействованный в реализации проекта улучшения) (Рекомендации, п. 5.4)
Мониторинг и измерение процесса	Соответствие проекта улучшения идеологии PDCA (Рекомендации, п. 5.4)
	Параметры функционирования, подлежащие мониторингу, для целей управления и оценки результативности и эффективности (Рекомендации, п. 5.1)
	Методы и средства (методы сбора данных, анализа данных, генерации идей и принятия решений) (Рекомендации, п. 5.4)
Система управления процессом (действия, планируемые в случае отклонения характеристик процесса от установленных требований)	Инструменты менеджмента, используемые персоналом, задействованным в проекте улучшения (Рекомендации, п. 5.4)
	Обеспечение управляемых условий функционирования процесса, независимо от запланированных или незапланированных изменений (ИСО 9004, п. 8.4.4)

Целесообразным также представляется расширение состава объектов планирования за счет мероприятий по совершенствованию, т.е. планирование улучшений, а также учет необходимости планирования мероприятий по управлению рисками для каждого процесса [10].

Наряду с эффективным планированием процессов процедуры обеспечения их функционирования (этап 3) имеют направленность на повышение общей результативности СМК. Следствием выполнения данного этапа становится

соответствие продукции и услуг установленным требованиям, основанное на признаваемости и достоверности результатов мониторинга или измерений, используемых для верификации соответствия продукции и услуг. При управлении ресурсами должны быть выявлены и учтены предъявляемые к ним требования, например, по их объему, доступности и пригодности, а также определены источники получения ресурсов – их внешние и внутренние поставщики (табл. 4). Отдельным этапом управления ресурсами является оперативная оценка их использования, ее результаты служат информационной базой для реализации процедур улучшения и снижения рисков, сопутствующих деятельности организации [11].

Таблица 4

Элементы процедуры обеспечения процесса

Вид ресурса	Основные требования к ресурсам	Деятельность по управлению ресурсами
Человеческие ресурсы (ИСО 9001, п. 7.1.2)	Достаточность Компетентность	Определение потребности
		Обеспечение наличия
		Обеспечение соответствия требованиям
Инфраструктура (ИСО 9001, п. 7.1.3)	Пригодность	Обеспечение наличия
		Обеспечение функционирования
Среда для функционирования процессов (ИСО 9001, п. 7.1.4)	Пригодность	Определение требований
	Соответствие установленным требованиям	Поддержка
Ресурсы для мониторинга и измерений (ИСО 9001, п. 7.1.5)	Пригодность	Определение потребности Обеспечение наличия Верификация Идентификация Защита от регулировок, поломок, повреждений
	Работоспособность	Поддержка в работоспособном состоянии
Внутрифирменные знания (ИСО 9001, п. 7.1.6)	Достаточность	Выявление
	Доступность	Обеспечение поддержки

Применительно к деятельности речного порта особой спецификой отличается один из видов ресурсов - его материально-техническая база (далее – МТБ), которая состоит из портовых сооружений и устройств, входящих в комплекс портового хозяйства [12]. Основной технической базой перегрузочных процессов служат перегрузочные комплексы в составе технологических (причал, склады, перегрузочное оборудование, подъездные пути для подвижного состава железнодорожного и автомобильного транспорта)²² и обеспечивающих (водопровод, электросеть, средства связи, комплекс терминальных технических средств, др.) элементов.

Требования потребителей услуг речного порта к протяженности, конструкции, глубине у кордона причала обеспечиваются характеристиками грузоподъемности, параметрами наибольшей длины и осадки с грузом обслуживаемых судов, а также типовыми свойствами установленного на причале перегрузочного оборудования.

²² ГОСТ Р 56244-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Внутренний водный транспорт. Комплексы перегрузочные и терминалы пассажирские речных портов. Техническая эксплуатация перегрузочных машин и оборудования. Требования безопасности.

Кроме этого, к погрузо-разгрузочному оборудованию в портах предъявляются требования правил, утвержденных органом исполнительной власти, а соответствие грузопотокам и современному судоходству является общим требованием, предъявляемым к инженерным сооружениям речного порта. Другие требования к МТБ речного порта касаются обеспечения безопасности реализации видов деятельности и технологических операций, а также рациональности и экономичности схем движения транспорта и перемещения грузов по территории речного порта. Обязательными являются и экологические требования к МТБ речного порта и среде функционирования его процессов. Они предполагают наличие оборудования для защиты окружающей среды, приема и обработки хозяйственных бытовых и нефтесодержащих вод, а также средств по спасению судов в пределах акватории портов и ликвидации пожаров.

Вырабатывая параметры деятельности по управлению функционированием и улучшением процесса в составе СВП (этапы 4 и 5), во-первых, следует учитывать циклический характер реализации этапов менеджмента процессов. Это связано как с необходимостью периодического их повторного исполнения, так и с постоянным изменением установленных требований к продукции и услугам. Таким образом, создаются предпосылки для использования принципиальных возможностей цикла PDCA в качестве инструментария менеджмента процессов на различных уровнях его детализации.

Во-вторых, необходимо выработать систему оперативного мониторинга элементов внешнего и внутреннего контекста организации, который определяет воздействие разнообразных факторов на отдельные параметры менеджмента СВП. Так, например, на периодичность цикла менеджмента процесса оказывают влияние сфера и характер деятельности, а также стратегические инициативы организации.

В-третьих, в качестве одной из важнейших целей деятельности по управлению процессом следует рассматривать формирование уверенности в обязательном выполнении требований к нему. Безусловно, большая роль в решении этой задачи отводится обеспечению процесса и необходимых условий его реализации. Тем не менее, управленческие усилия в этой области должны быть также сосредоточены и на валидации процессов, результаты которых не могут быть проверены посредством последовательного мониторинга или измерения, что формирует потребность в получении свидетельств, подтверждающих способность процесса достигать запланированных результатов.

Использование процессного подхода предъявляет определенные требования к документальной поддержке управленческих процедур, благодаря чему, практика его внедрения предполагает принятие решения об объемах и способах описания процессов в составе СВП. Рисунок 3 позволяет определить место документации различного назначения в общей схеме ДИ СМК.

Системный уровень (А)	Рабочий уровень (Б)	Уровень планирования (В)	Уровень результатов (Г)	Нормативно-технический уровень (Д)	Организационный уровень (Е)
<p>ДИ о СМК</p> <p>Политика и цели в области качества</p> <p>Реестр процессов СМК</p> <p>Матрица распределения ответственности и полномочий</p>	<p>Документация, регламентирующая последовательность реализации процессов и действий</p> <p>Документация по описанию процесса</p> <p>Документированные процедуры</p> <p>Рабочие инструкции</p>	<p>Планы (программы) качества применительно к продукции и услугам, проекту, контракту, подразделению</p> <p>Стратегическое планирование</p> <p>Планы и программы качества</p> <p>Оперативное планирование качества</p>	<p>Документация, содержащая свидетельства реализованной деятельности, достигнутых результатов</p> <p>Первичная информация по качеству</p> <p>Обработанная информация по качеству</p> <p>Систематизированная информация по качеству</p>	<p>Документация, содержащая нормативные требования и условия</p> <p>Нормативные правовые акты</p> <p>Нормативные акты</p>	<p>Обязательная для исполнения и методическая документация, необходимая для обеспечения эффективной деятельности</p> <p>Локальная организационно-правовая и методическая документация (положения о видах деятельности)</p> <p>Распорядительная</p> <p>Информационно-справочная</p> <p>Альбом форм документов СМК</p> <p>Документационное обеспечение деятельности</p>

Рис. 3. Примерная схема ДИ в составе СМК

В частности, легко прослеживается принадлежность, документации по описанию процесса к рабочему уровню ДИ СМК. Аналогичным образом в составе ДИ соответствующего уровня отображаются нормативные и правовые требования к организации. В практической деятельности речного порта уровень нормативно-технической документации включает в себя, но не ограничивается этим, требования Кодекса внутреннего водного транспорта РФ²³, обязательных постановлений, касающихся деятельности в порту, правил эксплуатации портовых сооружений, правил пожарной безопасности, технических условий погрузки и крепления грузов, др.

При выработке принципов документирования процесса СМК организацией могут быть использованы правила ИСО 9000, требования ИСО 9001, положения ИСО 9004, методические подходы, приведенные в Рекомендациях.

Анализ нормативных правовых актов в области управления качеством позволяет сделать вывод об отсутствии как жесткого регламентирования способов представления и типа ДИ по процессу, так и собственно самого требования обязательного описания процесса.

Например, ИСО 9000 (п. 3.4.5, п. 3.8.6) рассматривает документирование как элемент создания СМК и определяет само понятие ДИ, как «информации, которая должна управляться и поддерживаться организацией, и носитель, который ее содержит». ДИ может относиться, в том числе, и к процессам СМК, при этом ее формат и носители могут быть произвольными. Что касается процедур, как «установленных способов деятельности или процессов», то они могут быть или документированными или не документироваться по выбору организации.

ИСО 9001 (п. 7.5.2, п. 7.5.3) применительно к документированию процесса говорит об обязательности применения и сохранения необходимого объема ДИ с целями поддержки его функционирования и подтверждения выполнения плановых показателей, а также содержит описание подходов к этапам управления ДИ.

В соответствии с ИСО 9001 (п. 7.5.1) в состав СМК ДИ должна быть включена ДИ, требуемая самим стандартом и ДИ, определяемая организацией с целью обеспечения результативности СМК. При этом сохраняется принцип демократичности в определении степени подробности и объема ДИ для различных организаций в зависимости от их размеров, сферы деятельности, сложности СВП, продукции (услуг) и компетентности персонала. ИСО 9004 (п. 10.2.2) в части менеджмента процессов также подробно не описывает их документирование, отмечая лишь необходимость формирования ДИ с параметрами процесса и характеристиками продукции и услуг, а положениями Рекомендаций предполагается любой вид документации, определяющей процесс, представленной на любом носителе.

Тем не менее, несмотря на отсутствие унифицированных требований по документированию, целесообразным представляется формирование комплекта документации по описанию процесса, который бы систематизировал ДИ различных уровней, регламентирующую деятельность в рамках его функционирования. Такой комплект документов, будучи доведенным до персонала, создаст основу для принятия адекватных управленческих решений, тем самым, способствуя повышению степени управляемости процесса. Кроме того, наличие документированного алгоритма функционирования процесса в составе документации по его описанию создаст дополнительную уверенность в том, что все установленные требования будут выполнены.

Очевидно, что первый вопрос в рамках документирования процесса – это выбор способа его описания.

²³ Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации» от 07.03.2001 № 24-ФЗ.

Принципиальные особенности методик описания процессов приведены в различных нормативных и методических актах. В частности в Рекомендациях (п. 6.3) содержится перечень и основные сведения об отдельных методах схематического изображения процесса, систематизируется информация об области применения, преимуществах и недостатках некоторых методов моделирования процессов.

Существующее многообразие методик, безусловно, предоставляет возможность выбора наиболее подходящего подхода из совокупности уже имеющихся. Тем не менее, отсутствие универсального метода, который мог бы быть использован для описания процесса, а также потребность в учете таких факторов, как специфика организации, ее стратегические цели, степень внедрения в ней идеологии качества, уровень документированности ее СМК - все это позволяет предположить, как минимум, необходимость в адаптации выбранного метода, а зачастую и потребность в выработке на его базе своего уникального подхода к формированию документации по описанию процесса.

Для решения этой задачи рациональным видится использование элементов системного подхода при документировании процесса, который позволит структурные элементы ДИ по описанию процесса (например, ресурсы, ответственность и полномочия, ДИ, регламентирующая деятельность в рамках процесса, др.) представлять в разрезе видов деятельности, составляющих процесс. Это обеспечит наглядность описания различных аспектов функционирования процесса за счет демонстрации их соответствия элементам реализуемой деятельности и, тем самым, повысит степень системности управления ДИ в целом.

При определении состава объектов документирования для целей описания процесса предлагается использовать элементы процедуры планирования процесса, отмеченные ранее (табл. 3).

Для документирования данных по управлению процессом могут быть предложены следующие подходы. С целью реализации контрольно-аналитических мероприятий может быть рекомендовано формирование документа «Отчет по мониторингу процесса», в котором будут фиксироваться измеряемые значения показателей функционирования процесса на конец планового периода, а также их динамика относительной начала периода планирования. Показатели функционирования процесса и их измеряемые значения планируются на этапе проектирования процесса либо актуализируются в рамках оперативного планирования процесса. Кроме того, в этом документе могут указываться способ и частота измерения данных, форма их сбора, поставщики и методы анализа.

Анализ результативности функционирования процесса может быть реализован с учетом применения шкалы оценки степени выполнения критериев результативности. Например, в качестве критерия результативности процесса может быть выбран удельный вес числа показателей его функционирования, по которым достигнуто выполнение планового значения, в общем их числе. В этом случае, по итогам окончания планового периода результативным будет считаться процесс со значением критерия более или равным 90%, преимущественно результативным – в интервале от 70% и до 90%, а значение критерия результативности меньше 70% дает основание признавать процесс нерезультативным.

При реализации коррекции и (или) корректирующих действий рекомендуется создавать план и отчет по их реализации, в которых будут отражаться сведения о запланированных действиях, направленных на устранение несоответствий (с указанием причин их возникновения, сроков устранения, ответственных исполнителей, дополнительных ресурсов при необходимости их выделения) и свидетельства выполнения корректирующих действий (коррекции) соответственно.

В отчет по улучшению процесса следует включить такие сведения, как цель процесса, направленная на достижение установленных результатов, факторы, влияющие на изменение показателя достижения цели, действия, направленные на

изменение значения влияющего фактора (включая мероприятие, срок их исполнения, ответственность за исполнение, дополнительные ресурсы при необходимости их привлечения).

Приведенный примерный перечень документов может быть внедрен в практику поддержки СМК любой организации, в т.ч. и речного порта.

Заключение

Все вышеизложенное, позволяет сделать следующие выводы. С целью реализации миссии организации, а также для обеспечения запланированного уровня показателей эффективности и результативности целесообразно представлять ее СМК в виде совокупности взаимосвязанных процессов. Преимущество процессного подхода заключается в непрерывном тотальном управлении объектами, к которым могут быть отнесены как отдельные процессы в составе СВП или их совокупности, так и взаимодействие между ними.

Ввиду сложности системы, которой является СМК, на практике получение унифицированного описания ее процессов, пригодного для реализации всех целей и задач любой организации представляется достаточно проблематичным. При принятии решения о документировании СМК, включая ее процессы, следует воспользоваться рекомендациями стандартов ИСО серии 9000. Это позволит повысить качество управления процессами, которое, в свою очередь, определяет качество конечной продукции (предоставляемых услуг). В этом состоит системный подход к менеджменту качества как средству обеспечения конкурентоспособности организации.

Список литературы

1. Иванов Ф.Ф. Качество как фактор конкурентоспособности продукции. Международная научно-практическая конференция к 80-летию Института экономики НАН Беларуси//Институт экономики НАН Беларуси. 2011. С. 127-129.
2. Соловьева В.Г. К вопросу об управлении рисками современного речного порта//Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2012. № 3 (31). С. 59-66.
3. Пыхов С.И., Позднякова Ж.С. Управление качеством Учебное пособие. Челябинск: Южно-Уральский технологический университет, 2021. 181 с.
4. Герасимов, Б. Н. Процессное управление в экономических системах / Б. Н. Герасимов, К. Б. Герасимов. – Самара : Университет «МИР», 2022. – 240 с. – EDN NGVHYF.
5. Злобина Н.В., Фетисова О.В. Концептуальные основы процессного развития менеджмента качества организации Монография. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 88 с.
6. Василевская С.В. Процессы СМК: прикладная идентификация - URL: <http://www.klubok.net/article2371.html> (дата обращения 03.08.2022).
7. Ковалев С., Ковалев В. Секреты успешных предприятий: бизнес-процессы и организационная структура 3-е издание. Практическое руководство. БИТЕК (Бизнес-инжиниринговые технологии). Москва, 2012 г. 511 с.
8. P50-601-46-2004. Рекомендации. Методика менеджмента процессов в системе качества.
9. Стешин А.И., Мирославская М.В., Стешин А.И. Современные подходы в проектном управлении Учебное пособие. СПб.: Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д.Ф. Устинова (БГТУ), 2020. 80 с.
10. Бардаков, А. А. Управление кросс-функциональными бизнес-процессами в целях обеспечения экономической безопасности предприятия / А. А. Бардаков, Д. А. Корнилов // На страже экономики. – 2019. – № 1(8). – С. 5-11. – EDN XKFIBT.
11. Резанов В.К., Гришин Ю.П. Управление конкурентоспособностью предприятия (синергетический процессный подход) Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ), 2017. 224 с.

12. Соболев С.В. Гидротехнические сооружения водного транспорта и континентального шельфа. Ученое пособие для студентов вузов. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2016. 1011 с.

References

1. Ivanov F.F. Quality as a factor in the competitiveness of products. International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus//Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus. 2011, pp. 127-129, (In Russ).
2. Solovieva V.G. On the issue of risk management of a modern river port//Modern science-intensive technologies. Regional application. 2012; no. 3 (31), pp. 59-66, (In Russ).
3. Pykhov S.I., Pozdnyakova Zh.S. Quality Management Textbook. Chelyabinsk: South Ural Technological University, 2021. 181 p, (In Russ).
4. Gerasimov, B. N. Process management in economic systems / B. N. Gerasimov, K. B. Gerasimov. - Samara: University «MIR», 2022. - 240 p, (In Russ). – EDN NGVHYF.
5. Zlobina N.V., Fetisova O.V. Conceptual foundations of the process development of quality management in an organization Monograph. Tambov: Publishing House of FGBOU VPO «TSTU», 2012. 88 p, (In Russ).
6. Vasilevskaya S.V. QMS processes: applied identification - URL: <http://www.klubok.net/article2371.html> (date of the application 03.08.2022).
7. Kovalev S., Kovalev V. Secrets of successful enterprises: business processes and organizational structure 3rd edition. Practical guide. BITEK (Business engineering technologies). Moscow, 2012, 511 p, (In Russ).
8. R50-601-46-2004. Recommendations. Methodology of process management in the quality system, (In Russ).
9. Steshin A.I., Miroslovskaya M.V., Steshin A.I. Modern approaches in project management Textbook. St. Petersburg: Baltic State Technical University «Voenmekh» named after D.F. Ustinova (BSTU), 2020. 80 p, (In Russ).
10. Bardakov, A. A. Management of cross-functional business processes to ensure the economic security of the enterprise / A. A. Bardakov, D. A. Kornilov // On guard of the economy. - 2019. - No. 1(8). - P. 5-11, (In Russ). – EDN XKFIBT.
11. Rezanov V.K., Grishin Yu.P. Enterprise competitiveness management (synergetic process approach) Khabarovsk: Pacific State University (TOGU), 2017. 224 p, (In Russ).
12. Sobol S.V. Hydraulic structures of water transport and the continental shelf. A study guide for university students. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2016. 1011 p, (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Соловьева Виталия Геннадьевна, к.э.н.,
доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа
и финансов, Волжский государственный
университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: VITA869@mail.ru

Vitaliya G. Solovjeva, PhD in Economics,
Associate Professor of the Department of
Accounting, Analysis and Finance, Volga State
University of Water Transport (VSUVT), 603950,
Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail:
VITA869@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.09.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 08.09.2022; published online 20.12.2022.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА,
СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ СУДОХОДСТВА**

**OPERATION OF WATER TRANSPORT,
NAVIGATION AND SAFETY OF NAVIGATION**

УДК 656.629

DOI: 10.37890/jwt.vi73.279

Анализ современного состояния перевозок минеральных удобрений и обоснование выбора транспортно-логистических систем доставки с участием внутреннего водного транспорта

Н.В. Гончарова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8671-8114>

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

Аннотация. В статье рассмотрено современное состояние перевозок минеральных удобрений в экспортно-импортных и внутренних направлениях при использовании различных видов транспорта, в том числе внутреннего водного транспорта. Во введении приведены результаты анализа ряда литературных источников и научно-исследовательских работ отечественных и иностранных ученых в области перевозок минеральных удобрений. В результате исследований определено, что необходимо принятие оптимальных логистических решений по выбору транспортно-логистических систем, условий перевозки грузов, разработке рациональных маршрутов с перераспределением грузопотоков с наземного вида транспорта на внутренний водный, что в дальнейшем окажет положительное влияние на процесс организации доставки минеральных удобрений до потребителей. Обосновывается актуальность выбора транспортно-логистических систем доставки минеральных удобрений по внутренним водным путям до морских портов в перспективном направлении, приводятся результаты расчетов на основе методики определения стоимости доставки груза в сравнении с альтернативными видами транспорта и учетом качественных показателей.

Ключевые слова: минеральные удобрения, транспортно-логистические системы, оптимальные маршруты доставки, внутренний водный транспорт, морские порты.

Analysis of the current state of mineral fertilizers transportation and justification of the choice of transport and logistics delivery systems involving inland waterway transport

Natalia V. Goncharova

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8671-8114>

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article considers the current state of mineral fertilizers transportation in export-import and domestic directions while using various types of transport, including inland waterway transport. The introduction presents the results of the analysis of a number of literary sources and research works of domestic and foreign scientists in the field of transportation of mineral fertilizers. As a result of the research, it was determined that it is necessary to make optimal logistics decisions on the choice of transport and logistics

systems, cargo transportation conditions, the development of rational routes with redistribution of cargo flows from land to inland water transport, which in the future will have a positive impact on the process of organizing the delivery of mineral fertilizers to consumers. The urgency of the choice of transport and logistics systems for the delivery of mineral fertilizers by inland waterways to seaports in a promising direction is substantiated, the results of calculations based on the methodology for determining the cost of cargo delivery in comparison with alternative modes of transport and in view of qualitative indicators are presented.

Keywords: mineral fertilizers, transport and logistics systems, optimal delivery routes, inland waterway transport, seaports.

Введение

В условиях сложной политической ситуации в мире изменяется логистика транспортно-логистических систем (ТЛС), связей и цепочек поставок товаров как в экспортно-импортных направлениях, так и во внутренних перемещениях. Сбои в логистических цепях поставок провоцируют перебои в доставках многих товаров из России, в том числе минеральных удобрений, ограничения которых могут привести к негативным последствиям для многих стран мира. Минеральные удобрения, сельскохозяйственная и связанная с аграрной отраслью промышленная продукция, относятся к товарам первой необходимости и будут всегда востребованы на мировом рынке [1]. Дефицит поставок российских удобрений в некоторых странах приведет к очевидным рискам неурожая и нехватки продовольствия, что впоследствии может угрожать национальной безопасности.

Организация доставки минеральных удобрений является одним из сложных процессов, на который влияет множество факторов, таких как выбор рациональных схем доставки, в зависимости от географического размещения поставщиков, расстояния перевозки, партии груза, скорости доставки, способов транспортирования, подбора транспортных средств и общих затрат [2]. Поэтому вопросам формирования транспортно-логистических систем доставки удобрений, выбору оптимальных маршрутов, подбору видов транспорта или их сочетаний, всегда уделялось особое внимание.

Автором статьи в ходе исследований были изучены отечественные [1-8] и зарубежные [12-19] литературные и информационные источники, а также работы ученых, таких как Кручинина В.М., Рыжкова С.М., Николаев Н.Н., Алексеева А.А., Костюкевич П.А., Ничипорук А.О. и др. [1-5]. В трудах ученых были рассмотрены теоретические и практические аспекты транспортно-логистических систем доставки удобрений. Однако вопросы выбора оптимальных схем доставки с участием внутреннего водного транспорта (ВВТ), рассмотрены недостаточно полно, что и определило актуальность темы.

Целью исследования является изучение и анализ современного состояния перевозок грузов, как в экспортно-импортном направлениях, так и во внутренних, а также обоснование выбора оптимальных ТЛС доставки минеральных удобрений на транспорте с участием внутреннего водного транспорта.

Для этого поставлены задачи: проанализировать грузопотоки минеральных удобрений; изучить объемы перевозок грузов в морские порты России по видам транспорта; рассмотреть типичные и возможные транспортно-логистические системы доставки груза; обосновать выбор ТЛС при организации перевозки минеральных удобрений на водном транспорте.

Методы

В предлагаемой автором статье выполнен обзор и исследование современного состояния перевозок минеральных удобрений с применением научных методов анализа, синтеза, сравнения. Проанализированы научные труды ученых, отчеты и

сборники государственной статистики, Федеральной таможенной службы, сайты производителей минеральных удобрений и транспортных компаний. На основе исследований обоснована актуальность выбора транспортно-логистических систем доставки с участием внутреннего водного транспорта, приведены результаты расчетов по методике определения стоимости доставки минеральных удобрений в сравнении с альтернативными видами транспорта.

Результаты

В настоящий момент Российская Федерация занимает одну из лидирующих позиций среди производителей и поставщиков минеральных удобрений на мировой рынок. Ключевыми потребителями российских удобрений в настоящее время можно назвать такие страны, как Эстония, Китай, Индия, США, Финляндия, Испания, Индонезия, Латвия, Латинская Америка, Иран. Большая доля экспорта удобрений 20% от всего объема доставляется в Бразилию [3]. В 2020 году было отправлено 7 млн тонн удобрений, а в 2021 году доставка составила 9,8 млн тонн груза (представлено на рис.1).

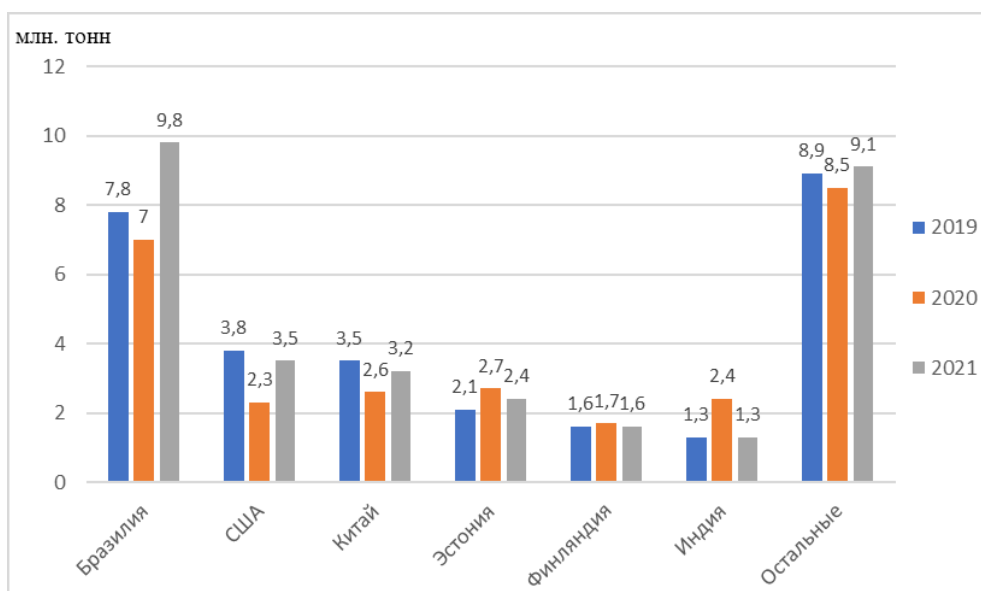


Рис. 1. Объемы экспортных поставок минеральных удобрений из России за период с 2019-2021гг

Сегодня из России в большом объеме экспортируются азотные, фосфорные и калийные удобрения. По данным службы статистики, в 2021 году страна экспортировала в общей сложности 37,6 млн тонн удобрений, в том числе 14,5 млн тонн азотных, 11,9 млн тонн калийных, 11,2 млн тонн сложных [3]. В настоящий момент объемы поставок удобрений на экспорт из-за введенных ограничений значительно снизились. По итогам I квартала 2022 года падение экспорта составило 17%, это на 1,6 млн тонн меньше прошлого года, а внутренние перевозки выросли на 1,2 млн тонн. Это связано с логистическими ограничениями поставок и с введением правительством РФ с декабря 2021 года квот на экспорт удобрений, чтобы не допустить дефицит удобрений на внутреннем рынке и роста цен на продовольствие.

Следовательно, в период кризиса необходимо принятие логистических решений по оптимизации транспортно-логистических систем, условий доставки грузов с учетом сохранения устойчивых цепочек поставок, разработке рациональных маршрутов, что поспособствует уменьшению постоянно возрастающих издержек, которые влияют на стоимость товара и окажет позитивное влияние на мировую отрасль минеральных удобрений.

Основные грузопотоки российских удобрений идут через порты Прибалтики по транспортно-логистическим системам «Западная Европа – Россия – Азия». Одна из причин транзита грузов через Прибалтику – это недостаточность в России портовых мощностей для обеспечения экспорта удобрений. В связи с этим в 2021 году был реализован проект по строительству специализированного комплекса в порту Усть-Луга по перевалке, хранению минеральных удобрений и распределению грузопотоков, что в интересах российских грузоотправителей, которые смогут отправлять грузы через отечественные терминалы.

В последние годы через портовую инфраструктуру Российской Федерации экспортировалось около 70% грузов [4]. Наибольший объем минеральных удобрений отгружался через порты Северо-Запада России: Большой порт Санкт-Петербург, Усть-Лугу, Мурманск. Незначительные объемы перегружались через южные порты (Туапсе, Новороссийск и др.). Анализ статистических данных показал, что за последние годы из-за введенных ограничений наблюдается тенденция сокращения объемов экспортируемых грузов через морские порты России [3]. В 2020 году в российские морские порты было доставлено 722,7 млн тонн груза, в том числе и удобрений, что на 1,5 % меньше предыдущего года; всего перевезено 18,5 млн тонн. Также через наши порты импортировано 75,5 млн тонн груза, произошло уменьшение объема на 4,7 %. Что же касается доставки грузов в порты различными видами транспорта, то в 2020 году максимальный объем грузов перевезен железнодорожным транспортом и составил 359,3 млн тонн, минимальное количество перевезенного груза было у внутреннего водного транспорта - 18,1 млн тонн, показано в (табл. 1).

Таблица 1

Объем перевозок грузов в морские порты России за период 2019-2020гг по видам транспорта

Виды транспорта	Объем перевозок грузов по годам, млн тонн					
	Экспорт, транзит, каботаж			Импорт, транзит, каботаж		
	2019	2020	Соотношение 2020 года к 2019 г, +/- %	2019	2020	Соотношение 2020 года к 2019 г, +/- %
Всего перевезено грузов,	733,9	722,7	-1,5	79,1	75,5	-4,7
в том числе:						
сухогрузов;	346	356,3	+10,2	47,6	44,9	-5,8
хим. и минеральных удобрений	18,6	18,5	-0,05	11,8	35,6	+66,8
автомобильный	71,5	80,1	+12	31,1	29,1	-6,4
железнодорожный	346,8	359,3	+3,6	13,8	12,6	-8,8
морской	26,6	25,7	-3,5	29,5	28,6	-3,0
внутренний водный транспорт	15,8	18,1	+14,2	0,14	0,15	+4,1

По результатам исследования видно, что, несмотря на затянувшийся кризис, экспорт российских грузов с некоторыми сложностями и изменениями в логистических цепях поставок продолжает осуществляться, в том числе и через морские порты. Лидирующую позицию доставки грузов до морских портов России

занимает железнодорожный транспорт. Железнодорожным транспортом осуществляется 49,7% объема перевозок, автомобильным транспортом 11,1%, меньше всего перевозится грузов внутренним водным транспортом 2,5%. Это определяет возможность формирования оптимальных транспортно-логистических систем доставки с учетом перераспределения грузопотоков с альтернативных видов транспорта на внутренний водный, поскольку ВВТ имеет существенные резервы провозной способности, небольшие транспортные издержки, является экологичным и безопасным.

По протяженности и характеристикам водных путей, Россия занимает второе место в мире после Китая. Водные пути обладают возможностью принять значительную часть грузов с других видов транспорта. В настоящий момент по российским внутренним водным путям отправляются лишь некоторые виды грузов, в основном, строительные, нефтеналивные, металлы, зерновые, а также негабаритные грузы. Перевозка минеральных удобрений незначительна. Основной проблемой внутреннего водного транспорта является сезонность, так как он не может осуществлять свою деятельность круглогодично, а только в период навигации. Преимущество водного транспорта — это экономичность, энергоэффективность, экологичность и безопасность перевозок в сравнении с альтернативными видами транспорта.

Современный внутренний водный транспорт России отстает в развитии от многих западных стран, которые используют свои внутренние водные пути для перевозки грузов в международных направлениях. Для эффективного функционирования ВВТ прежде всего требуется государственная поддержка и решение задач по модернизации инфраструктуры портов, внутренних водных путей, устранения проблем «узких мест» и многое другое. Перевозка грузов водным транспортом считается более рентабельной и обладает высокими показателями по грузоподъемности. Поэтому важной научной задачей является обоснование выбора транспортно-логистических систем и эффективности доставки минеральных удобрений альтернативными видами транспорта, в том числе в смешанных сообщениях с участием ВВТ [5].

Одним из основных международных транспортных направлений российского экспорта является Северный морской путь. Он проходит между европейской частью России и Дальним Востоком, а также между Европой и Азией, имеет значительный потенциал в обеспечении зоны российского Севера и международного транзита. Данное направление представляет интерес у многих российских производителей удобрений, но учитывая сложившуюся ситуацию и ростом цен, возникает необходимость перераспределений грузопотоков, обеспечивая в первую очередь внутренний рынок. В настоящий момент основные экспортные грузопотоки минеральных удобрений более 80% идут через морской порт Санкт-Петербург и далее доставляются внутренними перевозчиками. Данные транспортно-логистические системы являются эффективными только при налаженных логистических цепях поставок.

Сегодня в тройку крупнейших российских производителей удобрений входят «ФосАгро», «Акрон» и «Куйбышевазот». Производители удобрений играют важную роль в транспортно-логистических системах доставки, как на внутренних, так и международных направлениях. Основной объем продукта производит компания «ФосАгро». В 2021 год структура продаж составила 74 % в страны Европы, Южной и Северной Америки. Компанией «Акрон» большая часть удобрений была отправлена по направлениям в страны Латинской Америки и Азии. Что же касается Куйбышевазота, то данный производитель находится на стадии развития, в основном работает на внутреннем рынке и только незначительная доля удобрений распределяется в страны Азии и Европы.

Для обоснования актуальности исследования и выбора оптимальной ТЛС доставки автором предлагается рассмотрение конкретных примеров перевозки удобрений группой компании «Акрон». Так, например в 2019 году Акроном было отправлено в Китай через порт Усть-Луга 23 тыс. тонн минеральных удобрений. Это была первая в мире транспортировка удобрений по Северному морскому пути. Товар погрузили на судно в порту Усть-Луга, откуда груз с дозагрузкой в порту Роттердам, проследовал в китайский порт Чжаньцзян. В 2021 году «Акрон» осуществил поставку минеральных удобрений в Латинскую Америку, Китай и Индию. Груз отгружался, как из российских портов, так и через Балтию и Финляндию. В результате доставка груза по новому маршруту составила 30 дней, на 10 дней меньше, чем через Суэцкий канал, что сократило транспортные расходы. Произошла переориентация поставок удобрений на сухопутные границы и частично на Дальний Восток, с Европы - на азиатское направление.

В связи с этим актуально рассматривать перспективное направление международного транспортного коридора «Север-Юг», который является альтернативным, коротким маршрутом соединяющих Европейские страны и Россию с Индией, Юго-Восточной Азией и странами ближнего Востока [6]. Особую роль в развитии грузоперевозок по МТК «Север-Юг» играет каспийское направление. В ближайший период в Астраханской области планируется создание Каспийского кластера, который станет грузовой базой связывающий страны Европы с Ираном и Индией [7].

На основании анализа исследований автором предлагается обосновать выбор новых транспортно-логистических систем доставки минеральных удобрений с участием водного транспорта. Для определения оптимальных схем доставки минеральных удобрений и сравнения стоимости перевозки груза на железнодорожном, автомобильном и внутреннем водном видах транспорта, в том числе в смешанных сообщениях, перевозка груза по выбранной ТЛС рассмотрена по маршруту через порт Тольятти с перевалкой на речной транспорт в порту Саратов с доставкой по реке до морского порта Астрахань и далее по морю в порты Ирана. Следовательно, сформированная ТЛС доставки по маршруту речной порт Тольятти - морской порт Астрахань - порты Ирана с участием внутреннего водного транспорта, представлена на (рис. 2).

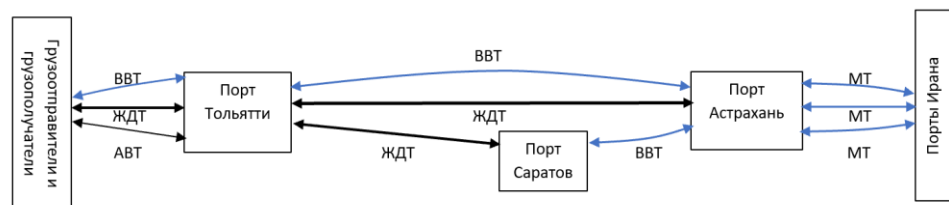






Рис.2. Транспортно-логистическая система доставки минеральных удобрений порт Тольятти - морской порт Астрахань - порты Ирана с участием внутреннего водного транспорта

Условные обозначения:

-  – внутренний водный транспорт (ВВТ);
-  – железнодорожный транспорт (ЖДТ);
-  – автомобильный транспорт (АВТ);
-  – морской транспорт (МТ)

Формирование транспортно-логистических систем доставки удобрений с участием водного транспорта по возможным вариантам:

Первая ТЛС: Порт Тольятти – железнодорожный транспорт– Астраханский морской порт – морской транспорт до портов Ирана;

Вторая ТЛС: Порт Тольятти – внутренний водный транспорт – Астраханский морской порт– морской транспорт до портов Ирана;

Третья ТЛС: Порт Тольятти – железнодорожный транспорт – перевалка в Саратовском порту - внутренний водный транспорт – Астраханский морской порт – морской транспорт до портов Ирана.

Для обоснования выбора оптимальной транспортно-логистической системы доставки минеральных удобрений наземными видами транспорта с участием и в сравнении с внутренним водным транспортом, необходимо выполнить расчеты на основе авторской методики [8], заключающейся в определении стоимостных показателей выбора логистической схемы доставки с учетом качественных показателей. Стоимость доставки груза от производителя до потребителя, через речной и морской порты включает в себя: стоимость перевозки от пункта отправления до пункта назначения всеми видами транспорта; стоимость погрузочно-разгрузочных работ; стоимость транспортно-логистических услуг с учетом показателя качества и стоимости грузовой массы в пути.

При определении стоимости доставки груза следует рассматривать стоимостные составляющие учитывая необходимые требования и принципы логистики «от двери до двери» и «точно в срок», а также тарифы на перевозку и погрузочно-разгрузочные работы, в соответствии нормативной и договорной документацией, стоимость услуг транспортно-экспедиторских компаний и транспортных предприятий, участвующих в перевозке груза, а также показатели экологичности и безопасности. Кроме того, при обосновании выбора ТЛС необходимо учитывать такие параметры, как характеристика груза, расстояние доставки, способ транспортировки, выбор транспортных средств.

В настоящий момент в российских портах наблюдается тенденция перевозки минеральных удобрений не только навалом или в биг-бегах, но еще и в универсальных крупнотоннажных контейнерах. Основные преимущества транспортировки грузов в контейнерах – это сохранность, экономичность, скорость выполнения погрузочно-разгрузочных работ, минимизация затрат, удобство доставки в смешанных сообщениях по мультимодальным схемам. Поэтому в расчетах использованы тарифы за транспортировку минеральных удобрений в контейнерах.

На основе анализа данных исследований и методики определения стоимостных показателей выбора ТЛС доставки груза автором статьи были произведены расчеты доставки партии 4500 тонн минеральных удобрений в 20-футовых контейнерах на железнодорожном, автомобильном и водном транспорте в прямом и смешанном сообщениях по маршрутам Тольятти — Астрахань и Тольятти – Саратов — Астрахань с перевалкой на речной транспорт в Саратове. Для перевозки удобрений в контейнере на железнодорожном транспорте используется вагон-платформа, на автомобильном транспорте – тягач с полуприцепом, водным транспортом доставка осуществляется судном-контейнеровозом проект 005RSD03 с контейнеро-вместимостью TEU: 225.

Для обоснования выбора транспортно-логистических систем доставки минеральных удобрений железнодорожным и водным транспортом приведем пример расчёта стоимости перевозки по маршруту Тольятти-Астрахань-порт Энзели (Иран).

Стоимость доставки (Сдг) минеральных удобрений включает в себя стоимость погрузочно-разгрузочных работ (Спрр), перевозки партии груза (Смаг), стоимость

перевалки груза с одного вида транспорта на другой (Спер) и стоимость грузовой массы в пути (Сгр) и рассчитывается по следующему выражению:

$$\text{Сдг(ждт-мт)} = \text{Спрр} + \text{Смаг} + \text{Спер} + \text{Сгр, руб.}$$

При расчете стоимости перевозки минеральных удобрений железнодорожным транспортом на маршруте Тольятти-Астрахань учитываются тарифные ставки погрузочно-разгрузочных работ (Спрр) - тариф с сайта ОАО «РЖД» по прейскуранту на услуги за погрузку-разгрузку 20-футовых контейнеров (225 ед.) [9]; тариф за перевозку (Смаг) партии перевозимого груза (Qгр) и расстояние (Lмаг).

В результате расчета стоимость погрузки минеральных удобрений в контейнерах на железнодорожный транспорт составит:

$$\text{Спрр(ждт)} = 1128 \times 225 = 253800 \text{ руб.}$$

Стоимость доставки груза железнодорожным транспортом будет:

Смаг(ждт) = 4736363 руб. – расчет стоимости перевозки груза железнодорожным транспортом произведен через цифровую логистическую платформу мультимодальных перевозок [10].

Стоимость грузовой массы в пути (Сгр) включает в себя партию груза, стоимость груза (Sгр), банковский процент (Сб) и срок доставки $T_{\text{дост}} = L/V$.

В результате этого стоимость грузовой массы в пути будет следующая:

$$\text{Сгр(ждт)} = 225 \times 150000 \times 0,18 \times 6,96 / 100 \times 365 = 1158410 \text{ руб.}$$

Итого, расчет стоимости доставки минеральных удобрений в контейнерах железнодорожным транспортом из Тольятти до Астрахани с учетом качества составит:

$$\text{Сдг(ждт)} = 4736363 + 253800 + 1158410 = 6148573 \text{ руб.}$$

Для определения стоимости доставки удобрений в контейнерах железнодорожным транспортом из Тольятти с перевалкой на водный транспорт в морском порту Астрахань и дальнейшей перевозкой по морю в порт Энзели (Иран) (Сдг(ждт-мт)) необходимо рассчитать стоимость перевалки груза с ж/д транспорта на водный (Спер(ждт-мт)) и стоимость доставки контейнера судном река-море (Смаг(мт)).

Расчет стоимости доставки груза на морском транспорте выполнен с учетом тарифов: S(прр) – погрузочно-разгрузочные работы в морском порту Астрахань и (Спер) - ставка фрахта экспедиторской компании «Группы Компаний ВТС» [11].

Следовательно, стоимость перевалки минеральных удобрений в контейнерах с железнодорожного транспорта на водный транспорт, будет следующая:

$$\text{Спер(ждт-мт)} = 9900 \times 225 = 2227500 \text{ руб.}$$

Стоимость доставка груза морским транспортом, будет:

$$\text{Смаг(мт)} = 900\$ \times 225 = 202500\$ (12548925 \text{ руб.})$$

По итогам расчетов, стоимость доставки удобрений в контейнерах по маршруту Тольятти-Астрахань-порт Энзели (Иран) с учетом качества, составит:

$$\text{Сдг(ждт-мт)} = 2227500 + 1254892 + 6148573 = 20924998 \text{ руб.}$$

По представленной выше методике определения оптимального варианта доставки минеральных удобрений, также были произведены расчеты остальных ТЛС доставки груза в прямом и смешанных сообщениях.

На основании используемых данных по стоимости и тарифам транспортных компании были получены итоги расчетов, результаты которых приведены в табл.2.

Таблица 2

Стоимость перевозки контейнеров по направлению Тольятти – Астрахань – Энзели (Иран), с учетом качественных параметров, руб.

Наименование пунктов	Железнодорожный транспорт	Автомобильный транспорт	Внутренний водный транспорт
Тольятти – Астрахань (прямая доставка)	6148573	13211013	12922273
Тольятти – Саратов (прямая доставка)	2479568	3912916	5626244
Тольятти – перевалка на водный транспорт в Саратове – Астрахань	12868896	14302244	-
Тольятти – перевалка на водный транспорт в Астрахани – по морю до Энзели	20924998	27987438	25471189

Из расчетов видно, что оптимальной ТЛС доставки минеральных удобрений в контейнерах является перевозка в смешанном железнодорожно-водном сообщении. Это говорит о том, что на стоимость доставки влияют множество факторов, тарифы за перевозку, погрузочно-разгрузочные работы, в том числе скорость доставки, расстояние, маршрутные направления и другие показатели качества перевозок. При этом внутренний водный транспорт может вполне составить конкуренцию другим видам транспорта на определённых маршрутах и при доставке крупной партии груза. Перевозка минеральных удобрений в контейнере с перевалкой с наземного вида транспорта на паром в морском порту Астрахань, будет значительно выше стоимости доставки по транспортно-логистической системе Тольятти — Астрахань – Энзели судном река-море под российским флагом. Таким образом, можно сделать вывод, что оптимизация доставки удобрений в контейнерах по перспективным транспортно-логистическим направлениям с включением в этот процесс внутреннего водного транспорта может оказаться эффективной.

Обсуждение

Предлагаемая автором ТЛС доставки обоснована тем, что круглогодичная навигация в Волго-Каспийском бассейне возможна только из морского порта Астрахань. Кроме того, использование порта Астрахань является предпочтительным вариантом, как базового порта для первичного накопления, хранения и перевалки на экспорт произведенной агропромышленным комплексом продукции для дальнейшей транспортировки в порты Ирана по МТК «Север – Юг». Также рассматриваемая транспортно-логистическая система привлекательна тем, что расстояние от порта Астрахань до порта Энзели по морю 1100 км, а доставка груза занимает в среднем 5 дней, в то время как грузоперевозки в Иран через порт Санкт-Петербурга требуют около 50 дней. Следовательно, доставка минеральных удобрений по транспортно-логистической системе Тольятти – Астрахань – Энзели (Иран) может быть привлекательной для грузовладельцев и эффективной с точки зрения качества и безопасности перевозки.

Заключение

По результатам исследования можно сказать, что данное направление перспективно, поскольку при формировании транспортно-логистических систем доставки грузов с участием водного транспорта определяет возможность выбора оптимальных маршрутов, способов транспортировки минеральных удобрений, с учетом обеспечения сохранной, безопасной и своевременной перевозки, где транспортные расходы могут быть значительно меньше. Рассматриваемая схема доставки минеральных удобрений через морской порт Астрахань, с применением внутреннего водного транспорта, прежде всего повышает конкурентоспособность российских производителей, что в результате окажет положительный эффект на российскую экономику.

Список литературы:

1. Кручинина В.М., Рыжкова С.М. Рынок удобрений в России: состояние и направления развития // Вестник ВГУИТ. - 2021. - Т. 83. - № 1. - С. 375-384. DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-375-384>. (дата обращения 22.05.2022)
2. Николаев Н.Н., Алексеева А.А. Состояние процесса доставки минеральных удобрений сельхозтоваропроизводителям // Научный журнал КубГАУ. - 2014. - №101(07). - С. 2519-2528.
3. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 22.05.2022).
4. Костюкевич П.А. Морские перевозки экспортных минеральных удобрений: тенденции и перспективы // Молодой ученый. - 2015. - № 22 (102). - С. 147-153.
5. Ничипорук А.О. Опыт и проблемы построения транспортно-логистических систем доставки грузов // Вестник ВГАВТ. 2017. №50. С. 212–218. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v50.pdf. (дата обращения 22.05.2022).
6. Телегин А.И., Милославская С.В., Коршунов Д.А., Наседкина Е.С. Концепция и алгоритм обоснования транспортно-логистических схем доставки экспортно-импортных сухогрузов с участием речного транспорта России // Научные проблемы водного транспорта. 2021. - №68. - С. 163-171. URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.190> (дата обращения 22.05.2022)
7. Бром А.Е., Моисеенко А.М., Козлов А.В. Тенденции и проблемы развития международного транспортного коридора «Север-Юг» // Московский экономический журнал. - 2020. - №12. - С. 482-489. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10839 (дата обращения 22.05.2022)
8. Ничипорук А.О., Гончарова Н.В. Определение стоимостных показателей для выбора логистической схемы доставки грузов с учетом качества и экологичности перевозки // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. - 2012. - № 12 (92). - С. 189-195.
9. Цифровая платформа логистических услуг EZDOK. URL: <https://ezdok-online.ru/> (дата обращения 22.05.2022)
10. Информационный сайт ОАО «РЖД». URL: <https://cargo.rzd.ru/ru/10460> (дата обращения 22.05.2022)
11. Информационный сайт ООО ТФ «ВТС-Экспедирование». URL: <https://vts-group.ru/calc/> (дата обращения 22.05.2022)
12. Hernandez M.A., Torero M. Market concentration and pricing behavior in the fertilizer industry: a global approach // Agricultural Economics. 2013. Vol. 44. №. 6. Pp. 723-734. DOI: 10.1111/agec.12084. (accessed 22.05.2022)
13. Miloslavskaya S., Myskina A., Kurenkov P. Integration of inland waterway transport into intermodal, multimodal. And synchromodal transport systems. Science journal of transportation. 2020. №10. Pp. 32-42. URL: https://sjt.madi.ru/sjt/10/sjt_2020_10_05_p32-42.pdf. (accessed 22.05.2022)
14. Adam K. Prokopowicz, Jan Berg-Andreassen. An evaluation of current trends in container shipping industry, very large container ships (VLCSs), and port capacities to accommodate TTIP increased trade // Transport research procedure. 2016. Vol.14. Pp. 2910-2919. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.409>. (accessed 22.05.2022)

15. Lahmiri S., Bekiros S. The Informational Dynamics of Mean-Variance Relationships in Fertilizer Markets: An Entropic Investigation // *Entropy*. 2018. 20(9), 677. DOI:10.3390/e20090677. (accessed 22.05.2022)
16. Wang T-F., Cullinane K. The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management // *Marit Econ Logist*. 2006. vol. 8, pp. 82-99. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100151>. (accessed 22.05.2022)
17. Heffer P., Prud'homme M. Global nitrogen fertilizer demand and supply: Trend, current level and outlook // *International Nitrogen Initiative Conference*. Melbourne, Australia. 2016. 11 p. URL: <https://www.fertilizer.org/images/.pdf>. (accessed 22.05.2022)
18. Ziaul Haque Munim & Hans-Joachim Schramm. The impacts of port infrastructure and logistics performance on economic growth: the mediating role of seaborne trade // *Shipping and trade*. 2018. vol. 3. no.1. 19 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41072-018-0027-0> (accessed 22.05.2022)
19. Singh Roy, M. "International North-South Transport Corridor: Re-energising India's Gateway to Eurasia" / Institute for Defence Studies and Analyses, 18 August, 2015. https://idsa.in/system/files/ssuebriefJB_msroy_180815.pdf. (accessed 22.05.2022)

References

1. Kruchinina V.M., Ryzhkova S.M. Rynok udobrenii v Rossii: sostoyanie i napravleniya razvitiya [Fertilizer market in Russia: status and directions of development] *Vestnik VGUIT [VGUIT Bulletin]*, 2021, vol. 83, no. 1, pp. 375-384. DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-375-384>. (accessed 22.05.2022).
2. Nikolaev N.N., Alekseeva A.A. Sostoyanie protsessa dostavki mineral'nykh udobrenii sel'khozovaroizvoditelyam [The state of the process of delivery of mineral fertilizers to agricultural producers], *Nauchnyi zhurnal KuBGU [KubGAU Scientific Journal]*, 2014, no. 101(07), pp. 2519-2528.
3. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki [Federal State Statistics Service] URL: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed 22.05.2022).
4. Kostyukevich P.A. Morskie perevozki ehksportnykh mineral'nykh udobrenii: tendentsii i perspektivy [Sea transportation of export mineral fertilizers: trends and prospects], *Molodoi uchenyi [Young Scientist]*, 2015, no. 22 (102), pp. 147-153.
5. Nichiporuk. A.O. Opyt i problemy postroeniya transportno-logisticheskikh sistem dostavki gruzov [Experience and Problems of Building Transport and Logistics Systems for the Delivery of Goods] *Vestnik VGAWT*. 2017, no. 50, pp. 212-218, (In Russ). http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v50.pdf. (accessed 22.05.2022).
6. Telegin A.I., Miloslavskaya S.V., Korshunov D.A., Nasedkina E.S. Kontseptsiya i algoritm obosnovaniya transportno-logisticheskikh skhem dostavki ehksportno-importnykh sukhogruzov s uchastiem rechnogo transporta Rossii [The concept and algorithm of substantiation of transport and logistics schemes for the delivery of export-import bulk carriers with the participation of river transport of Russia], *Nauchnye problemy vodnogo transporta [Scientific problems of water transport]*, 2021, no. 68, pp. 163-171. URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.190> (accessed 22.05.2022).
7. Brom A.E., Moiseenko A.M., Kozlov A.V. Tendentsii i problemy razvitiya mezhdunarodnogo transportnogo koridora «Sever-YuG» [Trends and problems of development of the international transport corridor "North-South"], *Moskovskii ehkonomicheskii zhurnal [Moscow Economic Journal]*, 2020. no.12. pp. 482-489. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10839 (accessed 22.05.2022).
8. Nichiporuk A.O., Goncharova N.V. Opredelenie stoimostnykh pokazatelei dlya vybora logisticheskoi skhemy dostavki gruzov s uchetom kachestva i ehkologichnosti perevozki [Determination of cost indicators for choosing a logistics scheme for cargo delivery, taking into account the quality and environmental friendliness of transportation], *Vestnik RGGU. Seriya: Ehkonomika. Upravlenie. Pravo [Bulletin of the Russian State University. Series: Economics. Management. Right]*. 2012. no. 12 (92). pp. 189-195.
9. Tsifrovaya platforma logisticheskikh uslug EZDOK [Digital Logistics Services platform EZDOK] URL: <https://ezdok-online.ru/> (accessed 22.05.2022)

10. Informatsionnyi sait OAO «RZHD» [Information site of JSC «RZD»] URL: <https://cargo.rzd.ru/ru/10460> (accessed 22.05.2022)
11. Informatsionnyi sait OOO TF «VTS-EhkspedirovaniE» [Information site of LLC TF "VTS-Forwarding"] URL: <https://vts-group.ru/calc/> (accessed 22.05.2022)
12. Hernandez M.A., Torero M. Market concentration and pricing behavior in the fertilizer industry: a global approach. *Agricultural Economics*. 2013. vol. 44. no. 6. pp. 723-734. DOI: 10.1111/agec.12084. (accessed 22.05.2022)
13. Miloslavskaya S., Myskina A., Kurenkov P. Integration of inland waterway transport into intermodal, multimodal. And synchromodal transport systems. *Science journal of transportation*. 2020. no. 10. pp. 32-42. URL: https://sjt.madi.ru/sjt/10/sjt_2020_10_05_p32-42.pdf. (accessed 22.05.2022)
14. Adam K. Prokopowicz, Jan Berg-Andreassen. An evaluation of current trends in container shipping industry, very large container ships (VLCSs), and port capacities to accommodate TTIP increased trade. *Transport research procedure*. 2016. vol. 14, pp. 2910-2919. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.409>
15. Lahmiri S., Bekiros S. The Informational Dynamics of Mean-Variance Relationships in Fertilizer Markets: An Entropic Investigation. *Entropy*. 2018. 20(9). 677. DOI:10.3390/e20090677. (accessed 22.05.2022)
16. Wang T-F., Cullinane K. The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management. *Marit Econ Logist*. 2006. vol. 8, pp. 82-99. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100151> . (accessed 22.05.2022)
17. Heffer P., Prud'homme M. Global nitrogen fertilizer demand and supply: Trend, current level and outlook. *International Nitrogen Initiative Conference. Melbourne, Australia*. 2016. 11 p. URL: <https://www.fertilizer.org/images/.pdf>. (accessed 22.05.2022)
18. Ziaul Haque Munim & Hans-Joachim Schramm. The impacts of port infrastructure and logistics performance on economic growth: the mediating role of seaborne trade. *Shipping and trade*. 2018. vol. 3. no.1. 19 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41072-018-0027-0>. (accessed 22.05.2022)
19. Singh Roy, M. "International North-South Transport Corridor: Re-energising India's Gateway to Eurasia". *Institute for Defence Studies and Analyses*. 2015. https://idsa.in/system/files/ssuebriefJB_msroy_180815.pdf. (accessed 22.05.2022)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гончарова Наталья Владимировна, к.т.н.,
доцент кафедры логистики и маркетинга,
Волжский государственный университет
водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: kafedra-lim@yandex.ru

Natalia V. Goncharova, Ph. D., Associate
Professor of the Department of Logistics and
Marketing, Volga State University of Water
Transport, 5, Nesterovst, Nizhny Novgorod,
603951,

Статья поступила в редакцию 07.06.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 07.06.2022; published online 20.12.2022.

УДК 656.624.3

DOI:10.37890/jwt.vi73.293

Современное состояние и направления развития научно-методического обеспечения региональных грузовых перевозок с участием водного транспорта

О.И. Карташова

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

Аннотация. В статье представлены результаты обзора и анализа современного состояния научного и методического обеспечения региональных грузовых перевозок. Сформирован алгоритм проведения анализа, сделана общая характеристика наиболее интересных и актуальных исследований в рассматриваемой области. Изучены диссертационные исследования в сфере эксплуатации водного транспорта и ряд научных публикаций. Применительно к сфере региональных грузовых перевозок указаны ключевые особенности, имеющиеся разработки научного и методического обеспечения, а также отмечены недостатки, проблемные и недостаточно освещенные вопросы. На основании систематизации результатов рассмотренных источников сделаны выводы о наиболее перспективных направлениях дальнейших исследований, не учтенных или не исследованных на текущий момент областей.

Ключевые слова: водный транспорт, транспортная инфраструктура, научно-методическое обеспечение, региональные перевозки грузов.

Current state and directions for development of scientific and methodological support for regional freight transportation involving water transport

Olga I. Kartashova

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

Abstract. The article presents the results of a review and analysis of the current state of scientific and methodological support for regional freight transportation. An analysis algorithm was formed, a general description of the most interesting and relevant studies in the area under consideration was made. Dissertation studies in the field of water transport operation and a number of scientific publications have been studied. With regard to regional freight transportation, key features, available developments in scientific and methodological support are indicated, as well as shortcomings, problematic and insufficiently covered issues. Based on the systematization of the results of the reviewed sources, conclusions were made about the most promising areas of further studies which are currently not being taken into account or not being studied.

Keywords: water transport, transport infrastructure, scientific and methodological support, regional cargo transportation.

Введение

В условиях действия санкций со стороны «коллективного Запада», когда наблюдается быстрое разрушение сложившихся ранее и необходимость оперативного

построения новых логистических цепей поставок как на международном, так и региональном уровнях, актуальными становятся вопросы построения новой и оптимизации существующей транспортно-логистической инфраструктуры, способной эффективно и качественно реагировать на изменения в потребностях клиентуры, осуществлять (при необходимости) быстрый и гибкий переход к новым условиям взаимодействия участников транспортного процесса. Одним из условий обеспечения указанных действий является наличие соответствующего научного и методического обеспечения. Поэтому важным и актуальным следует считать анализ современного состояния и перспективных направлений развития научных исследований в области региональных грузовых перевозок.

Методы

Анализ существующих научно-методических рекомендаций, предложений и разработок предлагается провести в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Подбор научных публикаций и литературных источников по анализируемому направлению исследований, размещенных в системах цитирования и открытых базах данных.

На данном этапе отбираются публикации (научные статьи) и исследования (диссертации и их авторефераты), направленные прямо или косвенно на анализ и совершенствование транспортно-логистического обеспечения региональных перевозок, повышение качества, эффективности и безопасности эксплуатации различных видов транспорта, функционирования существующих и проектируемых транспортно-логистических систем доставки.

2. Общий обзор и краткий анализ отобранных публикаций.

Проводится рассмотрение основных положений публикаций, формулируются их ключевые особенности, указываются достоинства и недостатки, представляющие интерес или требующие своего учета и развития.

3. Систематизация и обобщение положений и содержания анализируемых источников по направлениям исследований и раскрытым элементам.

На основании предыдущего этапа формируются сводные таблицы и делаются краткие выводы, систематизирующие основные результаты рассмотренных исследований и публикаций.

4. Формирование перечня перспективных направлений проведения дальнейших исследований в рассматриваемой области.

В заключительной части анализа исследований и публикаций даются предложения по основным направлениям дальнейших исследований, которые были не рассмотрены или лишь частично затронуты другими авторами, либо были указаны учеными в качестве перспективных и дальнейших разработок в области транспортно-логистического обеспечения региональных перевозок.

Результаты

Далее представлено описание основных положений исследований и публикаций (сначала идет блок анализа, составленного по ряду авторефератов диссертаций преимущественно в области эксплуатации водного транспорта, затем – данные по научным публикациям в периодической литературе и изданиях). Также указываются представляющие наибольший интерес положения, имеющие отношения к региональным перевозкам и транспортной инфраструктуре. Отмечаются положительные стороны исследований и имеющие место недостатки, неточности или перспективные с точки зрения будущих исследований моменты.

Рассмотренные диссертационные исследования, их основные результаты и выходные данные далее будут представлены в табличной форме.

Исследование Сергеева С.Н., выполненное на примере Камского бассейна, направлено на комплексную оптимизацию воднотранспортных систем местного значения. Суть предложений заключается в определении возможности и наиболее эффективного варианта переключения региональных грузопотоков с автомобильного транспорта на местный речной. Эффективность мероприятий предлагается определять не только у транспортников, но также у грузовладельцев и регионов (общественный или бюджетный эффект).

Однако автором не предлагаются конкретные методики для определения эффектов, а лишь обозначены основные факторы, их составляющие и оказывающие влияние на их размер. Также следует отметить, что в качестве объектов взаимодействия и оптимизации рассматриваются подвижной состав речного и автомобильного транспорта, а также автомобильные и внутренние водные пути. Терминалы, на которых осуществляются погрузка, выгрузка и перевалка грузов, а также другие операции из рассмотрения выпадают. Соответственно, упомянутый комплекс факторов относится также только к подвижному составу и путям.

Панова А.Г. в своей работе сосредоточивает внимание на совершенствовании взаимодействия водного и наземного видов транспорта в региональной транспортной системе. Рассматриваются внутренний водный, автомобильный и железнодорожный виды транспорта. При формировании оптимального плана смешанных перевозок на основе предлагаемой автором модели учитываются совокупные издержки по доставке, накоплению и хранению грузов (целевая функция направлена на минимизацию указанных издержек). Также для улучшения организационного взаимодействия различных видов транспорта предлагается создание регионального оператора мультимодальных перевозок, а на базе перевалочных портов – мультимодальных транспортных узлов.

Интерес представляет работа Толстых Д.А., рассматривающая создание региональных промышленно-логистических портовых терминалов как составляющую формирования интегрированной транспортной инфраструктуры и средство повышения качества обслуживания и продвижения региональных грузопотоков, тяготеющих к международным транспортным коридорам. Таким образом, предлагаемые портовые терминалы ориентированы на развитие межрегиональных и международных перевозок, а также более эффективное включение в осуществление таких перевозок промышленных предприятий-производителей.

При этом эффективность рекомендаций определяется на основании оптимизации движения флота (сокращения времени и экономии топлива) в новой региональной транспортно-логистической системе, где создается промышленно-логистический портовый терминал, сочетающий в себе функции перегрузочного комплекса, а также распределительного центра и производственного предприятия.

Ориентация на систему международных транспортных коридоров указывает на необходимость учета взаимосвязи внешних (международных, транзитных и межрегиональных) и внутренних (региональных) грузопотоков, что обозначено в работе Толстых Д.А., но не получило должного развития. Особо также следует отметить, что концепция промышленно-логистических портовых терминалов, предлагаемая автором, судя по инфраструктурным объектам и выполняемым функциям (площадки для размещения контейнеров и транзитных грузов, таможенное оформление грузов), предполагает их формирование на базе морских портов.

Скрябин Д.С. предлагает для совершенствования взаимодействия различных видов транспорта в морских транспортных узлах, а также ускорения грузодвижения в рамках магистрально-фидерной транспортно-логистической системы организовать на

базе крупнейших портов побережья грузовые «хабы», выступающие в системе международных перевозок в роли так называемых «ступиц».

Расположенные в глубине континента речные порты или сухопутные грузообработывающие терминалы будут являться в данной системе «ступицами», отвечающими за дальнейшее продвижение и распределение грузопотоков в регионах. Внимание в исследовании автора отдается классификации портов и оптимизации взаимодействия видов транспорта в рамках портов-хабов без дальнейшего рассмотрения региональных транспортных узлов и их деятельности. Предлагаемые модели оптимизации учитывают интересы владельцев терминалов и транспортных организаций.

По нашему мнению, данный подход (формирования портов-хабов) может быть применен на уровне регионов для оптимизации и совершенствования существующей региональной транспортно-логистической системы, а также улучшения скорости продвижения и качества обслуживания региональных грузопотоков, тяготеющих к экспортно-импортным, а также транзитным перевозкам в системе международных транспортных коридоров.

Концепция исследования Синельщикова Е.В. заключается в формировании сервисно-логистической системы «Большой порт», направленной на совершенствование и оптимизацию взаимодействия портовых перегрузочных комплексов. Описание концепции, на первый взгляд, похоже на предложение Скрябина Д.С., однако практическая реализация и рассматриваемые примеры показывают, что указанные портовые перегрузочные комплексы на деле являются отдельными хозяйствующими субъектами, географически расположенными на территории одного порта. Таким образом, речь идет об оптимизации взаимодействия не отдельных терминальных комплексов водного транспорта, а причалов одного порта, принадлежащих различным собственникам. Разработка предложений и апробация рекомендаций и методических положений работы осуществляется на примере Большого морского порта Санкт-Петербург. Естественно, оптимизация взаимодействия перегрузочных комплексов (причалов) осуществляется только с учетом интересов портовых операторов и факторов, имеющих для них значение.

По нашему мнению, данная концепция, так же, как и идея Скрябина Д.С., может быть адаптирована к региональной терминальной сети и транспортно-логистической системе, однако потребует соответствующей организационной и методической доработки.

Алексеев И.В. в своем исследовании рассматривает вопросы совершенствования организации взаимодействия различных видов транспорта в транспортных узлах. Объектом исследования являются контейнерные экспортно-импортные перевозки через морские порты, рассмотренные на примере Приморского края. Таким образом идет увязка региональных контейнеропотоков (экспортно-импортных, а также транзитных) с внешнеторговыми перевозками. Для организации взаимодействия различных видов транспорта в работе предлагается создание единого координационного центра работы всего транспорта региона (Приморья).

Альметова З.В. предлагает для концентрации и оптимизации региональных грузопотоков создавать транзитные терминалы, которые будут являться мультимодальными перегрузочными терминальными комплексами, осуществляющими обслуживание и концентрацию региональных транзитных грузопотоков [1]. Для определения места расположения подобного регионального терминала автором разработана модификация метода «центра тяжести», учитывающая стоимость перевозок (через ввод в методику тарифной составляющей), а также наличие обратных порожних пробегов транспортных средств. Тем не менее, согласно приведенной методике следует, что величина груженой и порожней работы транспорта равны между собой, а величина порожнего пробега подвижного состава неизменна и по значению близка или равна расстоянию груженого пробега. По

нашему мнению, это допущение является недостатком предлагаемого метода, так как не предполагает ситуации, при которой транспортные средства могут быть загружены на полном или частичном обратном маршруте попутным грузом, что на самом деле является весьма распространенной практикой на внутреннем водном и автомобильном транспорте.

Еще одним недостатком предлагаемой Альметовой методики следует считать использование для расчетов «центра тяжести» грузопотоков данных по географическому положению только региональных грузоотправителей и грузополучателей. Поскольку в данном случае речь идет о транзитных грузопотоках, т.е. тех грузах, которые перевозятся в межрегиональном или международном сообщении, местоположение транзитного терминала должно определяться с учетом местонахождения и стоимости доставки до других транзитных терминалов глобальной транспортно-логистической системы (действующей в рамках страны или международного транспортного коридора). Если бы методика предлагалась для оптимизации терминальной сети, рассчитанной на обслуживание только региональных грузопотоков, данное замечание было бы излишним. Однако для случая, рассматриваемого Альметовой, оно является весьма существенным.

Авторами статьи [2] предлагается для более активного использования транзитного потенциала республики Кыргызстан в области международных и региональных перевозок усовершенствовать транспортную и терминальную инфраструктуру. Основное предложение касается разработки генеральной схемы размещения транспортно-логистических центров (в работе рассматриваются транспортно-технологические и распределительные центры). При этом интерес представляет идея специализации центров на обслуживании либо региональных, либо международных перевозок. С одной стороны, спорным и требующим обоснования является предложение о такой специализации, ведь однотипные грузопотоки лучше обрабатывать и направлять через наиболее подходящие для этого терминалы, специализированные на обработке обусловленных грузов, чем распределять их по сети универсальных комплексов, которые могут находиться друг от друга на значительном удалении. С другой стороны, авторы указывают на однозначную важность и необходимость учета интересов участников как международных транспортных коридоров, так и региональных транспортно-логистических систем.

Вериго С.А. и Кудряшов А.Б. увязывают участие России в функционировании международных транспортных коридоров и социально-экономическое развитие страны [3]. Они обращают внимание на то, что многие международные и межрегиональные перевозки осуществляются в одном направлении. Следовательно, при рассмотрении вопросов инфраструктурного обеспечения работы международных транспортных коридоров и осуществления транзитных внешнеторговых перевозок, в частности, при формировании опорной сети транспортно-логистических центров и терминалов, необходимо учитывать возможность осуществления таких перевозок через региональные перегрузочные и логистические комплексы. Соответственно, может повыситься степень их использования, значимость, а также диверсифицироваться деятельность. Также можно ожидать повышения эффективности использования транспортной инфраструктуры и качества обслуживания региональных и международных грузопотоков.

Киселенко и Сундуков на примере республики Коми рассматривают методы анализа и моделирования развития транспортной системы региона [4]. Авторы сосредоточивают внимание на разработке модели оптимизации региональных маршрутов перевозки грузов (графическая потоковая модель с минимизацией стоимости перевозок в качестве критерия оптимальности). Также они указывают на необходимость учета при моделировании и оптимизации наличия транзитных перевозок грузов.

Ковалев Р.Н. также делает акцент на необходимости увязки в рамках единой транспортной системы функции управления по отношению к региональным, межрегиональным и транзитным перевозкам [5]. Для этого он предлагает создать единую организационную структуру управления транзитом, осуществляющую свою деятельность на территории нескольких государств. При этом она должна быть связана с опорной сетью региональных транспортно-логистических центров, чтобы координировать выполнение перевозок на всех уровнях иерархии транспортно-логистических систем.

Авторы [6] поднимают проблему эффективного размещения распределительно-подсортировочных складов на территории региона. В качестве примера ими рассматривается складская сеть Волгоградской области. Для организации и обоснования мест размещения складов используются методы ABC- и кластерного анализа, а критериями выбора – инвестиции в основной капитал, грузооборот и объемы перевозки автомобильным транспортом. При этом интересен вывод авторов о невозможности использования существующих складских комплексов области для обслуживания транзитных грузопотоков, так как в настоящее время все они применяются исключительно для удовлетворения нужд региональных ритейлеров. Таким образом, для использования и развития транзитного, а также межрегионального потенциала Волгоградской области необходимо либо создание новых складских комплексов, либо модернизация и диверсификация назначения и функций существующих.

В статье [7] на примере Черноморско-Каспийского региона рассматриваются перспективы и направления развития транспортной инфраструктуры для обслуживания нужд международных транспортных коридоров. Основные рекомендации касаются реализации масштабных проектов строительства морских портов и создания на их базе мультимодальных логистических центров, которые должны стать каркасом (опорной сетью) транспортного обеспечения международных перевозок через нашу страну и страны-участницы международных транспортных коридоров. На наш взгляд, здесь четко обозначена ориентация рассматриваемых терминалов только на обслуживание транзитных международных грузопотоков, тогда как представляется вполне возможным задействовать их в осуществлении региональных и межрегиональных перевозок. В этом случае проектирование новой терминальной сети и модернизация существующих перегрузочных и транспортно-логистических комплексов должны осуществляться с учетом нужд и возможностей их использования регионами страны.

Комплексный подход к рассмотрению региональных и международных грузовых перевозок наблюдается в [8]. Авторами сформированы базовые транспортно-логистические схемы доставки как транзитных грузов, перемещаемых в рамках международных транспортных коридоров (представлено на примере коридора «Север-Юг»), так и экспортно-импортных грузов из (в) регионов страны. Данный подход следует считать правильным, однако и у него имеется существенный недостаток. Авторы рассматривают две базовые схемы по отдельности, несмотря на то, что на отдельных этапах транспортировки рассматриваемые транзитные и экспортно-импортные грузопотоки могут консолидироваться (например, на этапе перевозки морским или другим магистральным видом транспорта в международном или межрегиональном сообщении).

Обсуждение

Результаты проведенного выше анализа публикаций и научных исследований в общем виде сведены в табл. 1 и 2 (соответственно по диссертационным исследованиям и научным публикациям). Расшифровка обозначений в табл. 1 дана в качестве примечаний, для табл. 2 – в списке литературы.

Данные обеих таблиц показывают, что применительно к сфере региональных перевозок грузов с участием водного транспорта под рассмотрение авторов попадают такие объекты транспортной инфраструктуры, как терминалы, подвижной состав. Гораздо реже рассматриваются транспортные пути.

Многие авторы исследований сосредоточивают внимание на совершенствовании деятельности конкретного элемента или объекта в составе транспортно-логистической системы доставки грузов. Часто рассматриваются вопросы оптимизации взаимодействия различных видов транспорта, но также в рамках конкретного объекта транспортной инфраструктуры (чаще всего, порта). Отдельные авторы для указанного направления предлагают создание единого координационного центра. При этом предлагаемые методические разработки по оптимизации взаимодействия практически не предусматривают учет интересов различных внеотраслевых участников перевозок, а также клиентуры транспортных организаций, сосредоточиваясь на критериях, имеющих значение только для самих транспортников.

Таблица 1

Общая характеристика проведенных исследований в области эксплуатации водного транспорта применительно к транспортному обеспечению региональных перевозок

Рассматриваемые в исследовании области	Научное исследование					
	1	2	3	4	5	6
Вид транспорта:						
речной	+	+	-	-	-	-
морской	-	-	+	+	+	+
автомобильный	+	+	-	-	-	+
железнодорожный	-	+	-	+	-	+
Объекты инфраструктуры:						
подвижной состав	+	+	+	+	-	+
пути	+	-	-	-	-	-
терминалы	-	+	+	+	+	+
Оптимизация взаимодействия инфраструктурных объектов водного транспорта (судоходных компаний, портов и др.)	-	-	+	-	-	+
Совершенствование деятельности отдельных инфраструктурных объектов или элементов (судоходной компании, порта и т.д.)	+	-	+	+	+	+
Оптимизация взаимодействия водного и других видов транспорта	+	+	-	+	-	+
Формирование единого координационного центра или оператора доставки	-	+	-	-	-	+
Учет внетранспортных эффектов и интересов различных участников транспортного процесса	+	-	-	+	-	-

Обозначения исследований:

1. Развитие и комплексная оптимизация воднотранспортных систем местного значения (на примере малых рек Камского бассейна) /Сергеев Сергей Николаевич // Автореф. дисс. ... канд. тех. наук спец. 05.22.19. Н.Новгород: ВГУВТ, 2020. 23 с.

2. Совершенствование взаимодействия водного и наземных видов транспорта в региональной транспортной системе / Панова Айталинка Геннадьевна // Автореф. дисс. ... канд. тех. наук спец. 05.22.19. Новосибирск: НГАВТ, 2005. 23 с.

3. Региональные промышленно-логистические портовые терминалы как элемент формирования интегрированной транспортной инфраструктуры / Толстых Дмитрий Анатольевич // Автореф. дисс. ... канд. тех. наук спец. 05.22.19. СПб.: ФГОУ ВПО «ГМА им. адм. С.О. Макарова», 2009. 23 с.
4. Методика планирования взаимодействия портов-хабов в магистрально-фидерной транспортной логистической системе / Скрябин Дмитрий Сергеевич // Автореф. дисс. ... канд. тех. наук спец. 05.22.19. СПб.: ФГБОУ ВПО «ГМА им. адм. С.О. Макарова», 2012. 22 с.
5. Научно-методическое обеспечение функционирования сервисно-логистической системы «Большой порт» / Синельщиков Евгений Владимирович // Автореф. дисс. ... канд. тех. наук спец. 05.22.19. СПб.: ФГОУ ВПО «ГМА им. адм. С.О. Макарова», 2009. 24 с.
6. Совершенствование организации взаимодействия различных видов транспорта в транспортных узлах / Алексеев Иван Владимирович // Автореф. дисс. ... канд. тех. наук спец. 05.22.19. Владивосток: ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского», 2008. 22 с.

По научным публикациям ситуация примерно аналогичная. Ученых в наибольшей степени интересует совершенствование деятельности и конфигурации сети терминалов, построение и выбор оптимальных маршрутов и транспортно-логистических схем доставки, для чего предлагаются соответствующие методические подходы. Также даются предложения по улучшению взаимодействия различных видов транспорта в системе мультимодальных перевозок на основе создания оператора таких перевозок или единого регионального центра управления.

Таблица 2

Общая характеристика научных публикаций в области транспортно-логистического обеспечения региональных перевозок

Рассматриваемые в публикациях области	Научные публикации							
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Проблемы и направления развития транспортной инфраструктуры регионов	-	-	+	-	+	+	+	-
Определение оптимального местоположения терминалов или их конфигурации в региональной транспортно-логистической цепи	+	+	+	-	-	+	-	-
Определение стоимости доставки и выбор наилучших схем доставки	-	-	-	-	-	-	-	+
Оптимизация и построение региональных маршрутов движения подвижного состава	-	-	-	+	-	-	-	-
Совершенствование управления перевозками посредством создания единого центра управления или координации региональных перевозок	-	-	-	-	+	-	-	-
Необходимость и проблемы увязки региональных грузопотоков и грузопотоков транзитных, межрегиональных и следующих по международным транспортным коридорам	-	+	+	+	-	-	-	+

В ряде исследований и публикаций прослеживается идея о необходимости учета при совершенствовании региональных перевозок объемов, направлений и особенностей взаимодействия с внешними для регионов грузопотоками в составе

транзитных, экспортных и импортных перевозок в системе международных транспортных коридоров, проходящих по территории Российской Федерации в непосредственной близости от терминалов ряда регионов.

Исходя из этого, а также с учетом базовых принципов построения транспортно-логистических систем, организации и оптимизации мультимодальных перевозок [9-12], к перспективным направлениям проведения дальнейших исследований в области научно-методического обеспечения региональных грузовых перевозок с участием водного транспорта следует отнести:

- разработку методических рекомендаций по обоснованию эффективности и целесообразности размещения сети новых терминалов и транспортных узлов, а также развитию существующих терминалов с учетом обеспечения возможности прохождения через них как внутренних региональных, так и экспортно-импортных, а также межрегиональных и транзитных грузопотоков;
- исследование вопросов развития региональной воднотранспортной инфраструктуры с учетом её использования для региональных перевозок и участия в обеспечении функционирования и товародвижения по системе международных транспортных коридоров;
- разработку комплексных методик и моделей оптимизации грузопотоков в системе региональных и международных перевозок с участием воднотранспортных организаций.

Заключение

Проведенный анализ диссертационных исследований и научных публикаций выявил ряд нерешенных или недостаточно освещенных проблемных вопросов в области осуществления и совершенствования региональных грузовых перевозок, в том числе с участием водного транспорта. В результате были обозначены представляющие интерес направления дальнейшей исследовательской работы, особенно актуальные и имеющие большое значение в современных условиях, когда к существующим транспортно-логистическим системам, как региональным, так и национальным, предъявляются новые требования и условия функционирования.

Список литературы

1. Альметова З.В. Интеграция межтерминальных сообщений в транзитных терминалах и оптимизация их размещения в транспортной системе региона // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. №2. 2015. С. 5–16.
2. Молдалиев Э.Д., Маткеримов Т.Б., Атабеков К.К., Сарымсаков Б.А. Оптимизация логистических центров как фактор развития регионов // Известия КГТУ им. Раззакова. №50. 2019. С. 76–81.
3. Вериго С.А., Кудряшов А.Б. Участие России в международных транспортных коридорах как фактор социально-экономического развития страны // Экономика: вчера, сегодня, завтра. Том 10. № 11А. 2020. С. 184-196. DOI: 10.34670/AR.2020.22.83.019
4. Киселенко А.Н., Сундуков Е.Ю. Методы анализа и моделирования развития транспортной системы региона // Региональная экономика: теория и практика. №11(146). 2010. С. 2–7.
5. Ковалев Р.Н. Повышение эффективности единой транспортной системы на основе логистических принципов // Эко-потенциал. №3-4. 2013. С. 43–47.
6. Попов П.В., Мирецкий И.Ю., Логинова Е.В. Эффективное размещение распределительно-подсортировочных складов на территории региона // Экономика региона. Т. 13, вып. 3. 2017. С. 871-882. DOI: 10.17059/2017-3-19.

7. Маркелов К.А., Усманов Р.Х., Головин В.Г. Черноморско-Каспийский регион: от геополитики к геоэкономике транспортных систем // Каспийский регион: политика, экономика, культура. №1(58). 2019. С. 74–88.
8. Телегин А.И., Милославская С.В., Коршунов Д.А., Наседкина Е.С. Концепция и алгоритм обоснования транспортно-логистических схем доставки экспортно-импортных сухогрузов с участием речного транспорта России // Научные проблемы водного транспорта. №68(3). 2021. С. 163–171. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.190>.
9. Ильющенко И.Г., У Сяньюй, Лисин А.А. Организационно-экономические и методологические предпосылки формирования сети транспортно-логистических центров (ТЛЦ) // Вестник ВГАВТ. 2019. №58. С. 106–114.
10. Коршунов Д.А., Рагулин И.А. Критерии оценки и выбора схем и способов доставки грузов в транспортно-логистических системах // Современный ученый. 2017. №2. С. 75–78.
11. Логистика смешанных перевозок: монография / В.Н. Костров [и др.] ; под ред. В.Н. Кострова. Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. 124 с.
12. Ничипорук А.О. Опыт и проблемы построения транспортно-логистических систем доставки грузов // Вестник ВГАВТ. 2017. №50. С. 212–218.

References

1. Almetova Z.V. Integraciya mezhterminalnyh soobshchenij v tranzitnyh terminalah i optimizaciya ih razmeshcheniya v transportnoj sisteme regiona [Integration of inter-terminal messages in transit terminals and optimization of their placement in the transport system of the region], *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology], no.2, 2015, pp. 5–16.
2. Moldaliev E.D., Matkerimov T.Y., Atabekov K.K., Sarymsakov B.A. Optimizaciya logisticheskikh centrov kak faktor razvitiya regionov [Optimization of logistics centers as a factor in regional development], *Izvestiya KGTU im. Razzakova* [Bulletin of KSTU named after Razzakov], no.50, 2019, pp. 76–81.
3. Verigo S.A., Kudryashov A.B. Uchastie Rossii v mezhdunarodnyh transportnyh koridorah kak faktor socialno-ekonomicheskogo razvitiya strany [Russia's participation in international transport corridors as a factor in the country's socio-economic development], *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economy: yesterday, today, tomorrow], vol. 10, no.11A, 2020, pp. 184-196. DOI: 10.34670/AR.2020.22.83.019
4. Kiselenko A.N., Sundukov E.YU. Metody analiza i modelirovaniya razvitiya transportnoj sistemy regiona [Methods of analysis and modeling of the development of the transport system of the region], *Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika* [Regional economy: theory and practice], no.11(146), 2010, pp. 2–7.
5. Kovalev R.N. Povyshenie effektivnosti edinoj transportnoj sistemy na osnove logisticheskikh principov [Improving the efficiency of the unified transport system based on logistics principles], *Eko-potencial* [Eco-potential], no.3-4, 2013, pp. 43–47.
6. Popov P. V., Mireckij I. YU., Loginova E. V. Effektivnoe razmeshchenie raspredelitelno-podsorirovochnykh skladov na territorii regiona [Efficient placement of distribution and sorting warehouses in the region], *Ekonomika regiona* [Economy of the region], vol. 13, no. 3, 2017, pp. 871-882. DOI: 10.17059/2017-3-19.
7. Markelov K.A., Usmanov R.H., Golovin V.G. Chernomorsko-Kaspijskij region: ot geopolitiki k geoekonomike transportnyh sistem [Black Sea-Caspian region: from geopolitics to geo-economics of transport systems], *Kaspijskij region: politika, ekonomika, kultura* [Caspian region: politics, economy, culture], no.1(58), 2019, pp. 74–88.
8. Telegin A.I., Miloslavskaya S.V., Korshunov D.A., Nasedkina E.S. Konceptiya i algoritm obosnovaniya transportno-logisticheskikh skhem dostavki eksportno-importnyh suhogruzov s uchastiem rechnogo transporta Rossii [Concept and algorithm for justification of transport and logistics schemes for delivery of export-import dry cargo ships involving Russian river transport], *Nauchnye problemy vodnogo transporta* [Russian Journal of Water Transport], no.68(3), 2021, pp. 163–171. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.190>
9. Ilyushchenko I.G., U Syanyuj, Lisin A.A. Organizacionno-ekonomicheskie i metodologicheskie predposylki formirovaniya seti transportno-logisticheskikh centrov (TLC) [Organizational, economic and methodological prerequisites for the formation of a network

- of transport and logistics centers (TLC)], Vestnik VGAVT [VSUWT Bulletin], 2019, no.58, pp. 106–114.
10. Korshunov D.A., Ragulin I.A. Kriterii ocenki i vybora skhem i sposobov dostavki gruzov v transportno-logisticheskikh sistemah [Criteria for evaluation and selection of cargo delivery schemes and methods in transport and logistics systems], Sovremennyy uchenyj [Modern scientist], 2017, no.2, pp. 75-78.
 11. Logistika smeshannyh perevozok: monografiya [Logistics of multimodal transport: monograph], V.N. Kostrov [i dr.] ; pod red. V.N. Kostrova. Nizhnij Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2020, 124 p.
 12. Nichiporuk A.O. Opyt i problemy postroeniya transportno-logisticheskikh sistem dostavki gruzov [Experience and problems of construction of transport and logistics systems for cargo delivery], Vestnik VGAVT [VSUWT Bulletin], 2017, no.50, pp. 212–218.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Статья поступила в редакцию 01.06.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 01.06.2022; published online 20.12.2022.

УДК 629.5.061
DOI: 10.37890/jwt.vi73.326

Исследование влияния погрешностей измерения навигационных параметров на качество процесса управления безэкипажным судном

М.А. Мельников¹

В.И. Плющаев¹

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Большое внимание уделяется проблемам создания судов с реализацией дистанционного или автономного управления. Для судов такого типа качественным образом меняются требования к судовым системам измерения, обработки и передачи навигационных параметров. Важность данной проблемы определяется возможным существенным ущербом при возникновении аварийных ситуаций при принятии управленческих решений на основе ошибочной информации, возникающей в каналах измерения. В статье рассмотрены погрешности, возникающие в каналах измерения навигационных параметров на примере судна с колесным движительно-рулевым комплексом. Математическая модель судна позволила исследовать влияние погрешностей измерения навигационных параметров на качественные показатели процесса управления судном при реализации различных алгоритмов управления. Приведены результаты исследований влияния погрешностей измерения навигационных параметров на процесс удержания судна на заданной траектории при внешних ветровых воздействиях.

Ключевые слова: колесное судно, динамические характеристики судна, датчики навигационных параметров, погрешности измерения, качественные показатели процесса управления, безэкипажное судовождение.

Investigation of influence of navigation parameters measurement errors on the quality of an unmanned vessel control process

Michael A. Melnikov¹

Valery I. Plyushchaev¹

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

Abstract. Much attention is paid to the problems of creating vessels with the implementation of remote or autonomous control. For vessels of this type, the requirements for ship systems for measuring, processing and transmitting navigation parameters are qualitatively changed. The importance of this problem is determined by the possible significant damage in case of emergency situations while making management decisions based on misinformation arising in the measurement channels. The article considers the errors arising in the measurement channels of navigation parameters by the example of a vessel with a wheeled propulsion and steering unit. The mathematical model of the vessel made it possible to investigate the influence of measurement errors of navigation parameters on the qualitative indicators of the ship management process when implementing various control algorithms. The results of studies of the influence of measurement errors of navigation parameters on the process of keeping the vessel on a given trajectory under external wind influence are presented.

Keywords: wheeled vessel, dynamic characteristics of the vessel, sensors of navigation parameters, measurement errors, qualitative indicators of the control process, unmanned navigation.

Введение

В последнее время много публикаций посвящены безэкипажному судовождению. Появились первые образцы судов, работающих в режимах дистанционного и автоматического управления [1-3].

В «Положении по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС)» предусматривается пять категорий, характеризующих режим управления судном [4]: ручное управление, ручное управление с поддержкой принятия решения, дистанционное управление с возможностью перехода на ручное, дистанционное управление и автономное управление. При изменении условий плавания может меняться и характер управления судном.

При реализации элементов безэкипажного судовождения качественно меняются требования к надежности судовых систем. Успешное решение задач безэкипажного судовождения выдвигает на первый план проблему обеспечения высокой надёжности судовых систем, включая системы связи и сбора информации, необходимых для принятия решений. Важность этой проблемы обусловлена возможным существенным ущербом, который может возникнуть при возникновении аварийных ситуаций.

На рис.1 представлены элементы процесса оценки параметров движения судна. При движении судна в различных режимах и условиях (движение по заданной траектории, изменение курса, швартовка, циркуляция, ветровое воздействие и пр.) требуется оценка различных наборов параметров ($x_1 \dots x_n$), а следовательно, должны применяться и различные средства контроля параметров. Качество процесса управления будет в значительной степени определяться надежностью средств контроля параметров и влиянием внешних условий на эти средства. В процессе эксплуатации возможны отказы датчиков (постоянные или кратковременные); каждый датчик имеет случайные составляющие погрешности измерения; в результате воздействия внешних факторов могут возникнуть систематические погрешности измерений и т.п. (рис. 1). Влияние указанных факторов в каждом канале измерений вносит свой вклад в результирующие качественные показатели процесса управления, причем вклад каждого канала в конечный результат может отличаться существенным образом.

В связи с вышеизложенным, реализация элементов безэкипажного судовождения требует предварительной проработки ряда вопросов, в том числе:

- изучения влияния погрешностей измерения параметров судовых технологических процессов (как отдельных, так и их сочетания) на качественные показатели процесса управления при различных эксплуатационных режимах судна;
- поиска возможностей компенсации влияния погрешностей измерения параметров судовых технологических процессов на процесс управления режимами движения судна;
- разработки алгоритмов автоматического определения отказов измерительных каналов и компенсационных действия систем управления при сбоях в каналах измерения и т.п.

Данная статья посвящена решению некоторых из поставленных вопросов, в частности, влияния на качественные показатели системы управления отказов датчиков и появления в каналах измерения систематических погрешностей.

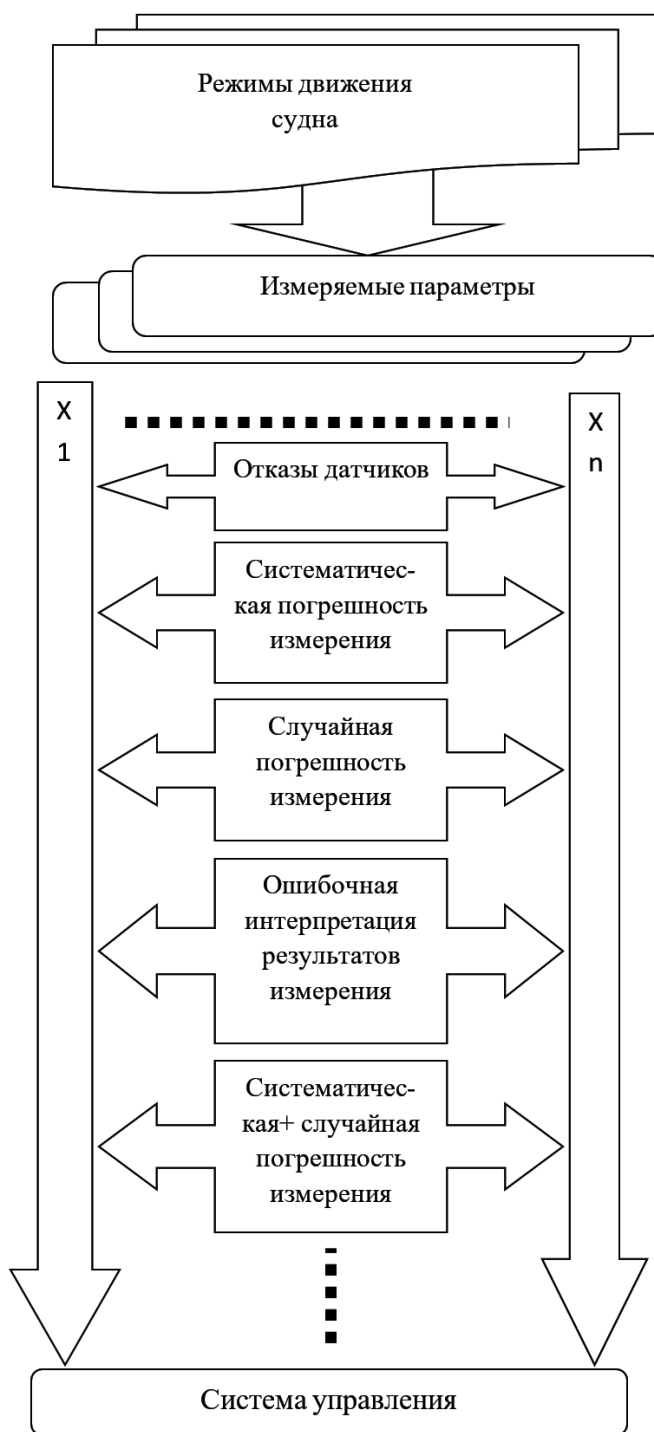


Рис. 1. Процесс оценки параметров движения судна

Методы исследования влияния параметров датчиков на качественные показатели процесса управления судном

В качестве объекта исследований выбран пассажирский теплоход «Золотое кольцо» с колесным движительно-рулевым комплексом. Движение и маневрирование судна осуществляется посредством двух гребных колес в кормовой части судна с независимыми электроприводами. Математическая модель судна приведена в [5].

При движении по заданной траектории для формирования управляющего воздействия на приводы гребных колес используется функция

$$R = k_{\alpha}(\alpha - \alpha_0) + k_{\omega}\omega + k_y(y - y_0),$$

где $(\alpha - \alpha_0)$ – отклонение от заданного курса судна, рад;

ω - угловая скорость поворота судна, рад/с;

$(y - y_0)$ - отклонение от заданной траектории, м;

$k_{\alpha}, k_{\omega}, k_y$ - коэффициенты пропорциональности.

Предложенная в [5] модель позволяет исследовать влияние на качественные показатели процесса управления судном как параметров самого судна, так и внешних воздействий, оценивать динамику судна при реализации различных алгоритмов управления.

В [6] рассмотрен алгоритм управления, позволяющий судну удерживаться на заданной траектории в условиях ветрового воздействия. На рис. 2 приведены результаты моделирования движения судна при ветровом воздействии при следующих условиях:

- ветер в правый борт появляется при $t = 300$ с, скорость ветра 5 м/с;
- на начальном этапе судно движется с $U_{ход} = 1$ (частоты вращения гребных колес $n_1 = n_2 = n_{max}$);
- $k_{\alpha} = 20$, $k_{\omega} = 70$, $k_y = 0,8$;
- погрешность измерения параметров равна 0 («идеальные» датчики).

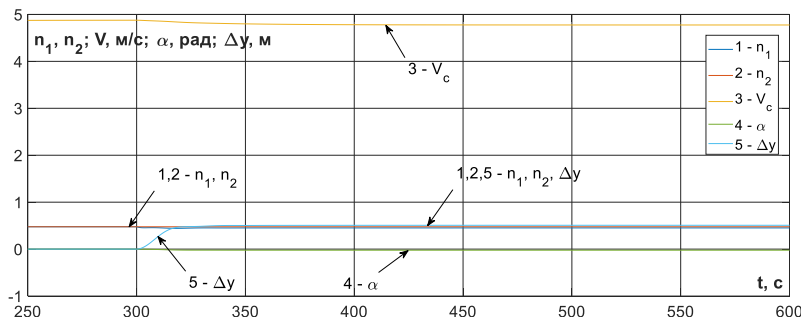


Рис.2. Динамика судна при использовании «идеальных» датчиков

При появлении ветрового воздействия судно смещается на $\Delta y = 0,51$ м (кривая 5) и продолжает двигаться по параллельной траектории. За счет вращающегося момента, создаваемого ветром, диаметральной плоскость (ДП) судна поворачивается по часовой стрелке. Этот момент компенсируется за счет увеличения частоты вращения второго колеса n_2 . В результате судно движется по заданной траектории с отклонением ДП от направления движения с $\Delta\alpha = 1,31^\circ$ (кривая 4). Скорость судна V_c меняется с 4,88 м/с до 4,78 м/с (кривая 3). Высокое качество управления обеспечивают большие значения коэффициентов $k_{\alpha}, k_{\omega}, k_y$.

На практике погрешности измерения датчиков могут принимать значения до нескольких процентов, что приводит к резкому ухудшению качества управления при высоких коэффициентах функции R . Результаты моделирования при использовании реальных датчиков (с шагом квантования реальных каналов измерения $\Delta\alpha_{\text{кв}} = 0,57^\circ$, $\Delta\omega_{\text{кв}} = 5,7^\circ/\text{с}$, $\Delta y_{\text{кв}} = 0,01 \text{ м}$) показаны на рис. 3. Алгоритм не обеспечивает удержание судна на заданном курсе (кривая 1).

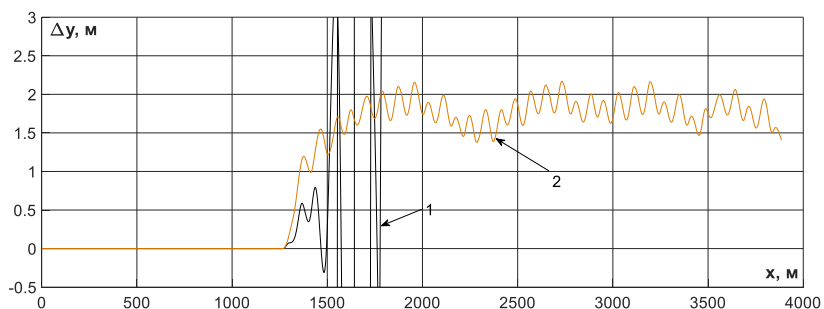


Рис.3. Динамика судна при увеличении погрешностей измерения датчиков

Подбор коэффициентов k_α , k_ω , k_y может обеспечить приемлемые качественные показатели процесса удержания судна на курсе и при рассмотренных шагах квантования измерительных каналов.

На рис. 3 представлены результаты расчетов для шагов квантования $\Delta\alpha_{\text{кв}} = 0,57^\circ$, $\Delta\omega_{\text{кв}} = 5,7^\circ/\text{с}$, $\Delta y_{\text{кв}} = 0,5 \text{ м}$ и $k_\alpha = 10$, $k_\omega = 40$, $k_y = 0,16$ (кривая 2). Судно отклоняется от заданной траектории на $\Delta y \approx 1,8 \text{ м}$ (на рис.2 кривая 1, $\Delta y = 0,51 \text{ м}$). На рис. 4 представлены результаты моделирования при использовании «идеальных» датчиков при $k_\alpha = 20$, $k_\omega = 70$, $k_y = 0,8$ (кривая 1) и для $k_\alpha = 10$, $k_\omega = 40$, $k_y = 0,16$ (кривая 2).

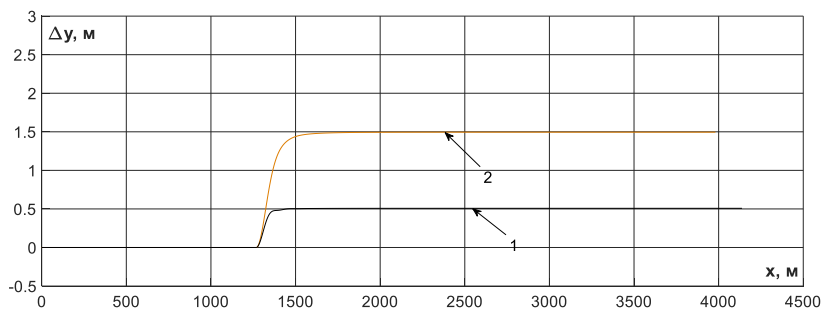


Рис.4. Динамика судна при базовых коэффициентах и нулевой погрешности измерительных каналов.

Отклонение от заданной траектории выросло с $\Delta y = 0,51 \text{ м}$ до $\Delta y = 1,495 \text{ м}$, а угол с $\Delta\alpha = 1,31^\circ$ до $\Delta\alpha = 1,45^\circ$. Данный вариант при дальнейших исследованиях будет принят за базовый для сравнения полученных вариантов.

Влияния погрешностей измерения навигационных параметров на качество процесса управления безэкипажным судном

Факторы, связанные с измерением навигационных параметров, влияющих на качество процесса управления судном приведены на рисунке 1.

Отказ датчиков. Можно выделить четыре основных типа отказов: полный отказ, при котором датчик выдает нулевые значения (например, при обрыве информационной линии), полный отказ, при котором датчик выдает последние значения (например, при заклинивании подвижных частей датчика), кратковременный отказ с выдачей нулевых и кратковременный отказ с выдачей последних значений.

Рассмотрим поведение судна при полном отказе датчика и выдаче им нулевого сигнала (рис.5).

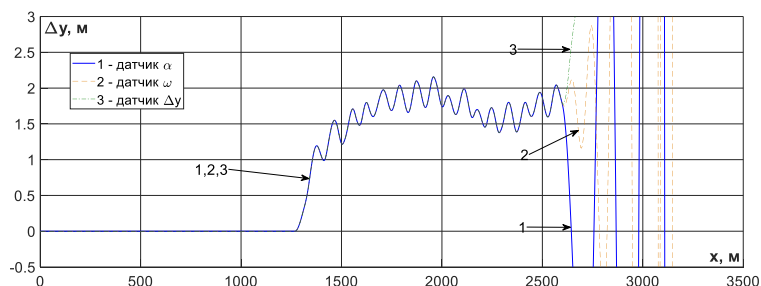


Рис.5. Динамика судна при базовых коэффициентах и полном отказе датчиков с выдачей нулевых значений

На рис. 5 представлены результаты моделирования движения судна при ветровом воздействии при следующих условиях:

- ветер в правый борт появляется при $t = 300$ с, скорость ветра 5 м/с;
- на начальном этапе судно движется с $U_{ход} = 1$ (частоты вращения гребных колес $n_1 = n_2 = n_{max}$);
- $k_\alpha = 10$, $k_\omega = 40$, $k_y = 0,16$;
- управляющий алгоритм штатно обрабатывает ветровое воздействие при $300 \leq t < 600$
- при $t \geq 600$ управляющий алгоритм получает недостоверные данные из каналов измерения (нулевые), судно уходит с траектории.

На рис. 6 представлены траектории движения судна при отказе датчиков с выдачей ненулевых значений.

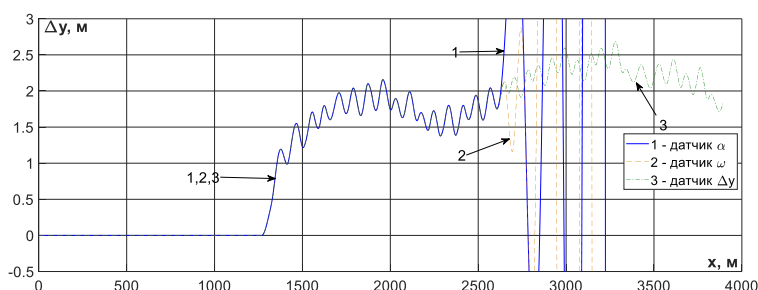


Рис.6. Динамика судна при базовых коэффициентах и полных отказах датчиков с выдачей ненулевых значений

При некоторых сочетаниях измеренных навигационных параметров возможно удержание судна на заданной траектории при неисправном датчике (кривая 3 на рис. 6 при неисправном датчике Δy). Однако при других сочетаниях параметров алгоритма возможна потеря управления.

Как показывают результаты моделирования, система управления с кратковременными отказами датчиков (порядка нескольких секунд) с выдачей как нулевых, так и ненулевых значений (рис.7) измеренных параметров обеспечивает удержание судна на курсе.

Систематическая погрешность. В результате внешнего воздействия на навигационное оборудование различных помех в результате измерений может вноситься систематическая погрешность. На рис. 8 представлены траектории движения судна при различных величинах погрешности в измерительном канале угла отклонения курса α . В данном случае рассматривается аддитивная погрешность, пропорциональная шагу квантования, например $\alpha + \Delta\alpha_{\text{кв}}$ (кривая 2) и $\alpha + 2 \cdot \Delta\alpha_{\text{кв}}$ (кривая 3).

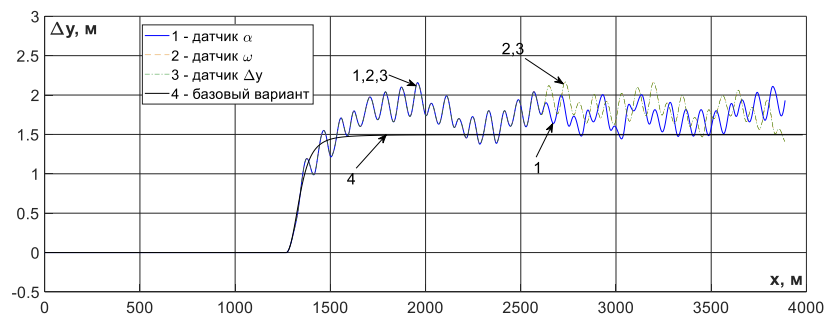


Рис.7. Динамика судна при базовых коэффициентах и кратковременных отказах датчиков с выдачей ненулевых значений

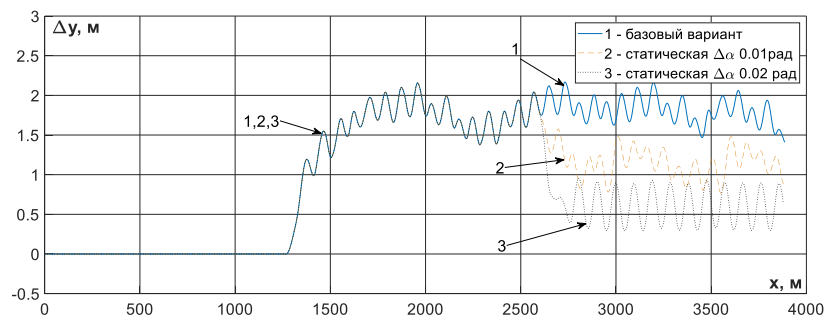


Рис.8. Траектории движения судна при различной погрешности в канале отклонения курса α

При изменении систематической погрешности измерения курса изменяется величина отклонения судна от заданной траектории, однако система управления сохраняет свою работоспособность. Это подтверждают результаты моделирования (рис. 9), проведенные при внесении систематической погрешности во все три канала измерения (величина систематической погрешности составляет, соответственно, $\Delta\alpha_{\text{кв}} = 0,57^\circ$, $\Delta\omega_{\text{кв}} = 5,7^\circ/\text{с}$, $\Delta y_{\text{кв}} = 0,5\text{м}$).

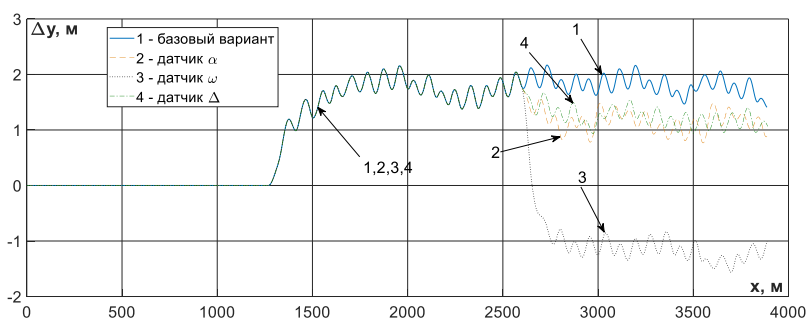


Рис.9. Траектории движения судна при систематических погрешностях в каналах измерения

Ошибочная интерпретация результатов. На рис. 10 представлены траектории движения при одном из возможных вариантов неверной интерпретации (инверсия значений, поступающих с измерительных каналов). Судно уходит с заданной траектории при возникновении подобной ситуации в любом из каналов измерения.

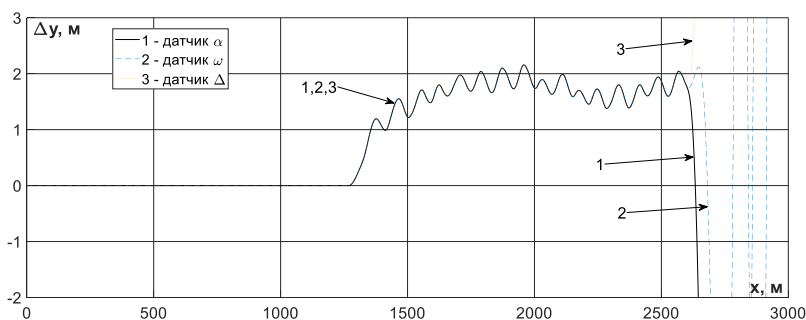


Рис.10. Траектории движения судна при ошибочной интерпретации измерения

Влияние случайных погрешностей на качество процесса управления будет представлено в следующей работе.

Обсуждение

По результатам исследований можно констатировать следующее.

При отказе любого навигационного датчика система управления судна теряет свою работоспособность. Следует отметить, что используемые датчики являются основополагающими для создания различного типа авторулевых для судов морского и речного флота. Кратковременные отказы датчиков в некоторых случаях позволяют системе управления удерживать судно на заданном курсе, однако это следует отнести к нештатной ситуации.

Отсюда вытекает требование к дублированию каналов измерения, а также к необходимости разработки алгоритмов обнаружения отказов датчиков. Дублирующие каналы позволяют на базе непрерывного сравнения выявлять неработоспособные датчики. Кроме того, рассматриваемые навигационные параметры взаимосвязаны между собой, поэтому система управления должна отслеживать «допустимые» коридоры изменения каждого из параметров при изменении других. Такой анализ позволит выявить «неестественное» поведение показаний датчика на фоне информации с других датчиков.

Систематическая погрешность в каналах измерения (естественно, в разумных пределах) оставляет систему управления в работоспособном состоянии, позволяя удерживать судно на заданной траектории, влияя на величину отклонения от заданной траектории.

Ошибочная интерпретация результатов также может привести к отказу работоспособности системы (в частности, в случае инверсии значений, поступающих с измерительных каналов). Однако погрешности такого рода могут возникнуть при ремонте или модернизации системы и должны выявляться в процессе наладки системы. В случае внезапного появления подобных ситуаций во время работы системы управления (например, в результате внешнего воздействия на кабельные трассы и их механического или биологического повреждения), необходимо отнести ситуацию к нештатной, но система благодаря вышеописанным мерам (дублирование каналов измерения, введение коридоров допустимых изменений значений в канале измерения, анализ показаний в канале измерения по показаниям в каналах связанных величин) позволяет выявить подобные неисправности и перейти на работу по исправным дублирующим каналам измерения.

Выводы

Проведенные исследования подтверждают важность проблемы обеспечения высокой надёжности судовых систем, в том числе систем сбора информации (включающих в свой состав датчики, узлы предварительной обработки информации, каналы связи и т.п.), необходимых для генерации управляющих воздействий на механизмы и агрегаты судна при реализации дистанционного или безэкипажного режимов эксплуатации.

Отказ любого навигационного датчика может привести к тяжелой аварийной ситуации. При создании подобных систем управления должно быть предусмотрено дублирование каналов измерения, причем желательно для измерения одного и того же параметра использовать датчики, работающие на различных физических принципах. Алгоритмическое обеспечение системы управления безэкипажным судном должно в обязательном порядке включать в себя алгоритмы автоматического определения отказов измерительных каналов и компенсационных действий системы управления при сбоях в каналах измерения.

Литература

1. International Maritime Organization, "Autonomous shipping," IMO, 2021. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HofTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx> (дата доступа: 25.08.2022).
2. Rolls-Royce Marine, "Autonomous ships. The next step.," Rolls-Royce plc., 2016. URL: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/%20customers/marine/ship-intel/tr-ship-intel-aawa-8pg.pdf> (дата доступа: 25.08.2022).
3. Carson, Daniel F., "An affordable and portable autonomous surface vehicle with obstacle avoidance for coastal ocean monitoring", 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067219300161?via%3Dihub> (дата доступа: 25.08.2022).
4. Положение по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС) Российский морской регистр судоходства. С.-Петербург, 2020
5. Бычков В.Я. Грошева Л.С., Плюшаев В.И. Математическая модель судна с колесным движительно – рулевым комплексом «Золотое кольцо». Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. - Астрахань. 2018. №3. С.36-46.

6. Бычков В.Я., Грошева Л.С., Плющаев В. И. Динамика судна с колесным движительно-рулевым комплексом в условиях внешних воздействий. Морские интеллектуальные технологии. 2019. -№ 4 Т.2. - С.139-146.

References

1. International Maritime Organization, "Autonomous shipping," IMO, 2021. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx> (accessed: 25.08.2022).
2. Rolls-Royce Marine, "Autonomous ships. The next step.," Rolls-Royce plc., 2016. URL: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/%20customers/marine/ship-intel/rr-ship-intel-aawa-8pg.pdf> (accessed: 25.08.2022).
3. Carson, Daniel F., "An affordable and portable autonomous surface vehicle with obstacle avoidance for coastal ocean monitoring", 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067219300161?via%3Dihub> (accessed: 25.08.2022).
4. Polozhenie po klassifikatsii morskikh avtonomnykh i distantsionno upravlyaemykh nadvodnykh sudov (MANS) Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva. S.-Peterburg, 2020
5. Bychkov V.YA., Grosheva L.S., Plyushchaev V.I. Matematicheskaya model' sudna s kolesnym dvizhitel'no – rulevym kompleksom «Zolotoe kol'tsO». [Mathematical model of a vessel with a wheeled propulsion and steering complex "Golden Ring".] Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Morskaya tekhnika i tekhnologiya №3. [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Ser. Marine engineering and technology №3.]- Astrakhan. 2018, pp. 36-46.
6. Bychkov V.YA., Grosheva L.S., Plyushchaev V. I. Dinamika sudna s kolesnym dvizhitel'no-rulevym kompleksom v usloviyakh vneshnikh vozddeistvii. [Dynamics of a vessel with a wheeled propulsion and steering complex under external influences.] Morskie intellektual'nye tekhnologii № 4 volume 2. [Marine intelligent technologies № 4 volume 2.] 2019, pp.139-146.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Мельников Михаил Алексеевич, техник кафедры Радиоэлектроники, «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: mikh.melnickow1999@yandex.ru

Michael A. Melnikov, technician of the Department of Radio Electronics, "Volga State University of Water Transport", Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Плющаев Валерий Иванович, профессор, д.т.н., зав кафедрой Радиоэлектроники, «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: vip3345@yandex.ru

Valery I. Plyushchaev, Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Radio Electronics, "Volga State University of Water Transport", Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 08.09.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 08.09.2022; published online 20.12.2022.

УДК 656.62; 629.122

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.327>

Эффективное вычисление волнового сопротивления судна с помощью интеграла Миччелла

А.Ю. Платов¹

<https://orcid.org/0000-0002-4589-0348>

Ю.И. Платов²

<https://orcid.org/0000-0003-1758-1684>

¹*Нижегородский архитектурно-строительный университет, г. Н.Новгород, Россия*

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

Аннотация. Статья посвящена вопросу эффективного вычисления коэффициента волнового сопротивления судна с помощью интеграла Миччелла. Описанные в литературе вычислительные схемы предлагают применение простых квадратур (формулы трапеции и Симпсона) с фиксированным числом разбиения отрезков интегрирования. Такой подход предполагает ручную настройку алгоритма вычисления коэффициента волнового сопротивления для каждого нового судна и затрудняет оценку погрешности полученных результатов. Показано, что применение указанных простых квадратур позволяет получить надёжные результаты, но ценой десятков миллиардов вычислений функции судовой поверхности. Исследована применимость для вычисления интеграла Миччелла ряда более совершенных универсальных квадратур: адаптивных квадратур Ньютона-Котеса, Гаусса-Кронрода, а также квадратуры Кленшоу-Куртиса. В результате установлено, что надёжное и эффективное вычисление интеграла Миччелла обеспечивает квадратура Кленшоу-Куртиса. Вычислительная схема с использованием данной квадратуры позволяет построить автоматический алгоритм для расчёта волнового сопротивления судна путём пересчёта с прототипа.

Ключевые слова: волновое сопротивление судна, интеграл Миччелла, составные квадратуры, адаптивные квадратуры, квадратуры Ньютона-Котеса, квадратуры Гаусса-Кронрода, квадратура Кленшоу-Куртиса, пересчёт сопротивления с прототипа.

Efficient computation of ship's wave-pattern resistance using Michell's integral

Alexander J. Platov¹

<https://orcid.org/0000-0002-4589-0348>

Juri I. Platov²

<https://orcid.org/0000-0003-1758-1684>

¹*Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia*

²*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The aim of the present paper is to provide efficient method of computation the wave-pattern resistance of a ship using Mitchell's integral. The computational schemes described in publications suggest the use of simple quadratures (trapezoidal and Simpson's rule) with a fixed number of integration's intervals. This approach assumes manual setup of the algorithm for calculating the wave-making resistance for each new ship and complicates to estimate the obtained results error assessment. It is shown that the use of these simple quadratures enables to obtain reliable results by means of tens of billions of calculations of the ship's surface function. The applicability of more advanced universal quadratures for

calculating the Mitchell's integral is investigated: adaptive Newton-Cotes quadratures, Gauss-Kronrod quadratures and Clenshaw-Curtis quadratures. As a result, it is established that the Clenshaw-Curtis quadrature provides a reliable and efficient calculation of the Mitchell's integral. The computational scheme using this quadrature allows you to build an automatic algorithm for calculating the ship's wave-pattern resistance by type ship method

Keywords: wake-making resistance of ship, michell's integral, extended quadratures, adaptive quadratures, Newton-Cotes rules, Gauss-Kronrod rules and Clenshaw-Curtis quadratures, determination of ship's wake-making resistance by type ship method.

Введение

Вычисление сопротивления воды движению судна является одной из сложных задач гидромеханики, востребованных в первую очередь при проектировании судов, а также при нормировании времени следования и расхода топлива. Современные методы вычислительной гидродинамики предоставляют возможность решения этой задачи, обладая при этом значительными требованиями к вычислительным мощностям. Поэтому остаются востребованными упрощённые, так называемые инженерные методы расчёта сопротивления, применение которых целесообразно в предпроектном обосновании, а также в задачах рейсового планирования и нормирования.

Промежуточное положение занимают аналитические методы, из которых особое место занимают методы вычисления волнового сопротивления, основанные на теории потенциала. С помощью таких методов можно моделировать потенциальное движение жидкости более доступным способом, чем это возможно при применении методов, основанных на уравнениях с конечными разностями. Результаты такого моделирования применяются, например, для решения задачи оптимизации формы корпуса.

Первым аналитическим методом расчёта волнового сопротивления является метод Д.Г. Мичелла (так называемый интеграл Мичелла (ИМ)), созданный в 1898 г. Несмотря на появление других аналитических методов, метод Мичелла до сих пор остаётся одним из самых часто используемых для различных исследований методом. Основанием для развития других аналитических методов, отличных от мичеллевского, послужили допущения, положенные Мичеллом при выводе формулы волнового сопротивления.

Это, во-первых, допущение о малости квадратов вызванных скоростей, что позволяет линеаризовать граничные условия для постоянства давления на поверхности. Во-вторых, допущение о малости амплитуды волн, что позволяет исключить из граничных условий неизвестную заранее свободную поверхность (теория волн малой амплитуды). И, в-третьих, допущение о большом отношении длины судна к ширине (теория «тонкого» судна), которое позволяет за счёт отказа от решения задачи о мощности источников, заменяющих собой действие корпуса судна, свести интегральное уравнение к простому интегралу.

Несмотря на эти сильные допущения, результаты вычислений с использованием ИМ оказываются близкими к данным модельных испытаний, как это можно видеть из рис. 1.

Это позволяет предполагать, что с помощью ИМ возможно производить пересчёт волнового сопротивления с прототипа. Однако для такого расчёта необходим автоматический алгоритм вычисления ИМ, не требующий своей настройки при изменении характеристик судна. Такие алгоритмы в литературе не описаны.

Работы, посвящённые алгоритмической стороне вычислений ИМ, немногочисленны [1-4] и предлагают схемы численного интегрирования с фиксированным числом разбиения отрезка интегрирования. Такие схемы не только

непригодны для построения автоматического алгоритма, но и, как будет показано ниже, неэффективны из-за очень большого количества необходимых вычислений.

Методы

Интеграл Миччела (в усовершенствованной В. Виглеем форме) для расчёта волнового сопротивления R_W имеет вид [5]:

$$R_W = \frac{4\rho g^2}{\pi v^2} \int_1^\infty (I^2 + J^2) \frac{\lambda^2}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} d\lambda, \tag{1}$$

где v – скорость судна, ρ - плотность воды, g – ускорение свободного падения, причём две подинтегральные функции интеграла (1) имеют вид:

$$I = \int_{-L/2}^{L/2} \cos kx \, dx \int_0^T F'_x(x, z) e^{-pz} \, dz,$$

$$J = \int_{-L/2}^{L/2} \sin kx \, dx \int_0^T F'_x(x, z) e^{-pz} \, dz,$$

где L – длина судна, T – осадка судна, $y = F(x, z)$ – функция ординат смоченной поверхности судна (судовой поверхности), $p = \lambda^2 g/v^2$, $k = \lambda g/v^2$.

Г.Е.Павленко в 1937 г. была предложены другая форма ИМ, в которой за счёт интегрирования по частям было получен интеграл, не содержащий производных от функции судовой поверхности. Эта форма ИМ имеет вид:

$$R_W = \frac{4\rho g^4}{\pi v^6} \int_1^\infty (G^2 + H^2) \frac{\lambda^4}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} d\lambda, \tag{2}$$

где

$$H = \int_{-L/2}^{L/2} \cos kx \, dx \int_0^T F(x, z) e^{-pz} \, dz$$

$$G = \int_{-L/2}^{L/2} \sin kx \, dx \int_0^T F(x, z) e^{-pz} \, dz$$

Используя преобразование $\lambda = 1/\cos \theta$, можно свести ИМ к интегралу вида:

$$R_W = \frac{4\rho g^4}{\pi v^6} \int_0^{\pi/2} (G^2 + H^2) \frac{d\theta}{\cos^5 \theta}, \tag{3}$$

где $p = \frac{g}{v^2 \cos^2 \theta}$, $k = \frac{g}{v^2 \cos \theta}$

В качестве примера вычисления ниже показана кривая коэффициента сопротивления

$$c_W = R_W/(\rho S v^2), \tag{4}$$

где S – это смоченная поверхность судна.

Кривая на рис. 1 вычислялась для параболической модели Виглея 829, поверхность которой описывается функцией

$$F(x, y) = \frac{B}{2} \left(1 - \frac{z}{T}\right) \left(1 - \frac{4x^2}{L^2}\right). \quad (5)$$

На рис. 1 приведены результаты расчёта интеграла (3) для модели Виглея, а также данные модельных испытаний для той же модели, взятые из [6].

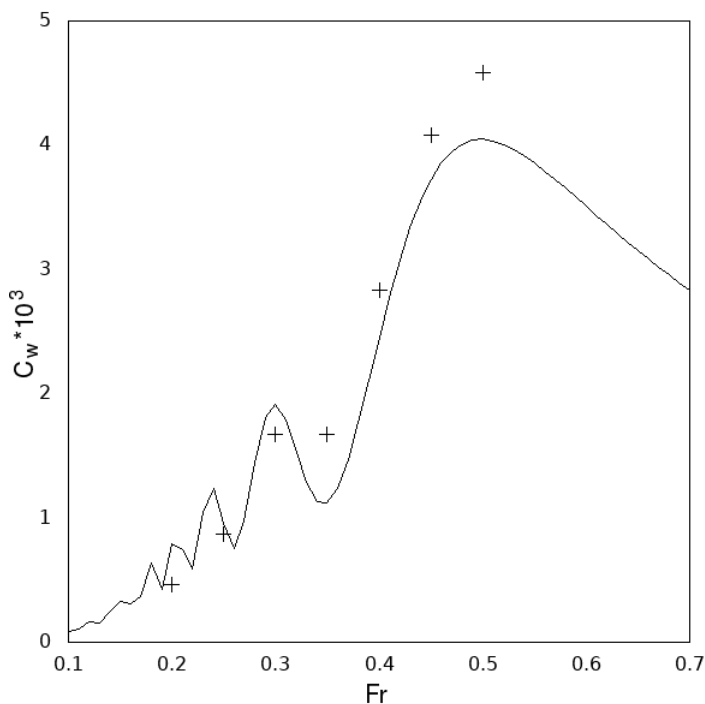


Рис. 1. Коэффициент волнового сопротивления для модели Виглея: сплошная – расчёт, маркеры – модельные испытания

Задача вычисления тройного интеграла Миччела является вычислительно сложной из-за осциллирующего характера функций $G^2 + H^2$ или $I^2 + J^2$. Пример поведения первой функции показан на рис. 2.

Кроме того, несобственный характер внешнего интеграла также усложняет вычисления. Интегрирование с применением стандартных квадратурных алгоритмов не всегда является эффективным, а в общем случае даже не позволяет получить решение.

Поэтому можно поставить вопрос об эффективном вычислении несобственного интеграла (по λ или по θ). Эта эффективность будет оцениваться как трудоёмкость вычисления ИМ при заданной относительной погрешности, принятой за 10^{-5} . Трудоёмкость вычисления ИМ будет оцениваться по количеству вычислений подынтегральной функции первого интеграла (по λ или по θ).

Поскольку при разных значениях числа Фруда $Fr = v/\sqrt{gL}$ требуется разное количество вычислений подынтегральной функции, то трудоёмкость будет определяться по среднему значению количества вычислений при расчёте сопротивления в диапазоне числа Фруда от 0,1 до 0,2 с шагом 0,01.

Трудоёмкость вычисления ИМ зависит также и от формы обводов. Поэтому будут применяться два типа обводов. Первый тип – это классическая модель Виглея [3], с

обводами, вычисляемыми по (5). Второй тип – параболическая модель, определяемая по формуле [7]:

$$F(x, y) = \frac{B}{2} f_1(x) f_2(y), \tag{6}$$

причём функции f_1 и f_2 вычисляются по выражениям

$$f_1 = \begin{cases} 1 - \left(\frac{-0,5(2x + L - 2L_k)}{L_k} \right)^{n_k}, & x \leq -\frac{L}{2} + L_k, \\ 1 - \left(\frac{0,5(2x - L + 2L_n)}{L_n} \right)^{n_n}, & x \geq \frac{L}{2} - L_n, \\ 1, & x \in \left(-\frac{L}{2} + L_k; \frac{L}{2} - L_n \right), \end{cases}$$

$$f_2 = \left(\frac{z}{T} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}},$$

где L_k и L_n - длины кормовой и носовой оконечностей соответственно, β - коэффициент полноты мидель-шпангоута, n_k и n_n - степени, которые вычисляются на основании значений коэффициента полноты ватерлинии кормовой и носовой частей соответственно по выражениям из [7], и здесь не приводятся.

Типы квадратур, обычно используемые в практике для интегрирования функций общего вида, исчерпываются

- 1) квадратурами Котеса (в частности, формулами трапеций и Симпсона), основанными на интегрировании интерполяционного полинома с равноотстоящими узлами;
- 2) квадратурами Гаусса, основанными на интегрировании специального полинома, обеспечивающего наивысшую алгебраическую точность квадратуры;
- 3) квадратурами Кленшоу-Куртиса, основанными на интегрировании интерполяционного полинома Чебышева.

Имеющиеся в литературе примеры реализации вычисления интеграла Миччеля используют составные формулы трапеций или Симпсона. Такие квадратуры программно наиболее просто реализуются, однако не являются самыми эффективными.

Для получения значения интеграла с заданной точностью любую квадратуру в принципе можно использовать тремя способами.

Во-первых, можно применять одну квадратуру, повышая её порядок до необходимого значения. Поскольку интерполяционный полином с равноотстоящими узлами в общем случае расходится, то такой способ для квадратур Котеса неприменим. Квадратура Кленшоу-Куртиса позволяет в этом случае при увеличении порядка использовать ранее вычисленные значения подынтегральной функции.

Во-вторых, можно применять составную квадратуру, разбивая отрезок интегрирования на некоторое, зависящее от заданной погрешности количество подотрезков равной длины и применяя на каждом из этих подотрезков квадратуру фиксированного и невысокого порядка. Квадратуры Котеса оказываются в этом способе самыми эффективными, так как позволяют использовать ранее вычисленные значения подынтегральной функции при увеличении количества подотрезков.

В-третьих, можно использовать адаптивную квадратуру, разделяя исходный отрезок интегрирования на подотрезки неравной длины, в зависимости от поведения функции. Квадратуры Котеса в этом случае также могут использовать уже ранее вычисленные значения подынтегральной функции.

Исходя из этого, для целей исследования были реализованы следующие квадратуры.

- 1) Составные квадратуры по формуле трапеций и Симпсона.
- 2) Адаптивные квадратуры Котеса с порядком от 2 до 8 включительно.
- 3) Адаптивные квадратуры Гаусса-Кронрода с 15 и 61 точками.
- 4) Квадратура Гаусса-Кронрода произвольного порядка.
- 5) Квадратура Кленшоу-Куртиса произвольного порядка.

Все алгоритмы были реализованы автором на языке С.

Алгоритм составных квадратур реализован по [8]. Для оценки ошибки используется априорное правило Рунге. Адаптивная квадратура Котеса реализована по примеру 8-точечной квадратуры из [9]. Оценка также осуществляется по правилу Рунге.

Веса для квадратур Гаусса-Кронрода вычисляются с помощью исходного кода из [10]. Для оценки погрешности используется априорное правило Кронрода [11]. Не удалось найти примера исходного кода квадратуры Кленшоу-Куртиса за исключением её адаптивной версии [13], поэтому автором был реализован оригинальный исходный код. Для оценки ошибки использовалось априорное правило из [12].

Для краткости можно сразу заметить, что трудоёмкость вычисления интеграла Миччела в тех его формах, в которых фигурируют производные от функции судовой поверхности, не отличается от трудоёмкости вычисления интегралов без производных. Поэтому далее они рассматриваться не будут.

Несобственный интеграл (2) вычисляется по следующей схеме [2].

Представим интеграл (2) в виде:

$$\int_1^{\infty} (I^2 + J^2) \frac{\lambda^2}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} d\lambda = \int_1^{\infty} \frac{F(\lambda)\lambda^2}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} d\lambda =$$

$$= \int_1^2 \frac{F(1)}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} d\lambda + \int_1^2 \frac{F(\lambda)\lambda^2 - F(1)}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} d\lambda + \sum_{n=1}^{\infty} \int_{2^n}^{2^{n+1}} \frac{F(\lambda)\lambda^2}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} d\lambda.$$

Тогда первое слагаемое можно вычислить точно:

$$\int_1^2 \frac{F(1)}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} d\lambda = F(1)[\ln(2 + \sqrt{3})].$$

Подынтегральная функция во втором слагаемом уже не содержит особенности в $\lambda = 1$ и при вычислениях может быть для λ , близких к 1, принята равной $F(1)\sqrt{\lambda^2 - 1}(\lambda^2 + 1)$.

Бесконечная сумма в третьем слагаемом вычисляется до тех пор, пока очередной член суммы не становится меньше заданной абсолютной погрешности.

Результаты

Для начала оценим трудоёмкость вычисления несобственных интегралов (2) и (3) при относительной погрешности 10^{-5} , оценивая её по количеству вычислений подынтегральной функции. Результаты расчётов показаны в табл. 1.

Таблица 1

Трудоёмкость вычисления интеграла Мичелла в форме (2) и (3)

Тип квадратуры	Модель Виглея		Параболическая модель	
	ИМ по (2)	ИМ по (3)	ИМ по (2)	ИМ по (3)
Трапеции с подбором шага	495	373	6006	638
Симпсон с подбором шага	485	466	2179	718
Симпсон с адаптацией	83	96	248	265
Котес 9-точек с адаптацией	149	142	240	165
Гаусс-Кронрод 15-точек с адаптацией	136	44	174	48*
Гаусс-Кронрод 61-точка с адаптацией	550	158	550	158
Гаусс-Кронрод произвольного порядка	141	268	311	803
Кленшоу-Куртис произвольного порядка	55	46	131	81

Звёздочкой отмечено преждевременное завершение вычислений из-за неверной априорной оценки погрешности.

Из результатов следует, что, во-первых, вычисление интеграла в форме (3) почти всегда требует меньшего числа вычислений. Во-вторых, наиболее эффективной оказалась квадратура Кленшоу-Куртиса. Хотя адаптивная квадратура Гаусса-Кронрода с 15-ю точками показывает сходные результаты, она не всегда обеспечивает надёжное вычисление интеграла с заданной погрешностью. В-третьих, квадратура Симпсона с подбором шага в целом не лучше формулы трапеции с подбором шага.

Теперь рассмотрим вопрос о трудоёмкости вычисления подынтегральной функции из интеграла в форме (3). Типичное её поведение для модели Виглея при $Fr = 0,2$ показано на рис. 2. Трудоёмкость в этом случае можно оценивать по количеству вычислений функций судовой поверхности (5) и (6).

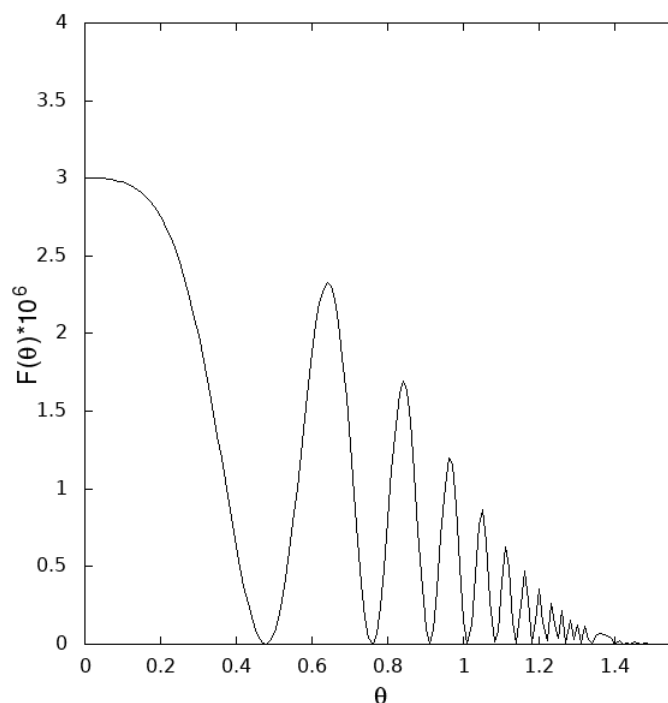


Рис. 2. Функция $F(\theta) = G^2 + H^2$ для модели Виглея при $Fr = 0,2$.

При расчётах была использована также квадратура Филона, представляющая собой квадратуру Котеса с весом. В случае использования формулы трапеции квадратура Филона выражается формулой:

$$\int_{z_1}^{z_2} F(z)e^{-pz} dz \int_{z_1}^{z_2} (az + b)e^{-pz} dz = f(z_2) - f(z_1),$$

где

$$f(z) = -\frac{e^{-pz}}{p} \left(b + a \left(z + \frac{1}{p} \right) \right),$$

$$a = \frac{F(z_2) - F(z_1)}{z_2 - z_1}; b = \frac{F(z_1)z_2 - F(z_2)z_1}{z_2 - z_1}.$$

Подобную квадратуру предлагается использовать в [1] и [2].
 Результаты вычислений показаны в табл. 2.

Таблица 2

Трудоёмкость вычисления подынтегральной функции интеграла Мичелла в форме (3)

Тип квадратуры	Модель Виглея	Параболическая модель
Филон	-	-
Трапеции с подбором шага	6916553	-
Симпсон с подбором шага	105987	-
Симпсон с адаптацией	91791	248667
Котес 9-точек с адаптацией	12215	375188
Гаусс-Кронрод 15-точек с адаптацией	8906	-
Гаусс-Кронрод 61-точка с адаптацией	90408	87428
Гаусс-Кронрод произвольного порядка	-	-
Кленшоу-Куртис произвольного порядка	4185	104744

Прочерки означают, что результат не был получен из-за очень большого количества вычислений.

Можно видеть, что квадратура Кленшоу-Куртиса показывает в целом лучшие результаты. Квадратура Гаусса-Кронрода ведёт себя непредсказуемо, так как при повышении порядка квадратуры, количество вычислений резко увеличивается. Обычно надёжные квадратуры Котеса оказались весьма неэффективными. Хотя квадратура Филона не справилась с вычислениями с заданной точностью, тем не менее, как можно показать, при фиксированном количестве разбиений она работает достаточно надёжно.

Обсуждение

По результатам вычислений можно сказать, что квадратура Кленшоу-Куртиса выглядит предпочтительнее всех остальных. Видимо, хорошие аппроксимационные свойства полинома Чебышева обеспечивают надёжное и эффективное вычисление всех интегралов, входящих в ИМ, с заданной точностью. Можно предположить, что проблемы, возникающие с другими квадратурами, не проявлялись, так как обычным подходом при вычислении ИМ является интегрирование с заданным числом разбиений интервалов интегрирования по z и по x , а не с заданной точностью. Последнее предъявляет повышенные требования к вычислительным алгоритмам, особенно в тех случаях, когда подынтегральная функция осциллирует вблизи нуля.

Выводы

Таким образом, наиболее предпочтительным при вычислении интеграла Миччеля представляется использование квадратуры Кленшоу-Кертиса, которая обеспечивает небольшое количество обращений к функциям при обеспечении высокой точности результата.

Список литературы

1. Пикин Ю.Д. Тимошин Ю.С. Расчёт волнового сопротивления судов на электронно-вычислительной машине // Труды НТО Судпрома, 1965. Вып. 64. с. 62-69.
2. Shahjada bin Tarafder Md., Gazi bin M. Khalil, Ikhtiar bin Mahmud S. M. Computation of wave-making resistance of wigley hull form using michell's integral // Journal - The Institution of Engineers, Malaysia, 2007. Vol. 68, No.4. pp. 33-40.
3. А.Ш. Готман А.Ш. Теоретические и экспериментальные основы гидродинамики водоизмещающих судов. Новосибирск. Изд-во СГУВТ, 2018 – 613 с.
4. Камил М.С. Вычисление интеграла Митчела волнового сопротивления для однокорпусного судна методом конечного корня // «Морские интеллектуальные технологии», 2014. N. 3 (25) Т.1. С. 83-90.
5. Павленко, Г.Е Сопротивление воды движению судов. М.: Морской транспорт, 1956. 508 с.
6. Войткунский, Я.И. Сопротивление воды движению судов Л.: Судостроение, 1988. 288 с.
7. Ашик, В.В. Проектирование судов Л.: Судостроение, 1985. 320 с.
8. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. Томск: Раско, 1991. 272 с.
9. Forsythe G.E., Malcolm M.A., Moler C.B. Computer Methods for Mathematical Computations Prentice Hall, 1977. 270 pp.
10. Kronrod, a C code which computes both a Gauss quadrature rule of order N, and the Gauss-Kronrod rule of order 2*N+1. URL: https://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/c_src/kronrod/kronrod.html (дата обращения 19.07.2022).
11. Kahaner D., Nash S., Moler C.B, Forsythe G.E., Malcolm M.A. Numerical Methods and Software. Prentice Hall, 1989 495 pp.
12. O'Hara, H., Smith F. J. Error estimation in Clenshaw-Curtis quadrature formula. Computer Journal, 1968. N. 11 (2), pp. 213–219.
13. Oliver J. A Doubly-Adaptive Clenshaw-Curtis Quadrature Method. The Computer Journal, 1972. Vol. 15 (2). pp 141–147. DOI: <https://doi.org/10.1093/comjnl/15.2.141>.

References

1. Pikin YU.D. Timoshin YU.S. Raschet volnovogo soprotivleniya sudov na ehlektronno-vychislitel'noi mashine // Trudy NTO Sudproma, 1965. Vyp. 64. s. 62-69.
2. Shahjada bin Tarafder Md., Gazi bin M. Khalil, Ikhtiar bin Mahmud S. M. Computation of wave-making resistance of wigley hull form using michell's integral // Journal - The Institution of Engineers, Malaysia, 2007. Vol. 68, No.4. pp. 33-40.
3. A.SH. Gotman A.SH. Teoreticheskie i ehksperimental'nye osnovy gidrodinamiki vodoizmeshchayushchikh sudov. Novosibirsk. Izd-vo SGUVT, 2018 – 613 s.
4. Kamil M.S. Vychislenie integrala Mitchela volnovogo soprotivleniya dlya odnokorpusnogo sudna metodom konechnogo kornya // «Morskie intellektual'nye tekhnologii», 2014. N. 3 (25) T.1. S. 83-90.
5. Pavlenko, G.E Soprotivlenie vody dvizheniyu sudov. M.: Morskoi transport, 1956. 508 s.
6. Voitkunskii, YA.I. Soprotivlenie vody dvizheniyu sudov L.: Sudostroenie, 1988. 288 s.
7. Ashik, V.V. Proektirovanie sudov L.: Sudostroenie, 1985. 320 s.
8. Mudrov A.E. Chislennye metody dlya PEHVM na yazykakh Beisik, Fortran i Paskal'. Tomsk: Rasko, 1991. 272 s.
9. Forsythe G.E., Malcolm M.A., Moler C.B. Computer Methods for Mathematical Computations Prentice Hall, 1977. 270 pp.

10. Kronrod, a C code which computes both a Gauss quadrature rule of order N, and the Gauss-Kronrod rule of order $2*N+1$. URL: https://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/c_src/kronrod/kronrod.html (access 19.07.2022).
11. Kahaner D., Nash S., Moler C.B, Forsythe G.E., Malcolm M.A. Numerical Methods and Software. Prentice Hall, 1989 495 pp.
12. O'Hara, H., Smith F. J. Error estimation in Clenshaw-Curtis quadrature formula. Computer Journal, 1968. N. 11 (2), pp. 213–219.
13. Oliver J. A Doubly-Adaptive Clenshaw-Curtis Quadrature Method. The Computer Journal, 1972. Vol. 15 (2). pp 141–147. DOI: <https://doi.org/10.1093/comjnl/15.2.141>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Платов Александр Юрьевич, д.т.н., доцент, зав. кафедрой прикладной информатики и статистики, Нижегородский архитектурно-строительный университет (ФГОУ ВО «ННГАСУ»), 603950, Н.Новгород, ул. Ильинская, 65, e-mail: platoff@mail.ru

Alexander J. Platov, Dr. Sci. Tech, head of Applied Informatics and Statistic Chair, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 603950, Nizhny Novgorod, Ilyinskaya st., 65

Платов Юрий Иванович, д.т.н., проф., профессор кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: platov_ji@mail.ru

Juri I. Platov, Dr. Sci. Tech, professor of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 603951, Nizhny Novgorod, Nesterova st., 5

Статья поступила в редакцию 19.09.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 19.09.2022; published online 20.12.2022.

УДК 656.62.052
DOI: 10.37890/jwt.vi73.328

Аналитический расчет параметров маневра судна «движение лагом»

П.Н.Токарев

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

Аннотация. Судоводитель должен хорошо знать маневренные качества своего судна, а также возможности судовых средств управления для выполнения того или иного маневра. В «Информации» о параметрах маневрирования, которая имеется на судне, нет данных о выполнении такого важного маневра, как «движение лагом», который часто используется при выполнении привально-отвальных маневров на стесненной по габаритам акватории. В работе, приняв некоторые допущения, приведено решение системы уравнений движения судна применительно к рассматриваемому маневру. Автором получены аналитические выражения для расчета скорости и пройденного расстояния судна по времени маневра «разгона», движения по инерции и активного гашения скорости движения. Используя полученные выражения, выполнен расчет параметров «движения лагом» теплохода проекта 507.

Приведены графики зависимости скорости и пройденного расстояния судна от времени маневра.

Ключевые слова: двухвинтовое судно, работа движителей «враздрай», носовое подруливающее устройство, стесненная акватория, «движение лагом», расчет параметров.

Analytical calculation of the vessel maneuver «sideways movement» parameters

Pavel N. Tokarev

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. A boatmaster must be well aware of the manoeuvrability of his vessel as well as the ability of the ship's controls to perform a manoeuvre. In the "Information" on maneuvering parameters, which is available on the ship, there is no data on the performance of such an important maneuver as "sideways movement," which is often used in the performance of mooring maneuvers in a cramped water area. In the work, having made some assumptions, the solution of the system of equations of movement of the vessel in relation to the considered maneuver is given. The author has obtained analytical expressions for calculating the speed and distance traveled by the vessel according to the time of the "acceleration" maneuver, inertia movement and active suppression of the speed of movement. Using the obtained expressions, the parameters of the "sideways movement" of the motor ship of project 507 were calculated. Graphs of the dependence of the speed and distance traveled by the vessel on the maneuver time are given.

Keywords: twin-screw vessel, the work of the propellers in the opposite directions, bow thruster, cramped water area, "sideways movement", calculation of parameters.

В практике работы судоводителя часто возникает необходимость выполнения маневров, когда скорость хода близка к нулевой. Как правило, это связано с выполнением привально – отвальных маневров в порту, на акваториях ограниченных размеров. В этом случае практический интерес для судоводителей представляет знание возможностей судовых средств управления своего судна для выполнения не

только «разворота на месте», рассмотренным автором ранее [1], но и такого маневра как «движение лагом».

Принимая допущения, что судно не имеет дифферента и крена, и пренебрегая асимметрией судна относительно поперечной вертикальной плоскости, проходящей через начало системы координат, связанной с судном [1], аналитические выражения для определения параметров неустановившегося движения судна «лагом» найдем из решения системы уравнений (35) [2].

Полагаем, что судно не имеет угловой скорости вращения и продольного смещения

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{dv_x}{dt} = v_x = \omega = 0$$

система уравнений движения судна «лагом» с учетом схемы действия усилий на судно (рис.1.) и принятых допущений имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} T_{E1} - T_{E2} &= 0; \\ Y_R - Y_\Gamma + F_Y &= m(1 + k_{22}) \frac{dv_y}{dt}; \\ M_P + M_R - M_F &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где T_{E1} и T_{E2} - полезный упор движителей на передний и задний ход соответственно;

Y_Y , Y_R и F_Y - боковая составляющая гидродинамической силы на корпусе, рулевом органе и сила, создаваемая носовым подруливающим устройством судна соответственно;

M_R , M_F и M_P - момент, создаваемый рулевым устройством, подруливающим устройством и работой движителей «враздрай» соответственно;

m - масса судна;

v_y - скорость судна при движении лагом;

k_{22} - коэффициент присоединенной массы судна [3].

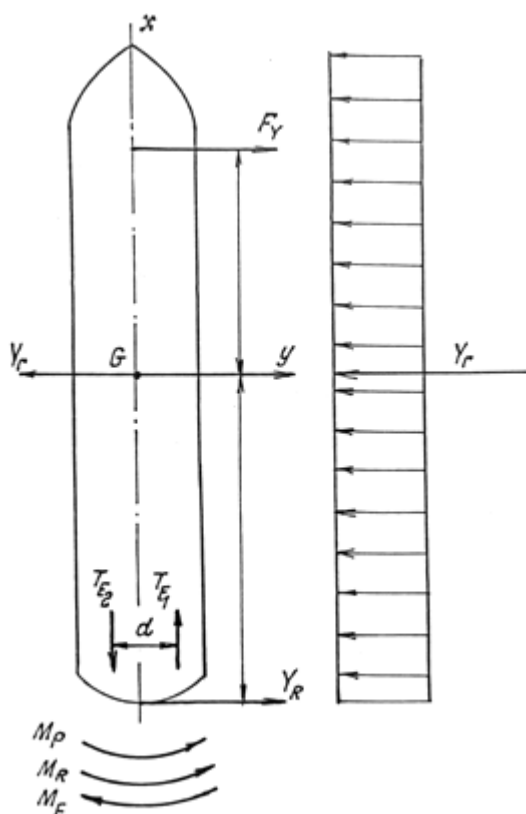


Рис.1. Силы и моменты, действующие на судно при движении лагом ($v_x = \omega = 0$)

Из третьего уравнения системы (1) можно определить условие равенства моментов, действующих на судно с тем, чтобы исключить вращение судна.

Движение судна лагом, как показывает анализ выполненных исследований, может быть обеспечено:

1. Работой подруливающего устройства и работой винтов «враздрай» без перекадки рулевого органа при выполнении условия

$$M_P = M_F. \quad (2)$$

2. Работой движителей «враздрай» независимо от их режима работы и перекадкой насадок «наружу» (при их отдельной перекадке) без использования подруливающего устройства при выполнении условия

$$q_e \operatorname{tg} \alpha_n = \frac{d}{L}. \quad (3)$$

3. Работой движителей «враздрай», подруливающего устройств и перекадкой рулевого органа при выполнении условия

$$q_e \operatorname{tg} \alpha_n = \frac{F_y \bar{l}_{ПВ}}{T_{E1(2)}} \pm \bar{d}, \quad (4)$$

$$\text{где } \bar{l}_{ПВ} = l_{ПВ} / L; \bar{d} = d / L$$

Знак плюс соответствует перекладке насадок «наружу», минус – «внутри».

Для определения угла перекладки насадок α_n может быть использован вспомогательный график рис. 2.

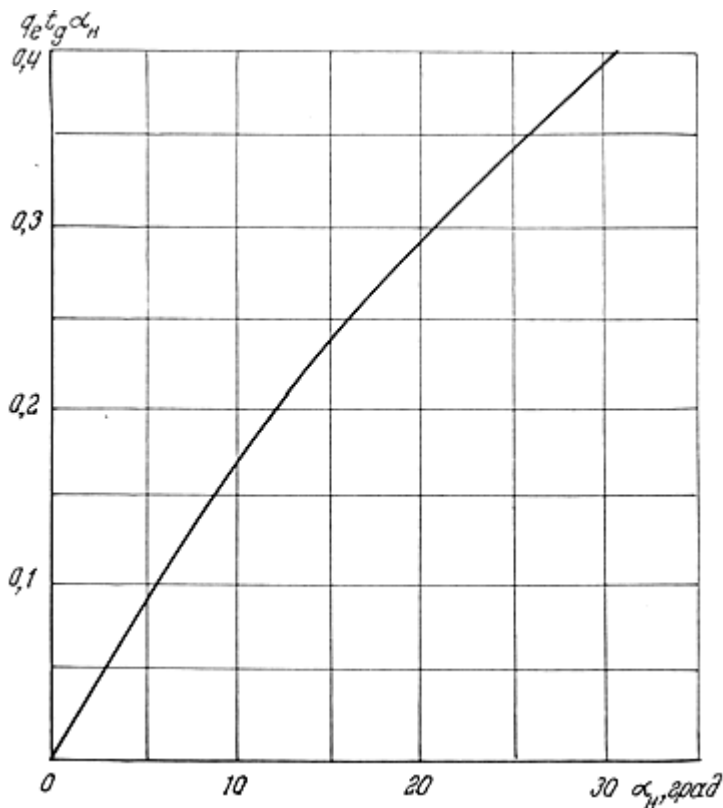


Рис.2. График зависимости величины $q_e \text{tg} \alpha_n$ от угла перекладки насадки

Параметры неустановившегося движения судна лагом для случая «разгона» $v_y = f(t)$, $S = f(t)$ и $v_y = f(s)$ определяются из решения второго уравнения системы (1), которое приводится к виду:

$$\frac{dv_y}{dt} = b - av_y^2. \quad (5)$$

где коэффициенты a и b определяются по следующим выражениям:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{C_{\text{уп}} \rho S_0}{2m(1+k_{22})}; \\ b &= \frac{Y_R + Y_P}{2m(1+k_{22})}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $C_{\text{уп}}$ – коэффициент позиционной составляющей нормальной гидродинамической силы (коэффициент сопротивления корпуса судна при движении «лагом»), определяемый по выражению (6) [4].

Уравнение (5) подобно выражению (4) [1] отличие в коэффициентах a и b .

Выражение для определения времени, необходимого до установившейся скорости движения судна «лагом» получено в следующем виде

$$t = \frac{1}{2aE} \ln \left| \frac{E + v}{E - v} \right|, \quad (7)$$

где $E = \sqrt{b/a}$ - скорость движения судна в установившемся режиме.

Зависимость скорости движения от времени маневра имеет вид:

$$v = E \frac{e^{2aEt} - 1}{1 + e^{2aEt}}. \quad (8)$$

Зависимость пройденного расстояния от времени определяется из выражения

$$S = \frac{1}{2a} \left[\ln \frac{(1 + e^{2aEt})^2}{e^{2aEt}} - 1,386 \right]. \quad (9)$$

В некоторых случаях необходимо знать значение пройденного пути от скорости движения v . Для этого запишем следующее соотношение:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dS} \frac{dS}{dt} = v \frac{dv}{dS}. \quad (10)$$

тогда

$$S = \int_0^v \frac{v dv}{b - av^2}. \quad (11)$$

После интегрирования выражения (11) и некоторых преобразований, получим

$$S = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{E^2}{E^2 - v^2} \right|, \quad (12)$$

или

$$v = E \sqrt{1 - \frac{1}{e^{2aS}}}. \quad (13)$$

Для определения параметров разгона до установившегося значения используем выражение (5), принимая $dv/dt = 0$, тогда

$$b - av_0^2 = 0. \quad (14)$$

тогда

$$v_0 = \sqrt{\frac{b}{a}} = E. \quad (15)$$

Подставляя выражение (15) в формулу (8), находим, что

$$\frac{e^{2aEt} - 1}{1 + e^{2aEt}} = 1. \quad (16)$$

Соотношение (16) равно единице при $t \rightarrow \infty$. Для практических расчетов обычно принимают:

$$v_0 = 0,95E. \quad (17)$$

Подставляя выражение (17) в формулу (8), имеем:

$$t_{разг} = \frac{1,83}{aE}. \quad (18)$$

Путь, который пройдет судно до установившегося значения скорости, определяем из выражения (9) с учетом (18)

$$S = \frac{1,165}{a}. \quad (19)$$

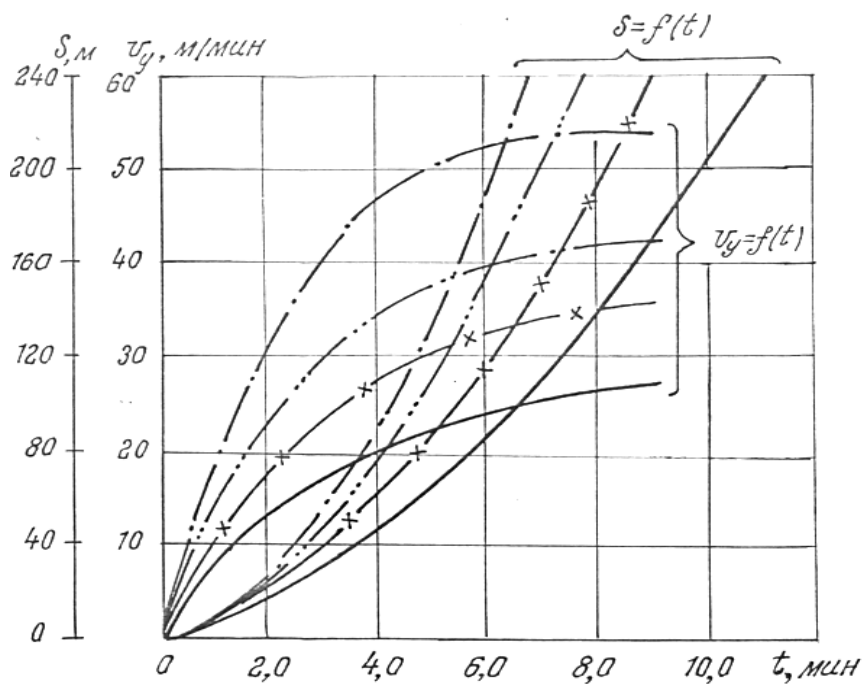


Рис.3. Зависимости скорости V_y и пути перемещения судна S от времени при

- неустановившемся движении лагом (разгон)
- · — · — в балласте, перекладка насадок «наружу»;
- · · — · — в балласте, перекладка насадок «внутри»;
- × — × — в грузу, перекладка насадок «наружу»;
- в грузу, перекладка насадок «внутри».

Зависимости $v = f(t)$, $S = f(t)$ и $S = f(v)$ для определения параметров движения по инерции получены в следующем виде:

$$v = \frac{v_1}{1 + av_1 t}$$

$$S = \frac{1}{a} \ln|1 + av_1 t|$$

$$S = \frac{1}{a} \ln \left| \frac{v_1}{v} \right|$$

В выражениях (20) - (22) v_1 – скорость движения в момент остановки работы подруливающего устройства и движителей.

Результаты расчетов пройденного расстояния и скорости по времени маневра при движении по инерции $v_1 = v_0$ приведены на рис.4.

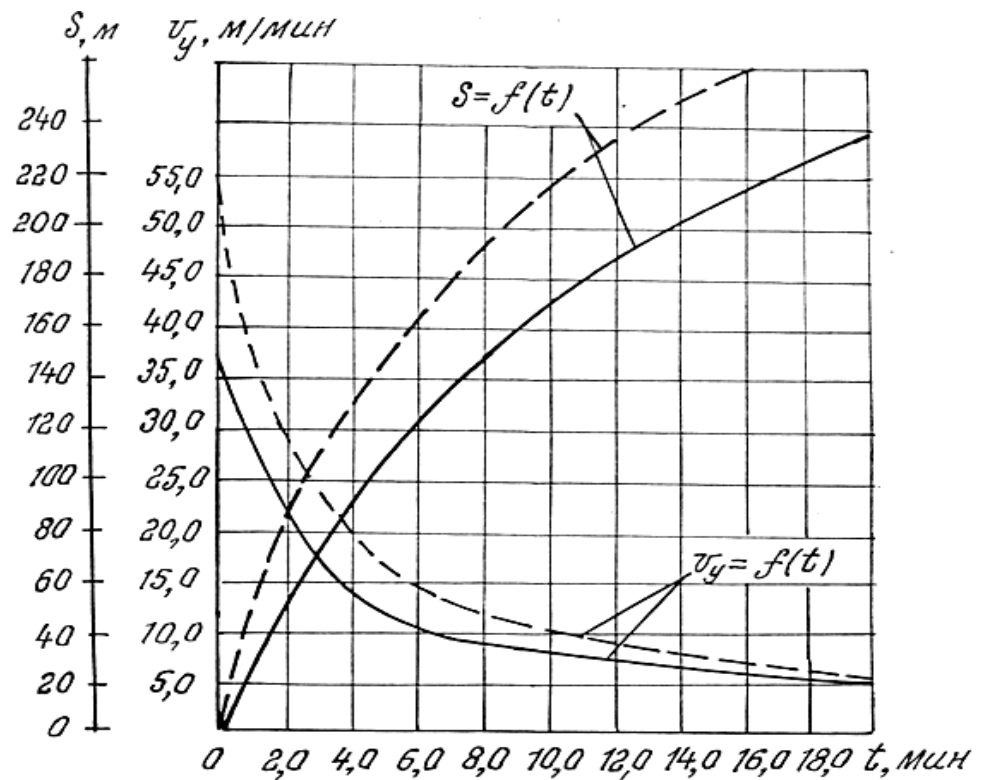


Рис.4. Зависимости скорости v_y и пути S от времени при движении по инерции

— в грузу;
 - - - в балласте

При активном гашении инерции движения судна уравнение (5) принимает следующий вид:

$$\frac{dv}{dt} = -b - av^2. \quad (23)$$

Время гашения инерции движения определяется по выражению:

$$t = \frac{1}{\sqrt{ab}} \left(\operatorname{arctg} \frac{v_2}{\sqrt{b/a}} - \operatorname{arctg} \frac{v}{\sqrt{b/a}} \right), \quad (24)$$

Скорость движения по времени маневра найдем из следующего выражения

$$v = \sqrt{\frac{b}{a}} \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{v_2}{\sqrt{b/a}} - \sqrt{abt} \right). \quad (25)$$

Зависимость пройденного пути по времени определяется по выражению:

$$S = \frac{1}{a} \ln \frac{\cos \left(\operatorname{arctg} \frac{v_2}{\sqrt{b/a}} - \sqrt{abt} \right)}{\cos \left(\operatorname{arctg} \frac{v_2}{\sqrt{b/a}} \right)}. \quad (26)$$

В выражениях (24) - (26) v_2 - скорость движения судна на момент начала активного гашения инерции.

Выражение по определению пройденного расстояния от скорости движения получено в следующем виде

$$S = \frac{1}{2a} \ln \left| 1 + \left(\frac{v_2}{\sqrt{b/a}} \right)^2 \right|. \quad (27)$$

Время необходимое для активного гашения инерции движения до $v=0$ найдем из выражения:

$$t = \frac{1}{\sqrt{ab}} \operatorname{arctg} \frac{v_2}{\sqrt{b/a}}. \quad (28)$$

Результаты расчетов пути и скорости от времени маневра для теплохода пр.507 в полном грузу и в балласте с установившейся скорости движения v_0 при таком же режиме работы движителей, что и для случая разгона представлены на рис.5.

Влияние мелководья на параметры движения может быть учтено через коэффициенты k_{22} и $C_{уп}$.

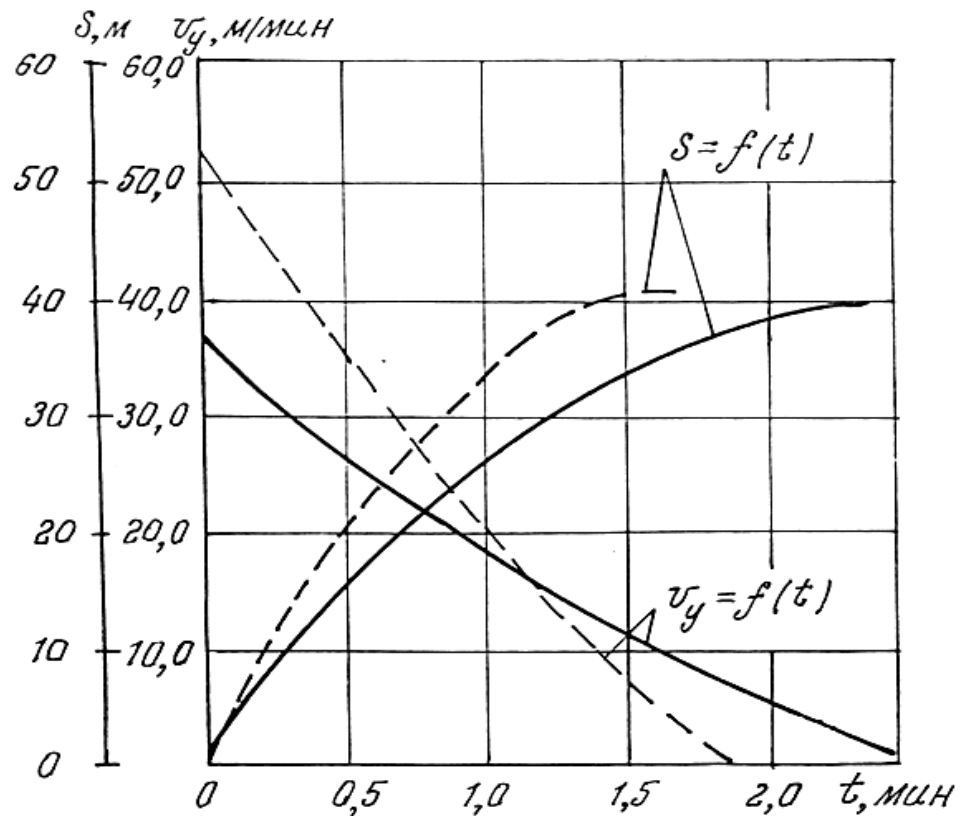


Рис. 5. Зависимости скорости V_y и пути S от времени при активном торможении
 — в грузу;
 - - - в балласте.

Таким образом, выражения, приведенные в статье, могут быть использованы для выполнения расчетов параметров движения судна «лагом». Информация о скорости движения «лагом» и пройденного расстояния судном по времени маневра будет полезна судоводителям.

Список литературы

1. Токарев П.Н. Аналитический расчет параметров маневра судна «разворот на месте» / П.Н.Токарев // Н.Новгород. «Научные проблемы водного транспорта». – 2020. – №64. – С. 207–214.
2. Токарев П.Н. Математическая модель произвольного движения и маневрирования судна/П.Н.Токарев // Н.Новгород. Вестник ВГАВТ. – 2017. – №56. – С. 198–214.
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. Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля/ Я.И.Войткунский, Р.Я.Першиц, И.А.Титов – Ленинград: Судостроение, 1973. – 512с.

References

1. Tokarev P.N. Analiticheskiy raschet parametrov manevra sudna «razvorot na meste» /P.N.Tokarev // N.Novgorod. «Nauchnye problemy vodnogo transporta». – 2020. – №64. – S. 207–214.
2. Tokarev P.N. Matematicheskaya model proizvol'nogo dvizheniya i manevrirovaniya sudna/P.N.Tokarev // N.Novgorod. Vestnik VGAVT. – 2017. – №56. – S. 198–214.
3. Pavlenko V.G. Hodkost i upravlyaemost sudov/ V.B.Bavin_ V.I. Zaikov_ V.G. Pavlenko_ L.B.Sandler. – Moskva_ Transport_ 1991. – 397 s. 1
4. Tokarev P.N. Metod opredeleniya gidrodinamicheskikh usilij na korpuse sudna pri proizvol'nom ploskom dvizhenii/P.N.Tokarev // N.Novgorod. Vestnik VGAVT. – 2017. – №52. – S.191–204.
5. Vojtkunskij YA.I. Spravochnik po teorii korablya/ YA.I.Vojtkunskij, R.YA.Pershic, I.A.Titov – Leningrad: Sudostroenie, 1973. – 512s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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 19.05.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 19.05.2022; published online 20.12.2022.

УДК: 656.61.052

DOI: 10.37890/jwt.vi73.325

The effect of preparatory bridge simulator training on development of situation awareness skills of watchkeepers

Luis G. Evidente¹

Karthik Kannan²

Vladimir A. Loginovsky³

Yusuke Mori⁴

Artur R. Shoshin³

¹John B. Lacson Foundation Maritime University, Iloilo City, Philippines

²AMET University, Chennai, Tamil Nadu, India

³Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia

⁴International Association of Maritime Universities, Tokyo, Japan

Abstract. The paper deals with the concept of situational awareness of Officer of the Watch (OOW). For the purpose of the paper 100 accident investigation reports were analysed and it was concluded that lack of SA was a main contributing factor in the most of accidents. The issue of simulator training is also considered in the article. The analysis of STCW competencies and methods of competency demonstration for initial OOW certification was performed and it was found that a major part of competencies can be acquired through simulator training, including some of bridge watchkeeping competencies. Nowadays candidates for the first certification (cadets) join ships for their first on-board training (OBT) without having any watchkeeping experience, so they have to acquire all relevant skills on board. Taking this into account, the authors propose to arrange preliminary bridge simulator training for cadets prior to their first OBT in order to develop basic watchkeeping and SA skills. The authors also consider the idea to reduce OBT time through appropriate simulator training. To support these ideas a group of acting seafarers was questioned and the data was processed with the use of fuzzy logic. According to experts' opinion, preliminary bridge simulator training can be useful for cadets, allowing them to develop initial situational awareness skills by 40%. However, experts do not consider that simulator training can effectively substitute actual on-board experience and as for their opinions OBT time can be reduced by 5.3 weeks only. Thus, the issue such reduction requires further detailed research.
Keywords: situational awareness, bridge simulator training, fuzzy logic, safety of navigation, watchkeeping, maritime education, shiphandling, certification

Влияние предварительной навигационной тренажёрной подготовки на развитие навыков владения ситуацией у вахтенных помощников

Луис Г. Эвиденте¹

Картик Каннан²

В.А. Логиновский³

Юсуке Мори⁴

А.Р. Шошин³

¹Морской университет Фонда Джона Б. Лаксона, Илоило, Филиппины

²Университет АМЕТ, Ченнай, Тамилнад, Индия

³Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

⁴Международная Ассоциация Морских Университетов, Токио, Япония

Аннотация. В статье рассматривается понятие «владение ситуацией» применительно к несению ВПКМ навигационной вахты. В целях статьи было изучено 100 отчётов по расследованию аварий, и был сделан вывод, что недостаток владения ситуацией у ВПКМ является основным способствующим фактором в большинстве аварий. Также в статье был рассмотрен вопрос тренажёрной подготовки. Анализ компетенций и методов демонстрации компетентности, предписанных ПДНВ, показал, что значительная доля компетенций для первичного дипломирования ВПКМ может быть освоена за счёт прохождения тренажёрной подготовки, включая некоторые компетенции, относящиеся к несению навигационной вахты. В настоящее время кандидаты на первичное дипломирование (курсанты) отправляются на свою первую плавательную практику без какого-либо опыта несения вахты, поэтому им приходится осваивать все соответствующие навыки лишь на борту. Принимая это во внимание, авторы статьи предлагают проводить предварительную тренажёрную подготовку для курсантов до прохождения ими плавательной практики в целях развития базовых навыков владения ситуацией и несения вахты. Авторами также рассматривается идея сокращения плавательной практики за счёт организации подходящих тренажёрных курсов. Для оценки этих идей была опрошена группа экспертов, и результаты опроса были обработаны посредством нечёткой логики. По мнению экспертов, предварительная тренажёрная подготовка будет полезна для курсантов и позволит им развить навыки владения ситуацией на 40%. В то же время эксперты не считают, что тренажёрная подготовка способна заменить действительную практику на борту и, согласно их оценкам, возможное сокращение срока плавательной практики составляет 5,3 недель. Таким образом, вопрос сокращения продолжительности плавательной практики требует дальнейшего подробного исследования.

Ключевые слова: владение ситуацией, навигационный тренажёр, нечёткая логика, безопасность мореплавания, несение вахты, морское образование, управление судном, дипломирование

Introduction

The latest EMSA overview of marine casualties and incidents shows persistent decrease in the number of accidents at sea over the period of 2014-2020 [1]. At the same time, loss of control being the predominant type of accident constitutes around 30% of all casualties reported and remains almost at the same level in figures. The EMSA report also states that 20% of safety recommendations developed by investigations bodies relate to human factor, 49% of them being in regard to training and skills. Since the human factor role in maritime industry is significant, especially in its contribution to accidents, training-related issues demand to be considered in deep. The proportion of accidents due to Human error is shown below on Figure 1.

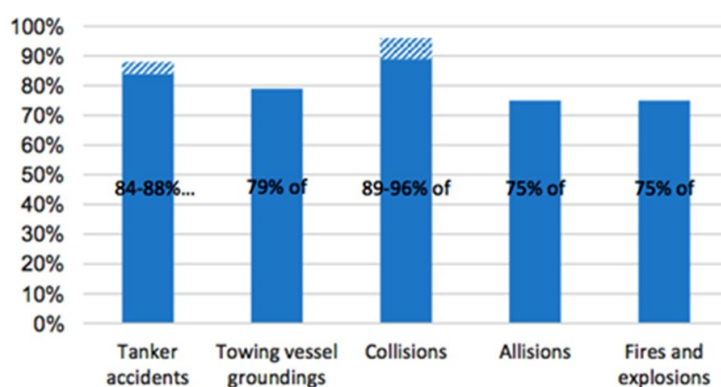


Fig. 1: Impact of Human error to accidents at sea

Source: [2]

The process of watchkeeper's decision making can be viewed from the perspective of situational awareness (SA), the concept of which was initially introduced by Endsley for Air Force domain [3]. To prove that situation awareness is a key safety factor for the officer of the watch (OOW), especially when performing high-risk operations, an intentional analysis of accidents has been completed and the results are presented in the article.

Nowadays, the practical training of deck officers comprises 12 months of on-board training (OBT), which is to meet the requirements provided by the STCW Code, section A-II/1, and shore-based training to acquire other corresponding competencies prescribed by the STCW Code. During on-board training, candidates for the first certification (cadets are to perform bridge watchkeeping duties under the supervision of the master or a qualified ship's deck officer over a period of at least 6 months. It must be noted that shore-based training, which relates to bridge watchkeeping (simulation bridge training), is usually arranged after cadets have already completed a part of on-board training.

So, when joining a ship for the first time, cadets usually do not have neither actual watchkeeping experience nor preliminary bridge simulator training completed and have to obtain the required skills during on-board training only. Depending on company requirements and the actual cadet's schedule on board, the effectiveness of their OBT may vary from ship to ship.

For the purpose of this article, a group of experts (acting seafarers) has been questioned regarding the effectiveness of simulator training arranged for cadets prior to their OBT, on the basis of SA-levels improvement potentially obtained as a result of such training. At the same time, an analysis of current STCW competencies, which candidates for first certification are to acquire, and the required methods to demonstrate these competencies, has been performed. The results of such a questionnaire can indicate the demand to modify the process of cadet training in order to enable them to acquire bridge watchkeeping and situational awareness skills prior to their on-board training, which would improve the effectiveness of their OBT. Taking into account the analysis of STCW competencies and demonstration methods, it could be assumed that some competencies could be acquired through shore-based simulation training and, therefore, the duration of OBT could be reduced.

The article contains the analysis of the questionnaire results with data processing methods and the outcomes relating to the above-mentioned issues.

Situational awareness: background and application to bridge watchkeeping

The concept of situation awareness (SA) was first introduced by Endsley M.R. in 1995, who defined it as "the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future."

Endsley considers SA to be a crucial part of decision-making, especially in complex and dynamic environments, and proposes a model that indicates the role of SA in the entire decision-making process (fig. 2).

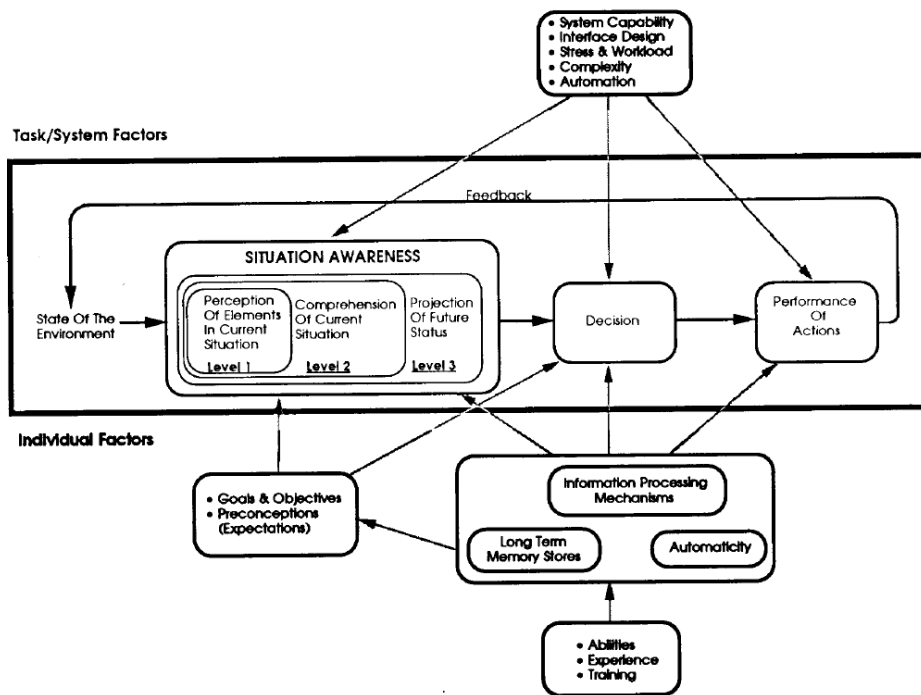


Fig.2: Model of situation awareness in dynamic decision-making [4]

As shown in Figure 2, situation awareness includes three levels: level 1 – perception of elements in the current situation; level 2 – comprehension of the current situation; and level 3 – projection of future status. Situation awareness is primarily based on goals and objectives to be achieved by the decision and depends on both environmental elements (e.g. system capability, interface design, stress and workload) and individual (human) information-processing abilities.

In Endsley’s work, the concept of SA is being considered in the context of the Air Force domain. However, the theory itself and the model are applicable to many other activities, which incorporate the human element as a decision-making one, including the maritime sector.

The Officer of the Watch (OOW) on board a modern ship has to deal with a large amount of information every watch in order to be aware of the ship’s position and her movement along the planned route, any dangers from the shipboard and external environments, functionality of the equipment, and so on. In other words, the OOW has always to be aware of the current situation and know the proper course of action to be followed in each period of time in order to attain the goal set.

Endsley’s SA model for an OOW is presented in Fig. 3 and explained below.

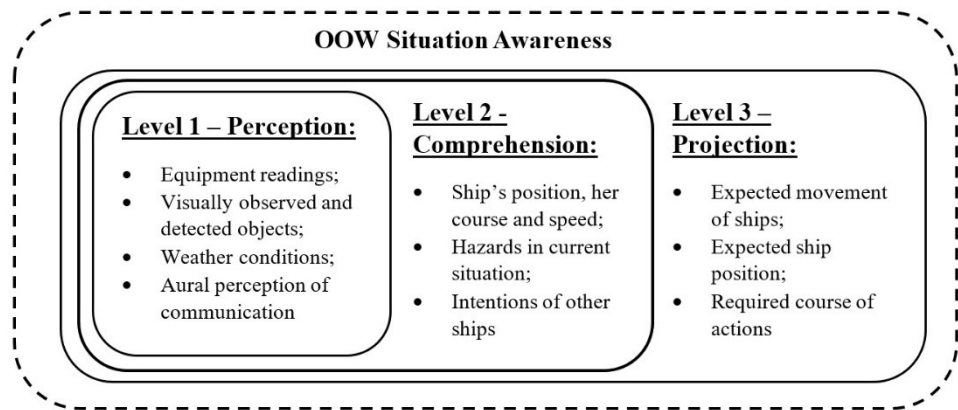


Fig.3: Endsley’s SA model for OOW

Level 1 – being the first step to achieve SA, implies perception of elements. During the watch, OOW observes the surroundings both visually and with equipment, and can see other ships, land, coastal and navigational marks. Keeping GMDSS watch, the OOW receives information from shore stations, including navigational and weather warnings, and communication between other ships can also be heard. Looking at the ECDIS display, the OOW sees the chart information, including the plotted route, depth, and dangerous areas. Most important elements, such as ship’s coordinates, course, and speed, can also be read either on the ECDIS display or from related equipment. Finally, readings from an echo sounder enable OOW to know under keel clearance.

Perception of elements is the main one among SA levels, since an important element unnoticed can lead to inadequate comprehension of the situation, false projection, and unsafe actions as a result.

Level 2 – Comprehension is the second step that implies integration of the information obtained at level 1. Perceived elements are assembled into an entire picture, enabling the OOW to comprehend and analyze the current situation. As a result, at this level, the OOW can realize if everything is going well so far, as expected, or if there is something new, or something to be concerned about.

For example, the OOW understands if the ship’s position corresponds with an expected one, according to the plan, or if there is a deviation; if vessels in the vicinity present any imminent danger; and if the vessel is at a safe distance from land or if the under-keel clearance is sufficient.

Level 3 – Projection is the final level of SA before making a decision. At this stage, the OOW assesses the future development of the current situation, taking into account potential dangers to encounter which may turn into real ones. Prior to making a decision, the OOW considers different options to act upon and finally chooses the most appropriate one.

For example, realizing that the vessel is on a dangerous course towards the shore, the OOW can take the decision to alter the course, provided that the new one will keep the vessel safe. Or having assessed the movement of ships in the vicinity, the OOW can alter the course or change the speed to avoid potential danger, even if in the current situation there is no immediate threat.

According to the Endsley decision-making model shown in Figure 1, SA depends not only on environmental conditions but on individual qualities of the decision-maker as well. Therefore, the SA of individuals within the same conditions can differ depending on the officer’s abilities, experience, and training. It is known that undesired states such as fatigue, stress, and overload impair the situational awareness of a human operator, increasing the risk of undesired events (near misses, incidents and accidents) [5].

Situational awareness: contribution to accidents

Accident statistics show that impairment or loss of situational awareness is a contributing factor in the majority of accidents. For the purpose of this study, the Global Integrated Shipping Information System (GISIS) has been addressed and data on marine casualties and incidents has been analyzed [6]. Thus, in this study, 100 investigation reports (see Table 1) on groundings and strandings have been examined to find out the main causes of accidents and contributing factors from the perspective of situational awareness. Among the reports studied, only one deals with a near-miss situation, while the rest relate to actual grounding (stranding) accidents. The results of the learning from the reports are summarized and presented below.

Table 1

Investigation reports analyzed in the study

Investigating body	MAIB (UK)	MCIB (Ireland)	PMA (Panama)	ATSB (Australia)	FBMCI (Germany)	SMSI (Sweden)	Misc. others
Number of reports	21	15	10	10	5	5	34

In fact, most accidents are complicated in their nature, being caused by various factors at different levels. At the same time, analysis of investigation reports allows one to derive primary causes and construct general scenarios for accidents.

The analysis of the investigation reports used in the study resulted in the following findings:

- In 12 cases (12%) OOW fall asleep on watch being fatigued or after alcohol consumption; also, in 2 cases OOW left the bridge;
- In 10 % inadequate anchoring took place, without due regard to current or expected weather conditions – there was no enough time for vessels to heave up anchor and proceed to safe waters;
- In 5% of reports an equipment or machinery failure is stated as the primary cause of grounding;
- In 6% vessels totally lost control having encountered adverse weather conditions;
- In 4% cases ships proceeded along a route, which had been plotted across shallow waters or just above a single danger; and
- in more than 50% of reports grounding accident occurred due to unsafe navigational decisions taken by OOW/Master or Pilot, who:
 - were not aware of immediate danger (*poor perception*);
 - did not monitor important factors, e.g. under-keel clearance or course over ground (*poor perception*);
 - exercised poor navigational watchkeeping without vigilant lookout (*poor perception*) and regular position fixing performed (*poor comprehension*);
 - used inappropriate charts (which resulted in *poor perception*);
 - loss control on ship-handling (*poor comprehension*);
 - altered course without proper assessment of current and future situation (*poor comprehension & projection*).

The loss of the proper level of situation awareness by the OOW is related to the majority of maritime accidents. From this perspective, Table 2 summarizes the accident rate

analysis. Inadequate perception of navigation information, i.e., a low quality environmental monitoring method, has the largest negative impact.

Table 2

Effect of SA on Navigational Accidents

Source	Loss of situation awareness (%)	Level 1: Lack of perception of information (%)	Level 2: Perceived information comprehension loss (%)	Level 3: Inadequate projection of the situation's development (%)
<i>Grech & Horberry (2002), [7]</i>	71	58,5 (of 71)	32,7 (of 71)	8,8 (of 71)
<i>Sandhåland et al., (2015), [8]</i>	78	72 (of 78)	22 (of 78)	6 (of 78)
<i>Mohsen et al. (2014), [9]</i>	>40	67 (of 40)	20 (of 40)	13 (of 40)
<i>Ensley (1994a), [3]</i>	88			
<i>Wagenaar & Groeneweg (1987), [10]</i>	93			

The findings above prove situational awareness of the operator to be a crucial factor for performing ship operations, especially high-risk ones which include coastal navigation, pilotage, and mooring. It also must be noted that, according to Ensley’s model and data from Table 2, errors at the perception level lead to an incomplete understanding of the situation and therefore to inadequate projection, which eventually can lead to unsafe decisions.

First certificate of competency: STCW-provided competencies and methods of demonstration

According to STCW requirements [11], candidates who apply for the first Certificate of Competency (FCoC) in the course of training are to acquire competencies provided by the following paragraphs of the STCW Code:

- section A-II/1 (approved academic studies + on-board training)
 - par. 2, section A-VI/1, par. 1-4, section A-VI/2, par. 1-4, section A-VI/3 and par. 1-3, section A-VI/4 (approved academic studies + shore-based training)
- For the competencies listed in section A-II/1 the following methods of competency demonstration are recognized by SCTW:

1. Approved in service training (AIST);
2. Approved training ship experience (ATSE);
3. Approved simulator training where appropriate (ASTWA);
4. Approved laboratory equipment training (ALET);
5. Practical training (PT);
6. Approved training on a manned scale ship model where appropriate (MMSM);
and
7. Modular training ashore (MTA) – used for competencies not listed in section A-II/1.

In the analysis of all competencies provided by Section A-II/1 and the corresponding methods of competency demonstration, the following ratios are obtained, see fig. 4:

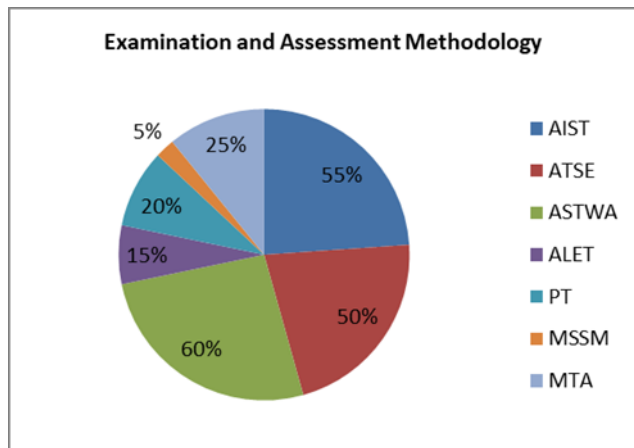


Fig.4: Methods of competency demonstration (STCW Code, Section A-II/1)

From Fig. 4, it is clear that the majority of competencies are obtained through approved simulator training where appropriate.

In accordance with STCW provisions, the functions of competency for the first certification are as follows, (see Table 3):

Table 3

Functions of Competency (STCW, Section A-II/1)

Function	Part of the total
Navigation	50%
Cargo handling	10%
Ship operation control	40%

A full range of examination and assessment methodologies can also be considered in relation to functions of competencies, the results being integrated in Fig. 5:

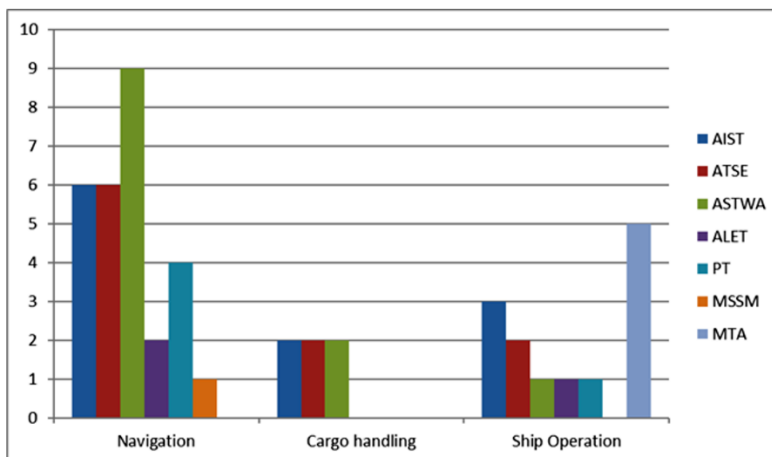


Fig. 5: Functions of competency with corresponding methods of competency demonstration

As seen from Fig. 5, about half of the "Navigation" competencies can be acquired through ASTWA, while the remaining ones require service on board training or non-training ship. Around 1/3 of competencies contained in "Cargo handling" function can be developed

through simulator training. It should also be noted that a major part of the "Ship operation control" competencies can be acquired through modular training ashore.

Today, a move towards extensive simulation training that substitutes a part of sea-going service is observed in the UK, where a new cadet simulator training program and assessment were recently introduced [12]. According to the new arrangements, training in a full mission bridge simulator can be credited as on-board service based on the following ratios:

- 5 days in a full mission bridge simulator for 15 days of seagoing service;
- 10 days in a full mission bridge simulator for 30 days of seagoing service;
- 20 days in a full mission bridge simulator for 60 days of seagoing service

The simulator training is implemented as a part of the Bridge Watchkeeping Skills Simulator Course and implies intensive training within an artificial decision-making environment with a number of different scenarios that could not be encountered during on-board service.

Thus, cadets would be provided with appropriate knowledge and skills related to bridge watchkeeping duties in accordance with the relevant requirements. However, according to this system, a maximum of 2 months of on-board training can be substituted through simulator course attendance.

As a basis for the development of the program, Article IX "Equivalents" was used. It should be noted that this Article does not imply an explanation that the equivalents used are in accordance with the requirements of the STCW Convention.

Improvement of situational awareness as a result of preliminary simulator training: expert's opinion

Nowadays, equipment-related training (relating to the use of navigational equipment) is arranged for candidates after they have already completed a part of the training on-board. It means that when joining a ship for their first OBT, cadets have neither actual watchkeeping experience nor preliminary simulator training completed prior to joining, and they have to develop all their navigational skills from "zero". Taking into account the potential improvement of watchkeeping situational awareness in the effect of simulator training, it may be assumed that in the event that cadets attend qualitative bridge simulator training before joining a ship, their watchkeeping skills would be developed to some extent, which would enable them to acquire more required skills and experience by the end of their OBT.

To prove or refute this assumption, a group of experts who are acting seafarers have been questioned. The group consisted of 237 respondents, among whom 177 were Masters and Chief Officers with 10+ years of onboard experience, which makes their opinions quite valuable.

The questionnaire comprised several questions, but for the purpose of the article, only two of them are presented below, with experts' opinions illustrated, see Figures 6 and 7.

Question 1

*«In your experience and compared to onboard training (OBT) of cadets, **what is the simulator training contribution** (to choose % interval) in acquiring the following professional skills for performing the OOW duties:*

- (a) **perception of information**: it encompasses how OOW undertakes look-out duties, detects and correctly recognizes important objects in a timely manner, correctly concentrates attention...;*
- (b) **comprehension of perceived information**: it encompasses how OOW combines, interprets, stores, retains information, and identifies hazards /dangerous situations...;*
- (c) **projection of navigational situation development** for a certain time interval: what will happen if...?*

- (d) *ability of decision-making: timely, effective and optimal decision-making;*
- (e) *carrying out the safety actions: timeliness and correctness.*

Experts' opinions regarding question 1 are compiled in Figure 6.

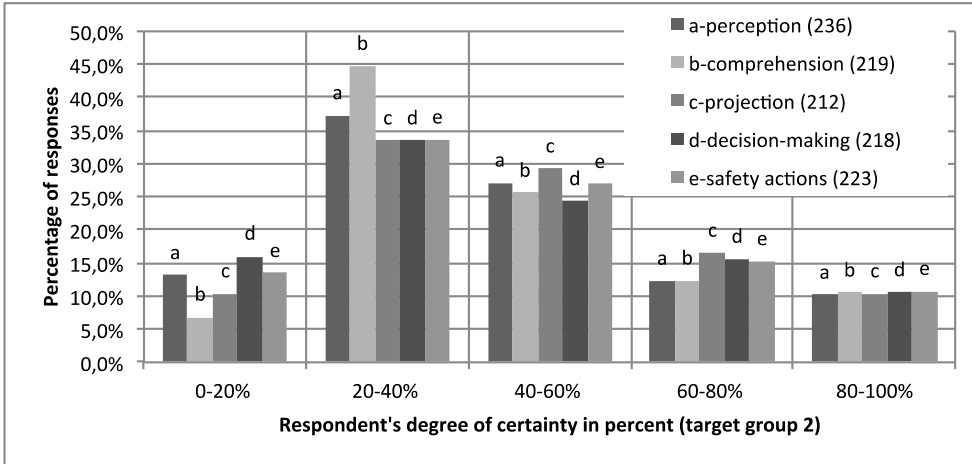


Fig.6: Improvement of SA as a result of simulator training, experts' opinion (Question 1:a,b,c)

Question 2

«Do you agree with the view that pre-training experience of prospective officers (cadets) with use of simulators allows the possible reduction of the STCW sea-time requirement for OBT (less than 12 months) for certification purposes (First CoC to OOW)? If you select “agree” or “strongly agree”, enter the number of weeks for possible reduction of sea-time (e.g., M, 2 weeks).

Experts' opinions regarding question 2 are presented in Figure 7.

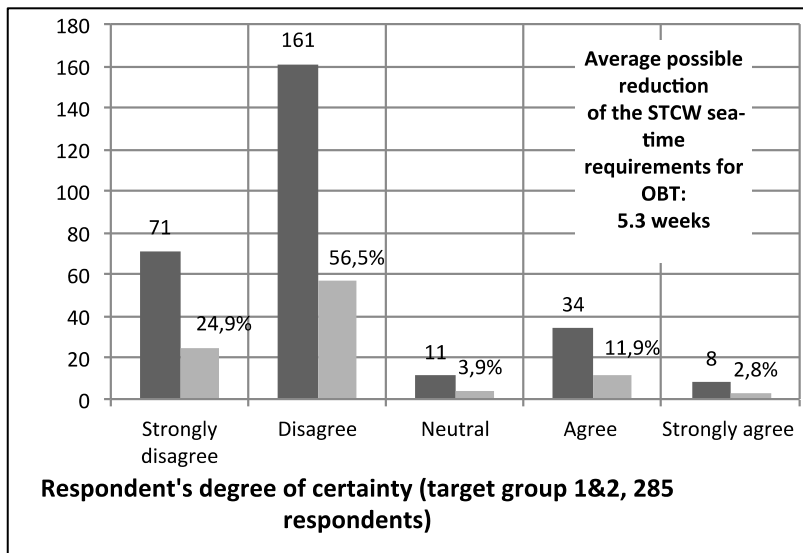


Fig.7: Experts' opinion on possible reduction of OBT following by simulator training (Question 2)

Data processing

For the purpose of the article, experts’ opinions regarding Question 1 (a, b, c) have been processed in order to obtain a more distinct value for each level of SA and the overall SA improvement expected as a result of simulation training.

To achieve it, the following procedure was followed:

1. Since all experts were divided into three groups: Masters (M), Chief Mates (C) and OOW (O), and since it was known how many and which experts chose a particular answer, there was a possibility to assess the opinions of *each group regarding each level of SA separately*. For convenience, each level of SA is assigned a letter, in the same way as in Question 1: A stands for perception, B stands for comprehension, and C stands for projection.

Table 4 and explanations below demonstrate the method used in the analysis.

Table 4

Level of Perception (A), Masters

	0-20 (%)	20-40 (%)	40-60 (%)	60-80 (%)	80-100 (%)	In total
Quantity of answers	6	18	19	4	0	47
Weight	0,128	0,383	0,404	0,085	0	

Depending on the quantity of answers, each interval was weighted, which enabled us to calculate a weighted average interval (WAI), based on the current distribution of answers.

To obtain the WAI, extreme (min and max) interval values were calculated. For this purpose, min and max values of the given intervals were averaged out with regard to the pre-computed interval weight (see Table 4).

Thus, $A_{min}^M = 1 \cdot 0,128 + 20 \cdot 0,383 + 40 \cdot 0,404 + 60 \cdot 0,085 = 29,048 \approx 29,0\%$, and $A_{max}^M = 20 \cdot 0,128 + 40 \cdot 0,383 + 60 \cdot 0,404 + 80 \cdot 0,085 = 48,92 \approx 49,0\%$
 Therefore, WAI (Perception, Masters) $\approx [29, 49]\%$.

In the same manner, the rest of the 8 WAIs were calculated and the results are presented in Table 5.

Table 5

Weighted Average Intervals of Expected SA Level Improvement, group opinions

	Masters	Chief Officers	OOW
Perception	29 – 49 %	30 – 50 %	23,5 – 43,5 %
Comprehension	30 – 50 %	30 – 50 %	24 – 44 %
Projection	31,5 – 51,5 %	28 – 48 %	31 – 51 %

2. The weights assigned to the intervals in Step 1 were computed with regard to answer distribution only, so the current task is to consider both the quantity of answers and expert competency.

On the basis of SCTW requirements for minimum service in rank, new weights can be assigned to these groups; for example, a candidate for a Master’s license has at least three years of sea service, for a Chief Officer’s CoC, only two years is required, and a candidate for an OOW certificate of competency is to have only 1 year at sea, as a cadet.

Therefore, the new weights are assigned as follows, see Table 6.

Table 6

Weight coefficients for ranks

Rank	Coefficient
Master	0,500
Chief Officer	0,333
OOW	0,167

A fuzzy model was then created to yield WAIs for each level of SA, taking into account both answer distribution and expert experience (see Figure 8).

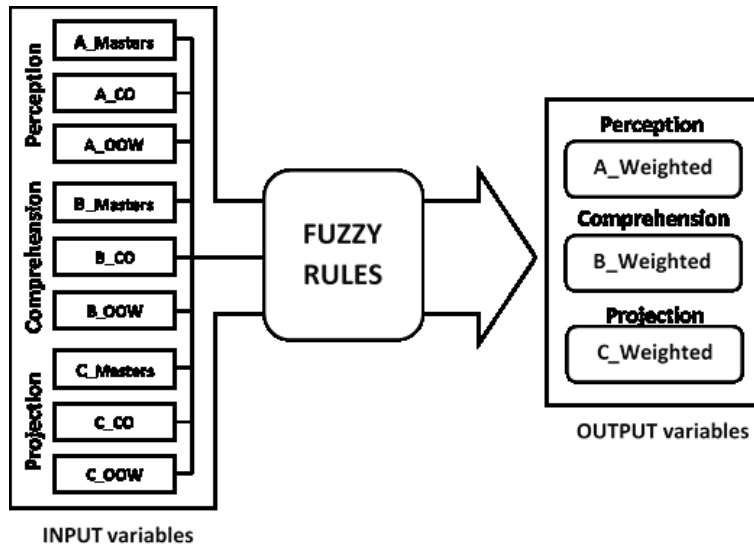


Fig.8: Fuzzy model for assessing improvement of SA levels in the course of simulator training based on experts' opinion.

The model, built on *Fuzzy Logic Toolbox* software, contains 9 input variables (opinions of each group on each SA level) and 3 output variables (which contain weighted values for each SA level).

Membership functions (MFs) for the model were chosen so that to fit the intervals given by the Questionnaire as the answer options (see Fig. 5), and triangular type of MFs proved to be the most appropriate one. The following considerations were taken into account prior to plotting the MFs:

- The top vertex of a triangular MF should match the middle point of the corresponding interval (in this point the degree of membership should be equal to 1), as it is assumed by the authors that when choosing the interval the experts focused on its middle, rather than extreme values;
- The degree of membership should be equal to 0.5 at the interval limits.

With regard to these points, MFs were plotted for the given intervals. The both input and output variables contain absolutely identical MFs. The example of MF is shown in Figure 9.

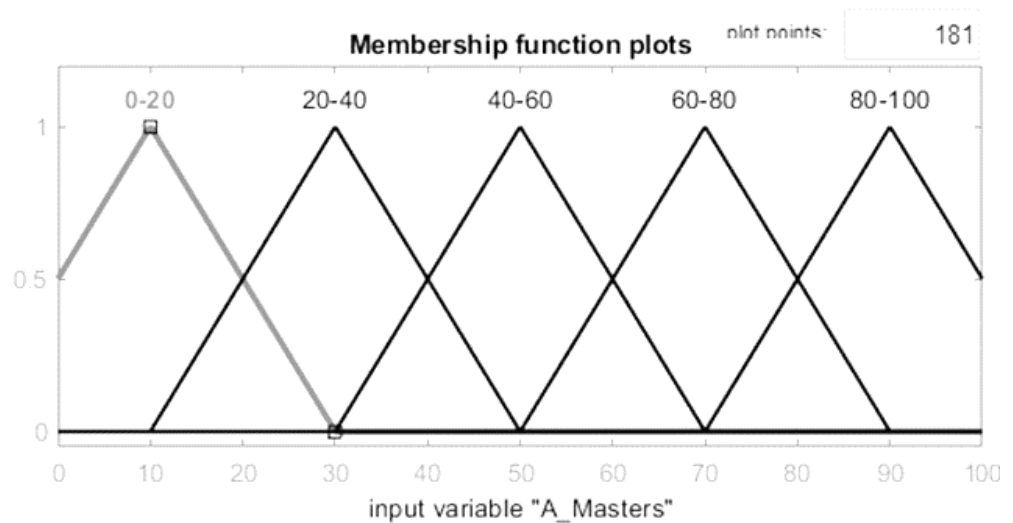


Fig.9: Input variable “A_Masters”: membership functions
 Capture from Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB)

For the model 45 rules were developed and weighted in accordance with Table 5; examples for the first input and output variable are shown below:

1. If «A_Masters» is 0-20, than «Weighted_Perception» is 0-20 (0.5);
2. If «A_Masters» is 20-40, than «Weighted_Perception» is 20-40 (0.5);
5. If «A_Masters» is 80-100, than «Weighted_Perception» is 80-100 (0.5);

In the same manner the rules were created for the rest variables in the model.

3. To obtain the crisp outputs in the model, the input crisp values were taken from Table 4 for all 9 variables. First, the minimum extreme values were entered into the system, and the resulting output values were noted, and the same was done for the maximum extreme values.

Finally, weighted average value of each SA level, defining the expected improvement was obtained: $A^W \approx [29 \div 48] \%$; $B^W \approx [29 \div 49] \%$; $C^W \approx [31 \div 51] \%$. Assuming that answers concentrate around the middle of intervals in the questionnaire (e.g. [20-40] % means something around 30%), the expected improvement of SA levels can be expressed in more distinct values: $A^W \approx 38,5 \%$; $B^W \approx 39,5 \%$; $C^W \approx 41 \%$, and it can be concluded that overall improvement of situational awareness by means of preliminary simulator training would be **around 40%**.

Discussion

Questionnaire data processing results show that, according to experts’ opinion, in the simulation training arranged prior to OBT, an overall improvement of situational awareness levels constitutes around 40%, and the same is true for each SA level.

However, most experts do not consider such improvement as a prerequisite for the reduction of OBT time, referring to Question 2 and Figure 6. The respondents were requested to explain their answers, and the major part of their arguments against the reduction of OBT time stated that simulator training could be appropriate for familiarization purposes only and that nothing would replace actual navigational watch experience. As some experts stated, the simulation environment is absolutely safe and in case of failure, any

task can be restarted, unlike in real-world situations where the cost of an error could be much higher. Thus, the absence of real danger and psychological pressure automatically increases the trainee's confidence in simulated conditions. However, as for some experts' opinion, it has nothing to do with actual watchkeeping.

At the same time, some experts consider that preliminary simulation training can be effective for cadets but only restricted to bridge watchkeeping because all other activities can be effectively learned only in the course of OBT. Thus, based on experts' opinion, the overall reduction of OBT through preliminary simulator training constitutes only 5.3 weeks on average.

However, ratios presented in Figures 3 and 4 indicate that around half of the required competencies can be acquired through simulation training, including those, which relate to the "Navigation" function of competency.

As a positive outcome, it can be concluded that preliminary simulation training arranged for cadets prior to their OBT commences will be beneficial in developing the situation awareness skills of those who have never been on board. If the training system is revised, this issue should be taken into account.

Experts who took part in the questionnaire in general have incredulous opinions regarding the reduction of OBT, which leaves a demand for further research in this area.

Conclusion

Nowadays most of marine incidents and accidents are caused by human element and many of safety recommendations relate to seafarers' training and skills. It is consistent, because in the ever-changing world standards of education and training also have to be up to date.

In the article it is shown that navigational errors are the primary cause of most groundings and other accidents resulting from a watchkeeping officer's lack of situation awareness and the lack of perception of navigational information being the first stage of SA impairment of consistency of mental information processing by OOW. Ensley's decision-making model, presented in the article, indicates that the level of SA depends both on environmental factors and personal ones, which include abilities, level of training, and skills.

Today, candidates for first CoC are to complete 12 months of on-board training service followed by shore-based training modules. However, when joining a ship for the first time, cadets usually have no experience of watchkeeping and no relevant skills.

A group of more than 200 experts who are acting seafarers has been questioned regarding the potential improvement of SA-levels developed through preliminary simulator bridge training arranged for cadets before they join ships for their first OBT. In experts' opinion, such simulator training arranged before the OBT contributes to a 40% overall improvement in SA. However, in experts' opinion, simulators may be good for familiarisation purposes, but they cannot substitute actual on-board training. Overall, the reduction of OBT due to simulation training might be around 5.3 weeks on average, which consists of 10% of the STCW 78 requirements. In principle, this is a completely realistic assessment that can serve as a prerequisite for further research.

The STCW Code competencies for first OOW certification have also been analyzed in the article, and the obtained results indicate that around half of the competencies for "Navigation" and "Ship operation control" functions at operational level can be acquired through shore-based training, including simulators.

Onboard ships, cadets are the conductors of new ideas and technologies that they have received in MET institutions. That is why the passing of their simulator training ashore before training onboard can have a mutually positive effect, both for the cadets themselves and for the crews of the ships on which they are training, due to mutual enrichment by

knowledge and the easier and more effective involvement of ship's officers in cadets' training programs.

To improve the overall effectiveness of the training programs, it may also be appropriate to slightly modify the structure of the cadets' Training Record Book by adding AST (simulator) appropriate items in it, taking into account the competencies that fit the watch keeping duties.

Considering the results obtained in the study, it can be concluded that simulation bridge training arranged for cadets prior to on-board training improves their situational awareness skills and the quality of their on-board training. However, the issue of reducing OBT by means of arranging qualitative simulator training requires further detailed research.

References

1. Preliminary annual overview of marine casualties and incidents 2014-2020 s.l. – Text : electronic // European Maritime Shipping Agency : website. – 2021, April. – URL: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2021/04/EMSA-Preliminary-Annual-Overview_2021_-04.pdf (date of application: 10.11.2021).
2. Strategy, planning and reform : trends, developments and challenges facing the IMO in the 2018-2023 period. – 2016, May. – C 116/4/1, COUNCIL 116th session. – 51 p. – Text : direct.
3. Endsley, M. R. A taxonomy of situation awareness errors / M. R. Endsley. – Text : electronic // Paper presented at the Western European Association of Aviation Psychology 21st Conference, Dublin, Ireland. – 1994a, March. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/14378491> (date of application: 12.01.2022).
4. Endsley, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems / M. R. Endsley. – Text : direct. // Human factors : the journal of the human factors and ergonomics society. – 1995. – Vol. 37.1. – P. 32-64. – DOI 10.1518/001872095779049543.
5. Enhancing situational awareness / M. Pico, D. Hoogervegt, R. Bik [et al.]. – Text : electronic // Maritime Symposium Rotterdam : website. – 2015. – URL: <http://www.maritimesymposium-rotterdam.nl/uploads/Route/ENHANCING%20SITUATIONAL%20AWARENESS.pdf> (date of application: 12.01.2022).
6. Global integrated shipping information system. – Text : electronic // GISIS : website. – URL: <https://gisis.imo.org> (date of application: 15.12.2021).
7. Grech, M. Human error in maritime operations: situation awareness and accident reports / M. Grech, T. Horberry. – Text : direct. // Paper to be presented at the 5th International Workshop on Human Error, Safety and Systems Development, Newcastle, Australia, 2002.
8. Sandhåland, H. Situation awareness in bridge operations / H. Sandhåland, H. Oltedal, C. Eid. – Text : electronic // A study of collisions between attendant vessels and offshore facilities in the North Sea. – Department of Maritime Studies, Stord/Haugesund University College, Bjørnson, 2015. – DOI 10.1016/j.ssci.2015.06.021. – URL: https://www.researchgate.net/publication/281437894_Situation_awareness_in_bridge_operations_A_study_of_collisions_between_attendant_vessels_and_offshore_facilities_in_the_North_Sea (date of application: 16.12.2021).
9. Naderpour, M. A situation risk awareness approach for process systems safety / M. Naderpour, J. Lu, G. Zhang. – Text : electronic // Decision systems and e-service intelligence laboratory Centre for quantum computation & intelligent systems, school of software faculty of engineering and it, university of technology, Sydney PO Box 123, Broadway NSW 2007 Australia. – DOI 10.1016/j.ssci.2013.12.005 // Open Publications of UTS Scholars : website. – 2014. – URL: <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/32967/4/2013001434.pdf> (date of application: 16.12.2021).
10. Wagenaar, W. A. Accidents at sea: Multiple causes and impossible consequences / W. A. Wagenaar, J. Groeneweg. – Text : electronic // International journal of Man-Machine Studies. – 1987. – Vol. 27. – P. 587-598. – DOI:10.1016/S0020-7373(87)80017-2. – URL: https://www.researchgate.net/publication/222872097_Accidents_at_Sea_Multiple_Causes_and_Impossible_Consequences (date of application: 16.12.2021).

11. IMO International convention on standards of training, certification and watchkeeping for seafarers, s.l. – Text : electronic // International Maritime Organization : website. – 2017. – URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/STCW-Convention.aspx> (date of application: 21.01.2022).
12. IMO STCW.2/Circ. 92, s.l. – Text : electronic // International Maritime Organization : website. – 2020. – URL: <http://shippingregs.org/Portals/2/SecuredDoc/Circulars/STCW.2-Circ.92.pdf?ver=2020-07-09-103844-953> (date of application: 23.01.2022).

Список литературы

1. Preliminary annual overview of marine casualties and incidents 2014-2020 s.l. – Text: electronic // European Maritime Shipping Agency : website. – 2021, April. – URL: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2021/04/EMSA-Preliminary-Annual-Overview_2021_-04.pdf (date of application: 10.11.2021).
2. Strategy, planning and reform : trends, developments and challenges facing the IMO in the 2018-2023 period. – 2016, May. – C 116/4/1, COUNCIL 116th session. – 51 p. – Text : direct.
3. Endsley, M. R. A taxonomy of situation awareness errors / M. R. Endsley. – Text : electronic // Paper presented at the Western European Association of Aviation Psychology 21st Conference, Dublin, Ireland. – 1994a, March. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/14378491> (date of application: 12.01.2022).
4. Endsley, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems / M. R. Endsley. – Text : direct. // Human factors : the journal of the human factors and ergonomics society. – 1995. – Vol. 37.1. – P. 32-64. – DOI 10.1518/001872095779049543.
5. Enhancing situational awareness / M. Pico, D. Hoogervegt, R. Bik [et al.]. – Text : electronic // Maritime Symposium Rotterdam : website. – 2015. – URL: <http://www.maritimesymposium-rotterdam.nl/uploads/Route/ENHANCING%20SITUATIONAL%20AWARENESS.pdf> (date of application: 12.01.2022).
6. Global integrated shipping information system. – Text : electronic // GISIS : website. – URL: <https://gis.imo.org> (date of application: 15.12.2021).
7. Grech, M. Human error in maritime operations: situation awareness and accident reports / M. Grech, T. Horberry. – Text : direct. // Paper to be presented at the 5th International Workshop on Human Error, Safety and Systems Development, Newcastle, Australia, 2002.
8. Sandhåland, H. Situation awareness in bridge operations / H. Sandhåland, H. Oltedal, C. Eid. – Text : electronic // A study of collisions between attendant vessels and offshore facilities in the North Sea. – Department of Maritime Studies, Stord/Haugesund University College, Bjørnson, 2015. – DOI 10.1016/j.ssci.2015.06.021. – URL: https://www.researchgate.net/publication/281437894_Situation_awareness_in_bridge_operations_A_study_of_collisions_between_attendant_vessels_and_offshore_facilities_in_the_North_Sea (date of application: 16.12.2021).
9. Naderpour, M. A situation risk awareness approach for process systems safety / M. Naderpour, J. Lu, G. Zhang. – Text : electronic // Decision systems and e-service intelligence laboratory Centre for quantum computation & intelligent systems, school of software faculty of engineering and it, university of technology, Sydney PO Box 123, Broadway NSW 2007 Australia. – DOI 10.1016/j.ssci.2013.12.005 // Open Publications of UTS Scholars : website. – 2014. – URL: <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/32967/4/2013001434.pdf> (date of application: 16.12.2021).
10. Wagenaar, W. A. Accidents at sea: Multiple causes and impossible consequences / W. A. Wagenaar, J. Groeneweg. – Text : electronic // International journal of Man-Machine Studies. – 1987. – Vol. 27. – P. 587-598. – DOI:10.1016/S0020-7373(87)80017-2. – URL: https://www.researchgate.net/publication/222872097_Accidents_at_Sea_Multiple_Causes_and_Impossible_Consequences (date of application: 16.12.2021).
11. IMO International convention on standards of training, certification and watchkeeping for seafarers, s.l. – Text : electronic // International Maritime Organization : website. – 2017. – URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/STCW-Convention.aspx> (date of application: 21.01.2022).

12. IMO STCW.2/Circ. 92, s.1. – Text : electronic // International Maritime Organization : website. – 2020. – URL: <http://shippingregs.org/Portals/2/SecuredDoc/Circulars/STCW.2-Circ.92.pdf?ver=2020-07-09-103844-953> (date of application: 23.01.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Луис Г. Эвиденте, Морской университет Фонда Джона Б. Лаксона, Илоило, Филиппины, e-mail: luis.evidente@jblfmu.edu.ph

Capt. Luis G. Evidente, JBLFMU, Iloilo, Philippines

Картик Каннан, Университет АМЕТ, Ченнай, Тамелнад, Индия, e-mail: karthik.k@ametuniv.ac.in

Capt. Karthik Kannan, AMET University, Chennai, Tamil Nadu, India

Логиновский Владимир Александрович, д.т.н., профессор, профессор кафедры навигации, Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»), 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: vl.loginovsky@rambler.ru

Vladimir A. Loginovsky, Doctor of Sciences in Technology, Professor of the Department of Navigation, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7, Dvinskaya st, St. Petersburg, Russia, 198035

Юсуке Мори, заместитель директора-исполнителя, Международная Ассоциация Морских Университетов, Токио, Япония; аспирант Всемирного Морского Университета, Мальмо, Швеция, e-mail: mori@iamu-edu.org

Capt. Yusuke Mori, Deputy Executive Director, IAMU, Tokyo, Japan; post-graduate student of World Maritime University (WMU), Sweden

Шошин Артур Романович, аспирант кафедры навигации, Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»), 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: artshoshin@rambler.ru

Artur R. Shoshin, post-graduate student, Department of Navigation, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7, Dvinskaya st, St. Petersburg, Russia, 198035

Статья поступила в редакцию 05.08.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 05.08.2022; published online 20.12.2022.

**ВОДНЫЕ ПУТИ, ПОРТЫ И ГИДРОТИХНИЧЕСКИЕ
СООРУЖЕНИЯ**

**WATERWAYS, PORTS AND HYDRAULIC ENGINEERING
CONSTRUCTIONS**

УДК 627.4

DOI: 10.37890/jwt.vi73.317

**Оценка проблемных участков плотовых перевозок на
Верхней Каме от с. Бондюг до г. Соликамск, вызванных
русловыми деформациями, и пути их устранения**

Ю.Е. Воронина¹

М.В. Молчанова¹

ORCID: 0000-0003-2391-7279

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

Аннотация: Анализ русловых деформаций лимитирующих участков рек является основой при выборе схемы коренного улучшения судоходных условий на них. На примере Верхней Камы на участке от с. Бондюг до г. Соликамск выполнены исследования продольных и плановых многолетних деформаций, вызывающих затруднения для судоходства. Приведены характеристики затруднительных для судоходства участков от с. Бондюг до г. Соликамск. Определены основные тенденции развития русла по участкам в рассматриваемых границах и интенсивность русловых деформаций. Характер многолетних деформаций весьма разнообразен. Весь участок делится на короткие промежутки аккумуляции наносов и более длительные участки размыва. На основании выполненного анализа многолетних русловых деформаций предложен комплекс путевых работ, включающий дноуглубление и возведение выправительных сооружений, способствующих устранению проблемных водных узлов.

Ключевые слова: судоходные условия, гарантированные габариты, русловые деформации, совмещенные и сопоставленные планы, затруднительный участок, аккумуляция наносов.

**Assessment of problematic sections of raft transportation on the
Verhnyaya Kama river from Bondyug village to Solikamsk caused
by riverine deformations and ways to eliminate them**

Yulia E. Voronina¹

Marianna V. Molchanova¹

ORCID: 0000-0003-2391-7279

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

Abstract: The analysis of channel deformations of the limiting sections of rivers is the basis for choosing a scheme for radically improving navigable conditions on them. The studies of longitudinal and planned long-term deformations causing difficulties for navigation have been carried out on the example the Verhnyaya Kama on the section from Bondyug village to Solikamsk. The characteristics of the sections difficult for navigation from the village of Bondyug to Solikamsk are given. The main trends in the development of the channel along the sections within the boundaries under consideration and the intensity of channel deformations are set. The nature of long-term deformations is very diverse. The entire area is divided into short periods of sediment accumulation and longer periods of erosion. On the basis of the performed analysis of long-term channel deformations, a set of track works was proposed, including dredging and erection of corrective structures that contribute to the elimination of problematic water nodes.

Keywords: navigable conditions, guaranteed dimensions, channel deformations, combined and compared plans, difficult site, sediment accumulation.

Введение

На участке р. Кама от с. Бондюг до г. Соликамск протяженностью 129 км в период высоких уровней воды осуществляются перевозки плотовыми составами древесины с верховья реки. Данный тип перевозок является основным направлением использования Верхней Камы. С 2004 года по 2016 год сплав леса в плотях в разные годы составлял 150-330 тыс. куб. м. Начиная с 2017 года объемы увеличились до 450 тыс. куб. м. Лес в плотях идет на переработку на АО «Соликамскбумпром» г. Соликамск – одним из лидеров целлюлозно-бумажной промышленности России и на ООО «Красный Октябрь» г. Пермь. Указанные объемы полностью не покрывают годовой необходимости в древесине. Возможности промышленности еще не исчерпаны и увеличение поставок леса позволит расширить производство в связи с растущими запросами конечного потребителя. Столь ограниченный сплав леса лимитируется коротким сроком навигации, которая осуществляется лишь при высоких уровнях в период половодья. При понижении уровней воды после спада половодья необходимые габариты пути не могут быть обеспечены.

В современных условиях увеличение объема перевозок на рассматриваемом участке р. Кама возможно при выполнении объемного комплекса путевых работ, направленного на улучшение судоходного состояния затрудняющих судоходство участков водного пути.

Исследуемый участок р. Кама по условиям судоходства целесообразно рассматривать по двум направлениям (рис.1):

1 - Верхняя Кама (с. Бондюг, 77 км - пгт. Керчевский, 0 км) по карте р. Кама от устья реки Лиз до поселка городского типа Керчевский. Габариты судового хода на этом участке пути не гарантированы;

2 - участок р. Кама от пгт. Керчевский до г. Березники, являющийся частью Камского водохранилища (2546-2467 км от южного порта Москвы по Атласу ЕГС ЕЧ РФ, том 9, часть 1).

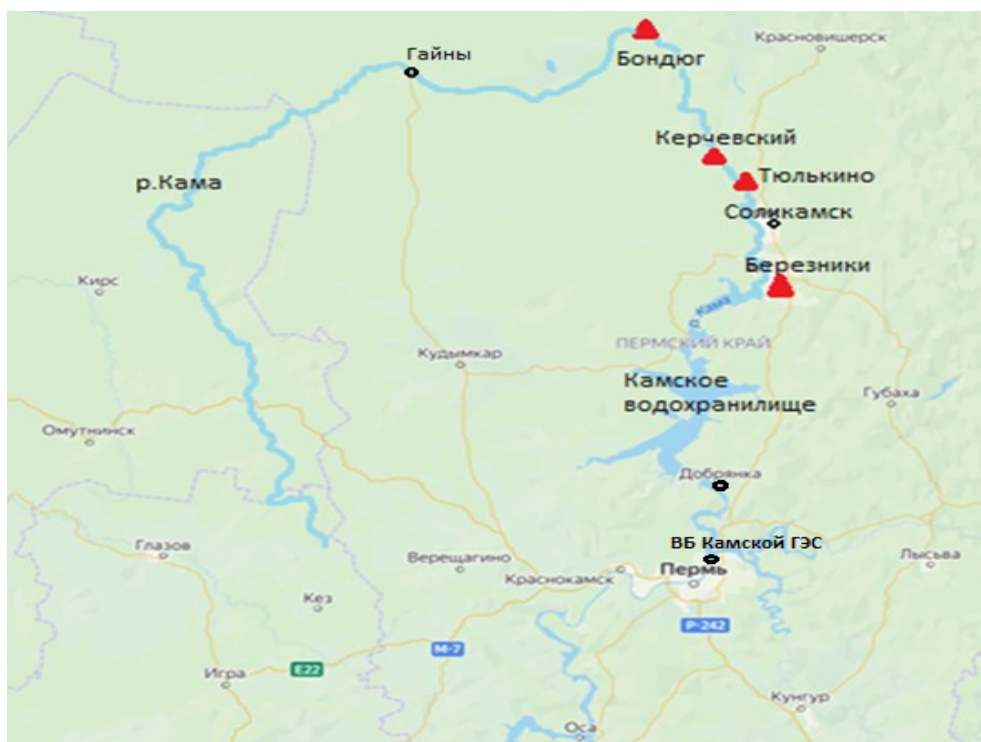


Рис. 1. Ситуационный план бассейна р. Кама

Участок Верхней Камы (селение Бондюг-поселок городского типа Керчевский) имеет протяженность 77 км, из которых порядка 25 км – зона выклинивания переменного подпора Камского водохранилища, остальной участок – свободная река. Участок р. Кама от пгт. Керчевский до г. Березники является частью Камского водохранилища, образованного осенью 1953 году в результате перекрытия реки Кама плотиной Камского гидроузла в районе города Пермь.

К наиболее затруднительным местам для судоходства на участке с. Бондюг - пгт. Керчевский относятся участки с крутыми изгибами русла, где действуют прижимные и свальные течения и перекаты, расположенные в крутых коленах, с малыми глубинами.

Изучение затруднительных участков Верхней Камы необходимо для установления характера русловых процессов с выявлением факторов, затрудняющих судоходство, и прогноза русловых переформирований на ближайшие годы. Поэтому целью исследования является оценка проблемных участков плотовых перевозок на Верхней Каме от с. Бондюг до г. Соликамск, вызванных русловыми деформациями. Результаты исследования необходимы для выбора схемы коренного улучшения судоходных условий на Верхней Каме.

Методы

Речной поток является активной силой – он размывает породы, слагающие русло, измельчает продукты разрушения, перемещает их и откладывает эти продукты при уменьшении транспортирующей способности. При изменении скоростного режима поток деформирует русло, переносит ранее отложившиеся наносы и т. д.

Изменение формы русла и русловых образований под воздействием потока представляет собой русловый процесс, то есть процесс взаимодействия потока и

русла. Этот процесс весьма сложный, поскольку сложна динамика речного потока, под влиянием которого изменяется геометрия русел, принимающих весьма разнообразные очертания как в плане, так и в поперечных сечениях [8].

В процессе установления причинных связей между отдельными явлениями руслового процесса и составления прогноза русловых деформаций при изучении затруднительных участков Верхней Камы наряду с руководящими материалами [9, 10], имеющимися картографическими материалами использованы данные русловых исследований.

При всем многообразии форм речных русел можно обнаружить, что некоторые формы устойчиво повторяются, встречаясь на реках, удаленных друг от друга и даже находящихся в несхожих климатических условиях. Эти наиболее часто встречающиеся формы связаны с определенными типами руслового процесса.

Русловые процессы на равнинных реках по характеру русловых и пойменных деформаций подразделяются на следующие типы [7]:

- а) побочневый, свойственный прямолинейным или слабо изогнутым руслам с подвижными донными грунтами; побочневый тип руслового процесса выражается в сползании вниз по течению крупных, косо расположенных в русле гряд.
- б) свободное меандрирование, развивающееся в широких долинах с относительно высокой поймой и преобладанием в составе пойменных отложений связных грунтов;
- в) незавершенное меандрирование, развитию, которого способствует небольшая высота поймы и рыхлый состав ее грунтов;
- г) пойменная многорукавность; по условиям развития и характеру переформирования этот тип близок к незавершенному меандрированию;
- д) русловая многорукавность с подтипами островной и осередковой многорукавности; первый из этих подтипов обычно связан с побочневым типом процесса и может идти с ним совместно.

Типы руслового процесса могут неоднократно сменять друг друга на протяжении одной и той же реки. На многих участках наблюдаются комбинации двух или трех типов процесса.

Для описания и анализа деформаций отобранный плановый материал русловых съемок объединен в хронологическую ленту сопоставленных и совмещенных планов. Если участок содержит несколько перекатов, то такие ленты составлены для группы взаимосвязанных перекатов.

По совмещенным планам устанавливается:

- а) устойчивые к деформации участки и элементы русла;
- б) однонаправленные деформации размывов и намывов;
- в) циклические разнонаправленные деформации русла и береговой полосы;
- г) количественная интенсивность (м /год) русловых деформаций берегов;
- д) средние скорости движения легкоразмываемых подвижных элементов русла – побочней и осередков;
- е) характер смещения и переформирования перекатов в другой тип;
- ж) изменения в основном стрежне потока и др.

Анализ сопоставленных планов проводится для уточнения на затруднительном участке величин деформаций русла, определенных по совмещенным планам, и для увязки их с осредненными за интервалы времени гидрологическими параметрами.

Мероприятия по коренному улучшению судоходных условий на затруднительном участке реки Кама в значительной степени определяются расположением нового

судового хода в период продленной навигации, а также необходимостью в выправительных русловых сооружениях. Причем новый судовой ход и выправительная трасса должны быть максимально устойчивыми к заносимости и негативной глубинной эрозии. Поэтому перед проектированием устанавливается направление развития естественного русла на всем рассматриваемом участке и на отдельных его узлах (перекатах). Изучение переформирований русла за предыдущие годы позволяет достаточно точно предсказать направление и интенсивность переформирований участка в будущем. На затруднительных участках, в особенности в разветвленных руслах, анализ многолетних русловых переформирований и данных геологического строения речной долины имеет определяющее значение для выбора варианта их коренного улучшения.

При анализе деформаций русла происходило выявление плановых изменений с расчетом основных параметров движения береговой полосы и глубинных изобат, а также определялись особенности изменений форм русла на основании оценки ряда показателей.

Поступающие с верховья реки наносы в виду значительной транспортирующей способности реки, особенно в период половодья, могут участвовать в формировании гребней перекатов, а также побочных образований береговой полосы.

Причиной оседания частиц грунта могут служить не только увеличение площадей сечений русла при подходах к различным островам, но и локальное снижение скорости потока за счет естественных или антропогенных воздействий на русло.

Исследование переката в отдельности не является объективной формой анализа ввиду того, что воздействие на него оказывает все русло в целом, и особенно глубокие места русла (плесы), где формируются основные глубины. А плес-перекатная структура реки стабильна.

Чаще всего изменения руслового процесса имеют циклический характер. Поэтому анализ выполняется за достаточно продолжительный период наблюдений.

Описание деформаций выполняется кратко, без деталей процесса, избегая протокольного описания хода событий, поскольку он и так ясен из сопоставленных и совмещенных планов. Описание состоит в указании наиболее существенных сторон наблюдаемого руслового процесса. Основной целью описания и анализа должно быть обнаружение причинных связей между явлениями.

Результаты

Анализ русловых деформаций проведен на наиболее проблемных участках р. Кама от с. Бондюг до пгт. Керчевский. К таким участкам отнесены: 66-71 км, 58-63 км, 51-54 км, 41-47 км, 26-34 км, 22-24 км, 4-7 км. Километраж приведен по существующему судовому ходу.

Для анализа переформирований русла на выделенных участках р. Кама были построены совмещенные планы участка за 2004 и 2013 гг. (на рис. 2 приведен пример совмещенного плана 58-63 км). Совмещение планов производилось путем наложения постоянных объектов береговой полосы. Совпадение направления север-юг является контрольным ориентированием планов. Для упрощения анализа и качественного чтения материала русловых съемок на совмещенный план были нанесены изобаты условного (проектного) уровня воды 80% обеспеченности и глубинной изобаты 1,3 м. Сопоставленные планы основывались на данных Атласов ЕГС за указанные различные годы съемок. Пример укрупненного сопоставленного плана за указанные годы представлен на рис.3.

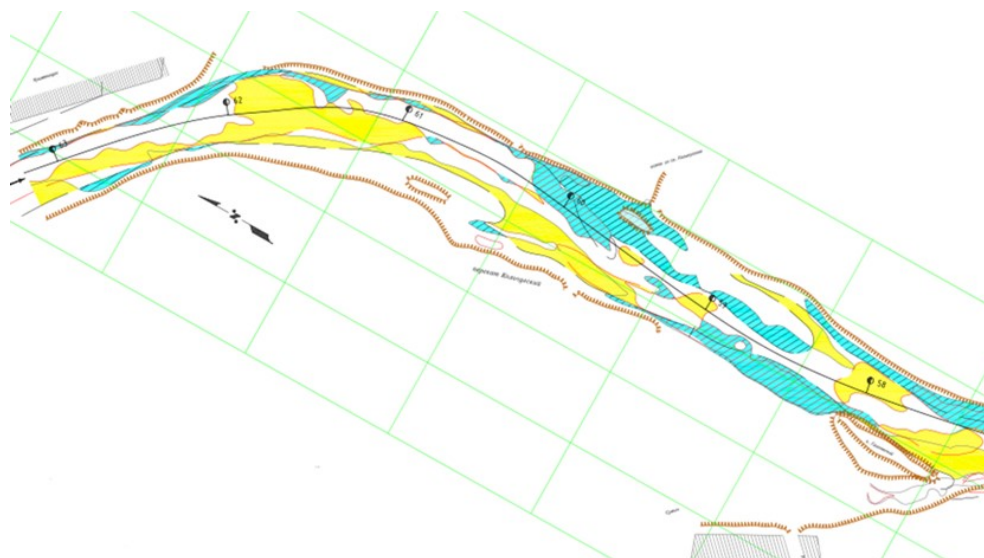


Рис. 2. Совмещенный план р. Кама за 2004-2013 гг. (58-63 км)

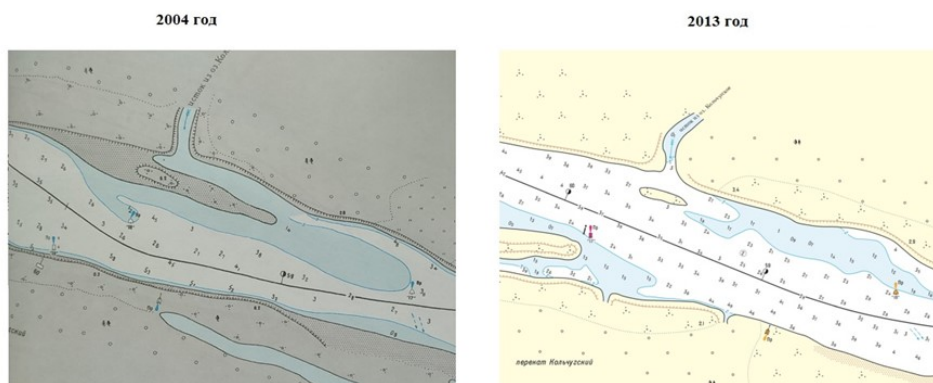


Рис. 3. Сопоставленные планы участка 58-59 км р. Кама по картам реки

Помимо плановых деформаций для более детального исследования применялся вид продольных вертикальных разрезов. Необходимость в составлении таких профилей возникла для оценки русловых деформаций применительно к выправительным работам в русле р. Кама – устройство запруд, полузапруд. Также анализ вертикальных деформаций позволяет наиболее полно оценить гидравлические возможности реки для установления увеличенных судоходных глубин.

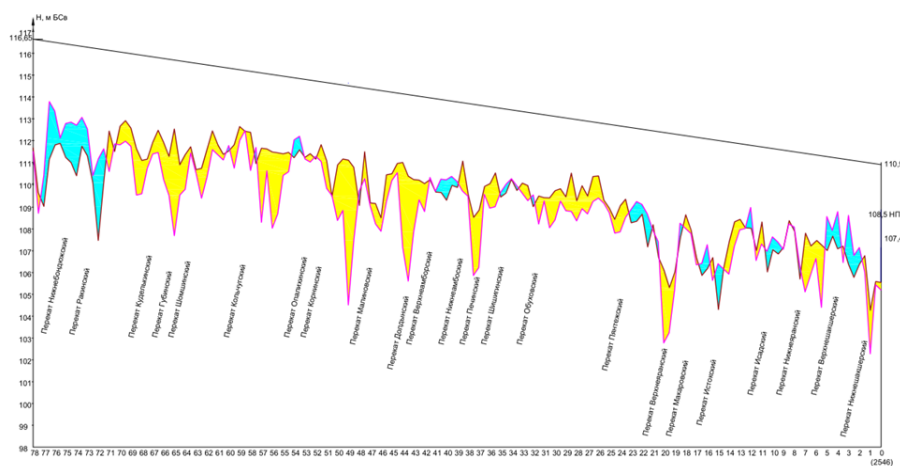
Вертикальные деформации состоят в изменении отметок дна в процессе транспорта руслообразующих наносов. Вертикальные деформации на участке от с. Бондюга до пгт. Керчевский и от пгт. Керчевский до пгт. Тюлькино исследовались путем сопоставления разновременных картографических материалов, а также технических отчетов, предоставленных Бельским районом водных путей и судоходства.

Общая картина вертикальных деформаций показана на графике совмещенных профилей дна по линии существующего судового хода, построенным по данным за 2004-2013 гг. и 2013-2021 гг. (рис. 4 – 5).

За первый ранний период (2004-2013 гг.) на участке от Бондюг до Керчевского можно выявить следующие характерные особенности русла. В верхней части участка 71-78 км существующего судового хода в основном преобладают деформации размыва со средней интенсивностью 2 м/год. Ниже, на 51-71 км, происходит оседание этих частиц с вышерасположенного участка. Ввиду значительной протяженности аккумуляционной части (в два раза превышающей по длине зону размыва) оседание частиц в меньшей степени заносит русло. Чередование зон намыва и размыва продолжается и ниже по течению. Стабилизация же русла происходит лишь в районе 19-ого километра существующего судового хода. Такие динамические изменения характерны для рек, сложенных песчаным дном с легкоразмываемыми грунтами, где наблюдается интенсивное движение аллювиальных гряд.

Анализ совмещения продольных профилей за 2013 и 2021 гг. показал в целом, что зона относительной стабильности участка увеличилась и стала наблюдаться ниже по течению, начиная с 36 км существующего судового хода.

2004-2013гг.



2013-2021гг.

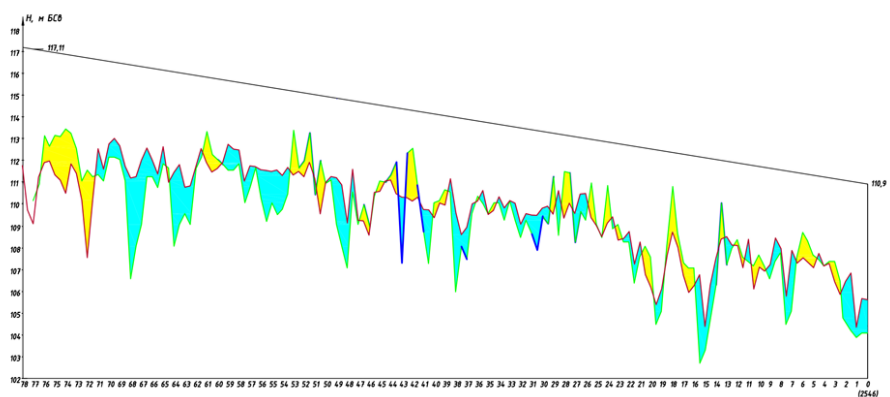


Рис. 4. Совмещенные продольные профили дна р. Кама на существующем судовом ходу по участку Бондюг – Керчевский

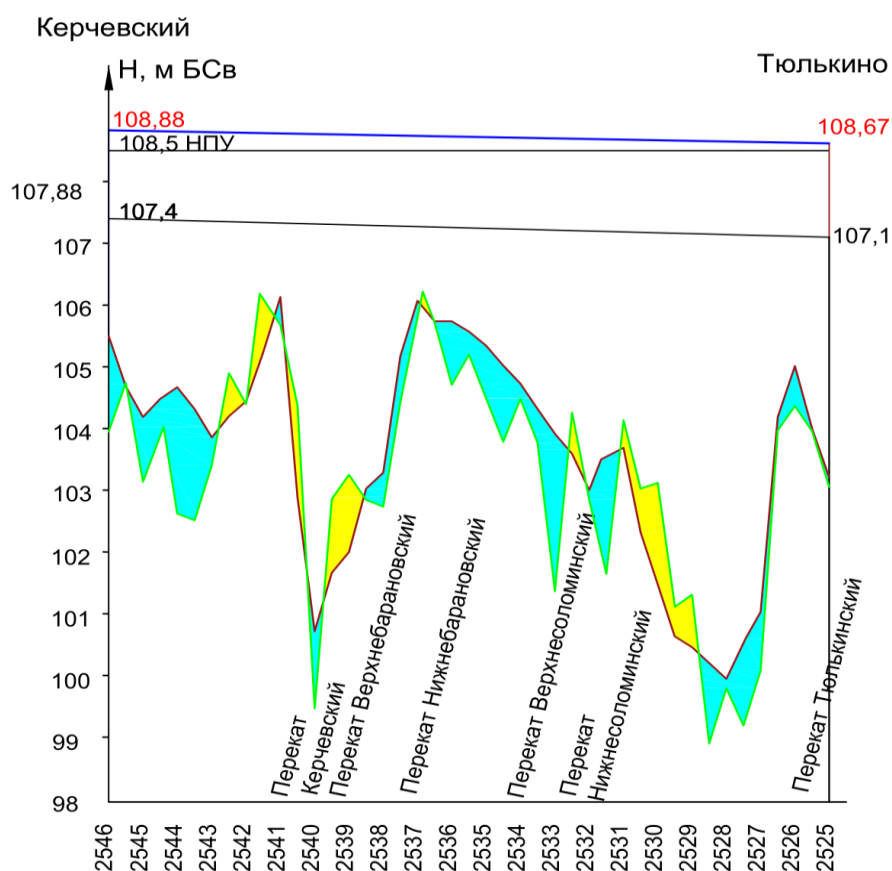


Рис. 5. Совмещенные продольные профили дна р. Кама на существующем судовом ходу по участку Керчевский - Тюлькино за 2013 – 2021 гг.

По совмещенному продольному профилю участка г/п Керчевский – Тюлькино (рис. 5) за 2013-2021 года видно, что за рассматриваемый период никаких существенных деформаций по существующему судовому ходу не наблюдается. Дно реки относительно стабильно с небольшим отклонением в сторону глубинной эрозии, что благоприятно сказывается на судоходных глубинах.

Деформации на участке Тюлькино – Соликамск как участка водохранилища, находящегося в подпоре, связаны с годом постройки Камского гидроузла (1954 г – первая очередь строительства). Для подавляющего большинства водохранилищ на равнинных реках процесс отложения наносов опасности не представляет, так как объем годового стока наносов у них составляет малую долю от объема водохранилища. А судоходные глубины из-за наличия подпора значительно больше естественных на реке и больших изменений в сторону их уменьшения после многолетнего использования гидроузлов не будет. Поэтому деформации русла на участке Тюлькино – Соликамск нами не были рассмотрены, а исследования ограничены детализацией анализа руслового процесса на вышележащем участке.

По описанным выше затруднительным участкам была составлена таблица основных особенностей деформаций с учетом совмещенных продольных профилей 2013 и 2021 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Деформации русла на участке Бондюг – Керчевский

Километраж затруднительного участка	Особенности многолетних деформаций
4-7 км	Верхняя часть участка в районе 7-го км за последний период заносится, что может потребовать кардинальных решений по изменению положения судового хода. Ближе к 5-му км русло стабильно.
22-24 км	На протяжении всего рассматриваемого участка наблюдается устойчивое дно
26-34 км	Незначительные размывы вверху участка интенсифицируются к его середине до места впадения р. Урлка. Грунты, слагаемые русло имеют максимальные диаметры частиц по всему участку от Бондюга до Керчевский, согласно гранулометрическому составу донных отложений (Том 2). Ниже впадения р. Урлка явно прослеживается заносимость существующего судового хода за рассматриваемый период.
41-47 км	На протяжении всего рассматриваемого участка наблюдается устойчивое дно.
51-54 км	Весь рассматриваемый участок аккумулирует наносы с вышележащих участков со скоростью 10 см/год
58-63 км	На протяжении всего участка наблюдается разнонаправленность процессов деформации с максимальными скоростями зон намывов и размывов до 8 см/год
66-71 км	Весь рассматриваемый участок подвержен деформациям размыва. Максимально наблюдаемые – на 67-66 км существующего судового хода.

Таким образом, на исследуемом участке характер многолетних вертикальных деформаций весьма разнообразен. Весь участок делится на короткие промежутки аккумуляции наносов и более длительные участки размыва, а зоны стабилизации деформаций с 2013 г. наблюдаются от 36 км р. Кама вниз по течению до г/п Тюлькино.

На основании выполненного анализа многолетних русловых деформаций предложен комплекс путевых работ, включающий дноуглубление и возведение выправительных сооружений, способствующих устранению проблемных водных узлов (табл. 2).

Таблица 2

Затруднительные участки исследуемого водного пути с.Бондюг – пгт. Керчевский на р. В.Кама (километраж по старому судовому ходу) и предложенные варианты улучшения судоходных условий на них

Расположение затруднительного участка	Наименование перекаатов	Вариант улучшения судоходных условий
4-7 км	Верхнешакшерский	Судоходная прорезь и полузапруда
22-24 км	Верхнеяранский	Судоходная прорезь
26-35 км	Лопатинский Обуховский	Пять судоходных прорезей и два выправительных сооружения
41-42 км	Амборский	Судоходная прорезь
43-46 км	Долдынский	Перенос судового хода с разработкой судоходной прорези + струенаправляющая дамба

51-54 км	Корнинский	Две судоходные прорези
58-59 км	Гашковский	Судоходная прорезь
74-77 км	Нижнебондюжский	Две судоходные прорези

В дальнейшем для каждого предложенного мероприятия по улучшению судоходных условий требуется определить характеристики и параметры дноуглубительных прорезей и выправительных сооружений, рассчитать объемы работ, подобрать необходимую для их производства технику.

Заключение

В процессе исследования проведена оценка проблемных участков плотовых перевозок на Верхней Кама от с. Бондюг до г. Соликамск посредством анализа русловых переформирований и причин деформации русла р. Кама от с. Бондюг до г. Соликамск.

В результате анализа плановых изменений русла определены основные тенденции его развития по участкам в рассматриваемых границах и интенсивность русловых деформаций.

При анализе продольной деформации участка, связанной с изменением отметок дна в процессе транспорта руслообразующих наносов, по материалам совмещенных профилей дна по линии существующего судового хода за 2004-2013 гг. и 2013-2021 гг. выявлены динамические изменения, характерные для рек, сложенных песчаным дном с легкоразмываемыми грунтами, где наблюдается интенсивное движение аллювиальных гряд.

Выполненный анализ русловых деформаций, вызывающих затруднения для судоходства, использован для разработки рациональных вариантов улучшения судоходных условий, связанных с обоснованием положения судового хода и его габаритов, целесообразностью применения выправительных сооружений.

Список литературы

1. Гришанин К.В. Водные пути // Учебник для ВУЗов/ К.В. Гришанин, В.В. Дегтярев, В.М. Селезнев – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.
2. Дегтярев В.В. Селезнев В.М., Фролов Р.Д. Водные пути: Учебник для вузов – М.: Транспорт, 1980 – 328 с.
3. Михайлов А.В., Левачев С.Н. Водные пути и порты: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1982 – 224 с.
4. Гришанин К.В. Сорокин Ю.И. Гидрология и водные изыскания. Учебник для вузов / Под ред. К.В. Гришанина. – М. Транспорт, 1982. – 212 с.
5. Чернышов Ф.М. Пути повышения эффективности дноуглубительных и выправительных работ на судоходных реках // Труды гидротехники, вып. XXVIII / Ф.М. Чернышов – Новосибирск, 1968. – С. 122–142.
6. Руководство по улучшению судоходных условий на свободных реках // С. Петербург, 1992. – 312 с.
7. Руководство по методам расчета планирования и оценки эффективности путевых работ на свободных реках // М.: Транспорт, 1978. – 104 с.
8. Маккавеев Н.И. Русловой режим рек и трассирование прорезей. / Н.И. Маккавеев. – М.: Речиздат, 1949 г. – 202 с.
9. Руководство по проектированию коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках свободных рек. – Л.: Транспорт; 1974. – 312 с
10. Руководство по изысканиям и анализу руслового процесса на затруднительных участках свободных рек / Главное управление водных путей и гидротехнических сооружений Минречфлота РСФСР. – М.: Транспорт, 1981. – 36 с.
11. Чалов Р.С. Показатели устойчивости русла, их использование для оценки интенсивности русловых деформаций и пути совершенствования // Динамика русловых потоков / Р.С. Чалов – Л.: 1983.

12. Воронина Ю.Е. Изменение судоходного состояния рек в результате канализирования русла. Труды МГУ «Динамика овражно-балочных форм и русловые процессы». / Ю.Е. Воронина. – М.: МГУ, 2002. – с. 76-81.
13. Воронина Ю.Е. Русловые деформации на участке нижнего бьефа Чайковского шлюза. Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов) [сборник статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов, объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов] / Ю.Е. Воронина, М.А. Матюгин. – Н. Новгород: Мининский университет, 2016. – С. 158-162.

References

1. Grishanin K.V. Vodnye puti [Waterways] // Uchebnik dlya vuzov/ K.V. Grishanin, V.V. Degtyarev, V.M. Seleznev – М.: Transport, 1986. – 400 s.
2. Degtyarev V.V. Seleznev V.M., Frolov R.D. Vodnye puti [Waterways]: Uchebnik dlya vuzov – М.: Transport, 1980 – 328 s.
3. Mikhailov A.V., Levachev S.N. Vodnye puti i porty [Waterways and ports]: Uchebnik dlya vuzov. – М.: Vysshaya shkola, 1982 – 224 s.
4. Grishanin K.V. Sorokin YU.I. Gidrologiya i vodnye izyskaniya [Hydrology and water surveys]. Uchebnik dlya vuzov / Pod red. K.V. Grishanina. – М. Transport, 1982. – 212 s.
5. Chernyshov F.M. Puti povysheniya ehffektivnosti dnouglubitel'nykh i vypravitel'nykh rabot na sudokhodnykh rekakh [Ways to improve the efficiency of dredging and straightening works on navigable rivers] // Trudy gidrotekhniki, vyp. KHKHVIII / F.M. Chernyshov – Novosibirsk, 1968. – S. 122–142.
6. Rukovodstvo po uluchsheniyu sudokhodnykh uslovii na svobodnykh rekakh [Guidelines for improving navigable conditions on free rivers] // S. Peterburg, 1992. – 312 s.
7. Rukovodstvo po metodam rascheta planirovaniya i otsenki ehffektivnosti putevykh rabot na svobodnykh rekakh [Manual on methods for calculating planning and evaluating the effectiveness of track work on free rivers] // М.: Transport, 1978. – 104 s.
8. Makkaveev N.I. Ruslovoi rezhim rek i trassirovanie prorezei [Riverbed regime and slot tracing] / N.I. Makkaveev. – М.: Rechizdat, 1949 g. – 202 s.
9. Rukovodstvo po proektirovaniyu korenno go uluchsheniya sudokhodnykh uslovii na zatrudnitel'nykh uchastkakh svobodnykh rek [Guidelines for the design of a radical improvement of navigable conditions in difficult sections of free rivers]. – L.: Transport; 1974. – 312 s
10. Rukovodstvo po izyskaniyam i analizu ruslovogo protsessa na zatrudnitel'nykh uchastkakh svobodnykh rek [Guide to the exploration and analysis of the channel process in difficult areas of free rivers] / Glavnoe upravlenie vodnykh putei i gidrotekhnicheskikh sooruzhenii Minrechflota RSFSR. – М.: Transport, 1981. – 36 s.
11. Chalov R.S. Pokazатели ustoychivosti rusla, ikh ispol'zovanie dlya otsenki intensivnosti ruslovykh deformatsii i puti sovershenstvovaniya [Indicators of channel stability, their use to assess the intensity of channel deformations and ways to improve] // Dinamika ruslovykh potokov./ R.S. Chalov – L.: 1983.
12. Voronina YU.E. Izmenenie sudokhodnogo sostoyaniya rek v rezul'tate kanalizirovaniya rusla [Changes in the navigable state of rivers as a result of channeling of the riverbed]. Trudy MGU «Dinamika ovrazhno-balochnykh form i ruslovyeh protsessov». / YU.E. Voronina. – М.: MGU, 2002. – с. 76-81.
13. Voronina YU.E. Ruslovyeh deformatsii na uchastke nizhnego b'efa Chaikovskogo shlyuza [Channel deformations on the section of the lower reaches of the Tchaikovsky lock]. Ehrozionnyeh, ruslovyeh i ust'evyeh protsessy (issledovaniya molodykh uchennykh universitetov) [sbornik statei po materialam KHI seminar molodykh uchennykh vuzov, ob"edinyayemykh sovetom po probleme ehrozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov] / YU.E. Voronina, M.A. Matyugin. – N. Novgorod: Mininskii universitet, 2016. – S. 158-162.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Воронина Юлия Евгеньевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Водных путей и гидротехнических сооружений», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: yulez@yandex.ru

Yulia E. Voronina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: yulez@yandex.ru

Молчанова Марианна Владимировна, старший преподаватель кафедры «Водных путей и гидротехнических сооружений», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: Marianm2007@yandex.ru

Marianna V. Molchanova, Senior Lecturer of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: Marianm2007@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15.06.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 15.06.2022; published online 20.12.2022.

УДК 627.423+627.521

DOI: 10.37890/jwt.vi73.323

Исследование современного состояния нижнего бьефа Нижегородской ГЭС с учетом русловых деформаций и влияния дноуглубительных работ

М.В. Шестова¹

А.В. Добрынина¹

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

Аннотация. Комплексные гидроузлы на реках оказывают большое влияние на состояние естественных водных путей. С вводом в эксплуатацию гидроузлов и водохранилищ, регулирующих речной сток, создаются новый гидрологический и русловой режимы; меняется интенсивность и характер русловых процессов. Регулирование стока гидроузлами вносит изменения в путевые и судоходные условия рассматриваемой реки, особенно в нижних бьефах. В данной работе дана оценка современному состоянию нижнего бьефа Нижегородской ГЭС, который является одним из лимитирующих судоходство участков на протяжении всей единой глубоководной системы РФ. Также приведены результаты исследований влияния дноуглубительных работ на уровеньный режим нижнего бьефа.

Ключевые слова: гидрологический режим, гарантированные габариты, судоходные условия, дноуглубительные работы, нижний бьеф ГЭС, посадка уровня воды.

Investigation of the current state of the tailwater of the Nizhny Novgorod hydroelectric power station, taking into account channel deformations and the effect of dredging

Marina V. Shestova¹

Aleksandra V. Dobrinina¹

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

Abstract. Integrated waterworks on rivers have a great impact on the state of natural waterways. With the commissioning of hydroelectric facilities and reservoirs that regulate river flow, a new hydrological and channel regime is created; the intensity and nature of channel processes change. The regulation of the runoff by hydropower systems changes the travel and navigation conditions of the river under consideration, especially in the lower pools. In this paper, an assessment is made of the current state of the lower pool of the Nizhny Novgorod hydroelectric power station, which is one of the areas limiting navigation throughout the entire unified deep-water system of the Russian Federation. The results of studies of the effect of dredging on the level regime of the tailwater are also presented.

Keywords: hydrological regime, guaranteed dimensions, navigable conditions, dredging, hydroelectric downstream, landing of the water level.

Введение

Целью выполнения данной работы являлась оценка современного состояния русла р.Волга с учетом русловых деформаций и воздействия техногенных факторов, в том числе проводимых дноуглубительных работ.

В качестве объекта исследования рассматривался нижний бьеф Нижегородской ГЭС (рис. 1), особенность которого заключается в наличии свободного (неподпертого) нижнего бьефа. При проектной отметке НПУ нижележащего Чебоксарского водохранилища 68,0 м подпор распространился бы до Нижегородской ГЭС, обеспечив судоходную глубину 4,0 м. Однако в связи со сложившейся экологической и экономической ситуацией наполнение водохранилища до этой отметки оказалось невозможным. Таким образом, нижний бьеф Нижегородского гидроузла в течение уже 65 лет функционирует вне подпора и является наиболее затруднительным как для судоходства, так и для производства работ по поддержанию гарантированных габаритов пути [1], [2], [3].

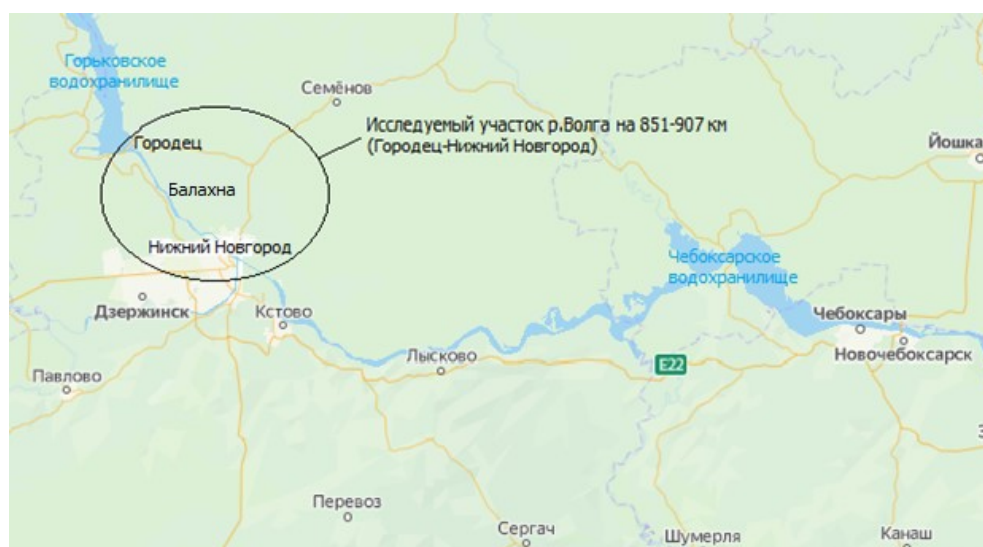


Рис.1. Ситуационный план бассейна р. Волга

Исследование современного состояния нижнего бьефа Нижегородской ГЭС (ННГЭС)

Уровеньный режим на участке Городец-Н.Новгород находится в прямой зависимости от работы Нижегородской ГЭС. Особенно сильно колебания уровней воды заметны на участке Городец-Балахна. На участке Балахна-Нижний Новгород суточные колебания уровней воды постепенно затухают и у Н.Новгорода, в районе Сибирского переката практически незаметны [4].

Основными опорными гидрологическими постами на участке Городец – Нижний Новгород являются: нижний бьеф Городецкого гидроузла (далее - створ №7, 856 км), Балахна (876 км) и Нижний Новгород (907 км). Также наблюдения ведутся по гидрологическим постам – «Створ №3» (853 км) и «Сормово» (898 км). На рисунке 2 приведены графики колебания уровней воды за период с 2000 по 2021 г. по гидропостам «Створ №7», «Балахна», «Н.Новгород».

В настоящее время проектный уровень воды имеет недопустимо низкую обеспеченность, которая составляет для средних и маловодных лет соответственно:

по г.п. «Городец» - 34% и 14%; по г.п. Балахна –32% и 15% (при регламентированной для р. Волга величине 98-99%) [7].

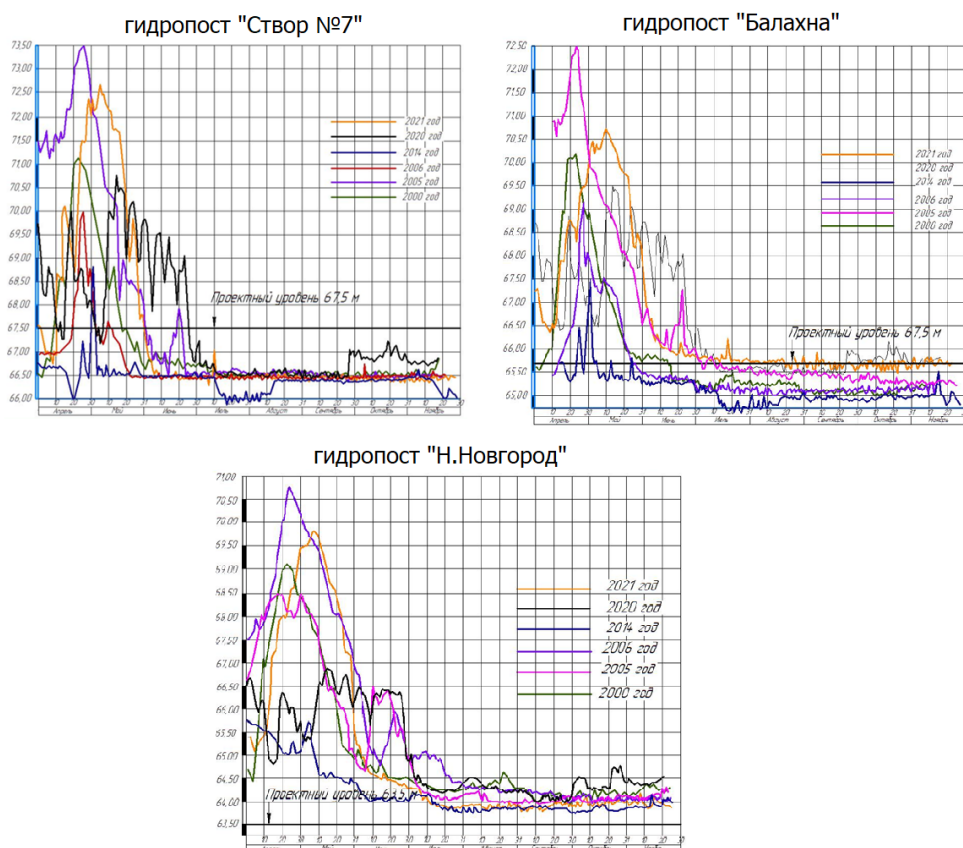


Рис.2. Графики колебания уровней воды по основным гидропостам нижнего бьефа Нижегородской ГЭС за период с 2000 по 2021 годы

Провалы уровней воды (падение ниже проектной отметки) распространяются от Городца и примерно до Средне-Ревяцкого переката. При систематическом суточном регулировании стока, а также в связи с паводковыми пусками на этом участке создается ярко выраженное неустановившееся движение речного потока, что вызывает значительные переформирования перекатов и в свою очередь влечет увеличение объемов дноуглубительных работ, особенно на участке Городец-Балахна. На рисунке 3 показаны данные по срывам уровней воды за последние 15 лет по гидропостам «Створ №7», «Балахна». При этом следует отметить, что фактическая продолжительность навигации на участке Городец-Н.Новгород в 2021 г. составила 212 суток.

По гидропосту «Нижний Новгород» рабочие уровни воды в меженный период не опускаются ниже проектного уровня. Участок р.Волга Нижний Новгород-Работки (Чебоксарское водохранилище) по уровенному режиму находится в благоприятном состоянии. Глубины здесь выдерживаются не менее 4 метров и держатся стабильно.

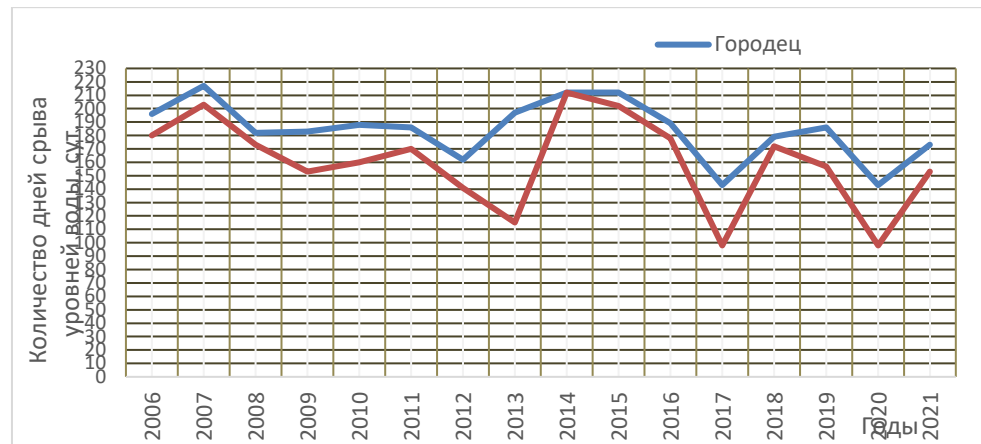


Рис.3. Срывы уровней воды за период с 2006 по 2021 годы на участке Городец -Балахна

Анализ динамики изменения связи «расход воды – уровень воды» показал, что к настоящему времени процесс русловых переформирований привел к значительной посадке уровня воды на участке нижнего бьефа ННГЭС [3], [4]. На рисунке 4 приведен сравнительный анализ изменения уровня воды в зависимости от расходов воды по гидропостам в период с 1954 по 2000-2021 гг. Из графиков видно, что непосредственно в створе плотины (створ № 3) за период с 1957 по 2000 г. при проектном среднесуточном расходе $Q=1100$ м³/с посадка уровня воды составила 145 см; по гидропосту «створ № 7» посадка уровня воды за период с 1957 по 1995 г. составила 100 см, с 1957 по 2021 г – 110 см; по гидропосту «Балахна» за период с 1957 по 2021 г. посадка составила 120 см.

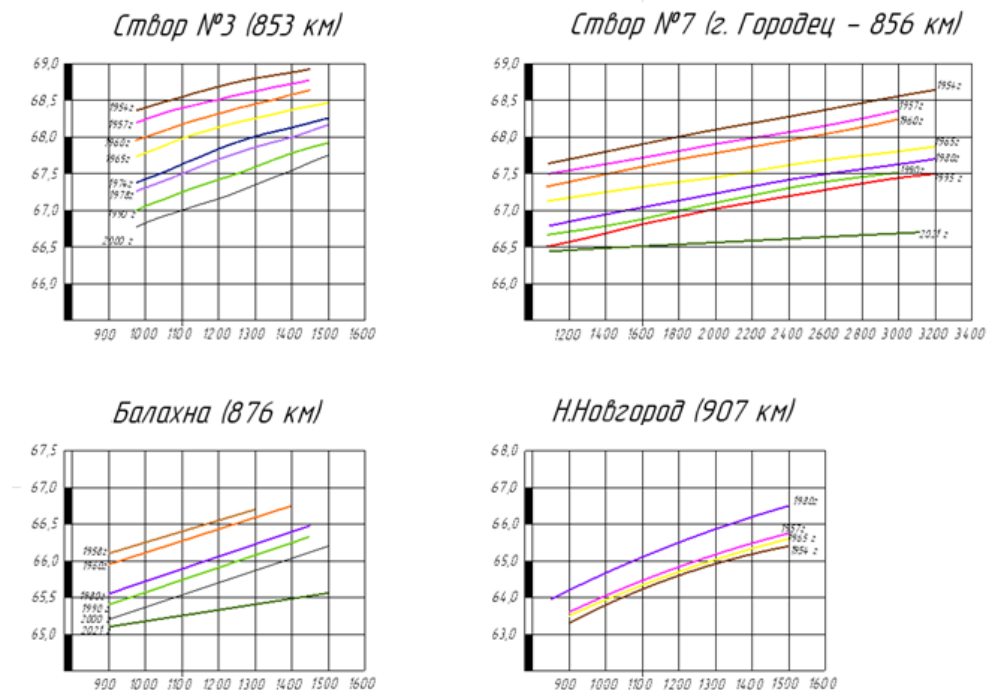


Рис.4. Кривые связи расходов и уровней воды по гидропостам за период с 1954 по 2020-2021 гг.

Иная картина наблюдается в районе гидропоста «Н.Новгород». Здесь в результате динамического подпора Чебоксарским водохранилищем произошло повышение уровня воды по сравнению с естественным состоянием.

Таким образом, анализ гидрологического режима показал, что наибольшая посадка уровня воды в нижнем бьефе ННГЭС наблюдается в зоне приплотинного участка.

Для обеспечения необходимых для флота габаритов судового хода в сложных гидрологических условиях нижнего бьефа в течение всего периода после ввода в эксплуатацию Нижегородской ГЭС в больших объемах производились дноуглубительные работы, что наложило отпечаток на интенсивность протекания русловых процессов. Анализ динамики изменения объемов проводимых дноуглубительных работ (рис. 5) в период с 1957 по 2021г. показал, что регулярные дноуглубительные работы в больших объемах проводились на участке Балахна – Н.Новгород и в меньших на участке Городец-Балахна.

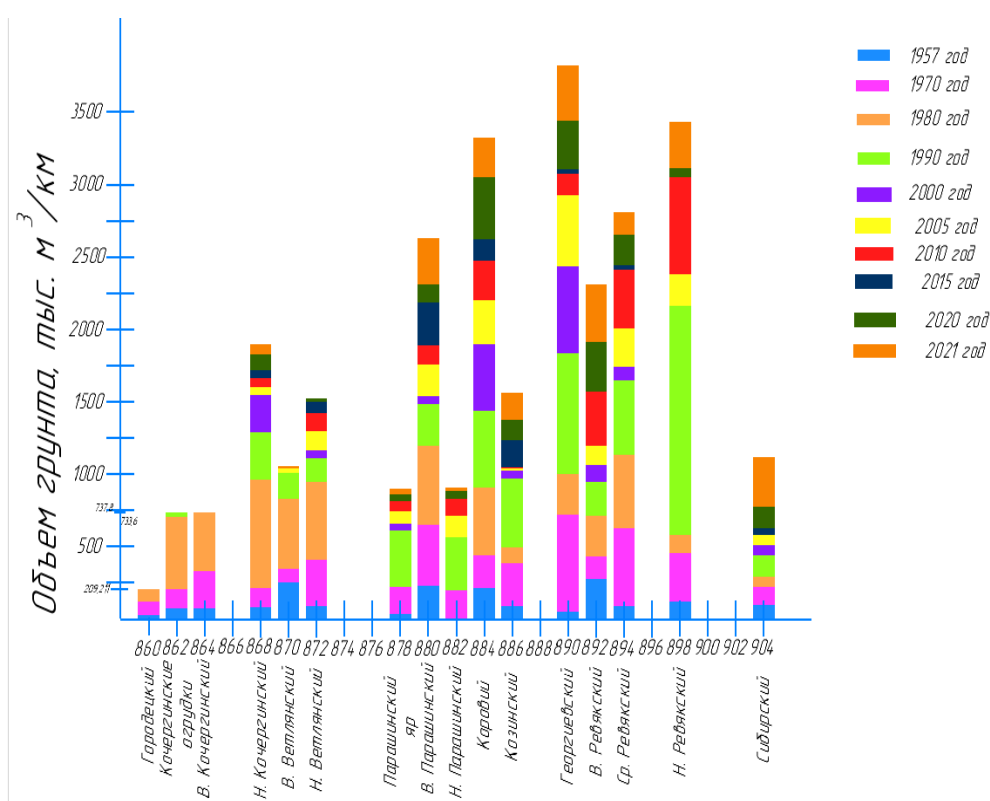


Рис.5. Динамика изменения дноуглубительных работ на исследуемом участке р.Волга за период 1957-2021 гг.

Для того, чтобы оценить состояние русла, был выполнен анализ русловых деформаций за период 1957-2020 г. на всем участке Городец-Н.Новгород. В основу количественных расчетов деформации русла была положена оценка материалов натуральных данных за плановыми смещениями, взятые с интервалом в несколько лет: 1957, 1990, 2014 года.

На основании полученных данных была исследована динамика изменения емкости русла на приплотинном участке, построены графики изменения основных параметров русла по годам, совмещенные поперечные профили (рис. 6). Их анализ показал, что к 1990 году произошло увеличение площади живого сечения в 1.6 раза; в период с 1990 по 2000 год наметилась тенденция к уменьшению площади живого сечения и в период с 2000 по 2014 г. отмечается ее уменьшение. Аналогично ведут себя средняя глубина и ширина русла на приплотинном участке, что является признаком его стабилизации.

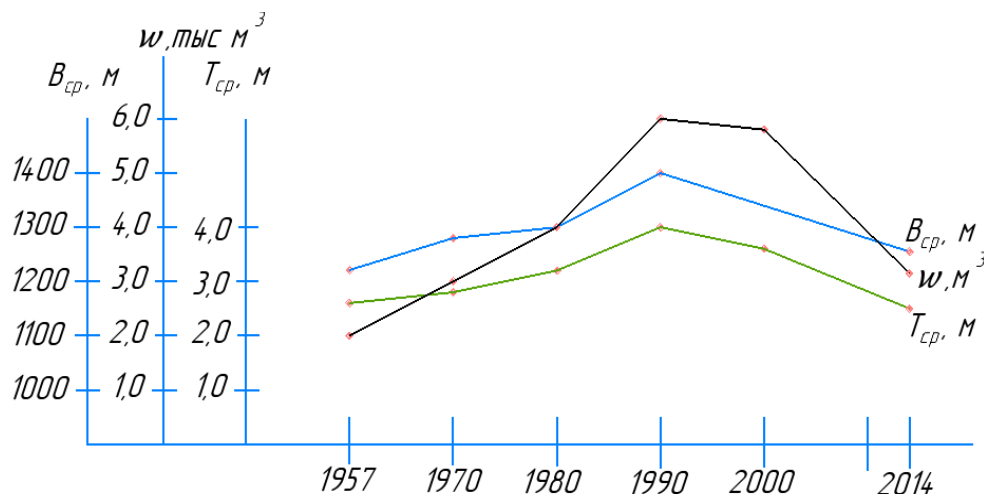


Рис.6. Динамика изменения основных параметров русла на приплотинном участке нижнего бьефа ННГЭС за период с 1957 по 2014 гг.

На участке ниже подходного канала деформации русла определяются двумя факторами: естественным русловым процессом и дноуглубительными работами. На рисунке 7 приведены динамика изменения средних значений площади живого сечения, ширины и средней глубины русла за периоды с 1957 по 2020 годы. Также была исследована динамика изменения основных параметров по длине всего участка от Городца до Н.Новгорода. Полученные результаты свидетельствуют о том, что русловые деформации на участке ниже подходного канала продолжают, в том числе продолжает увеличиваться емкость русла.

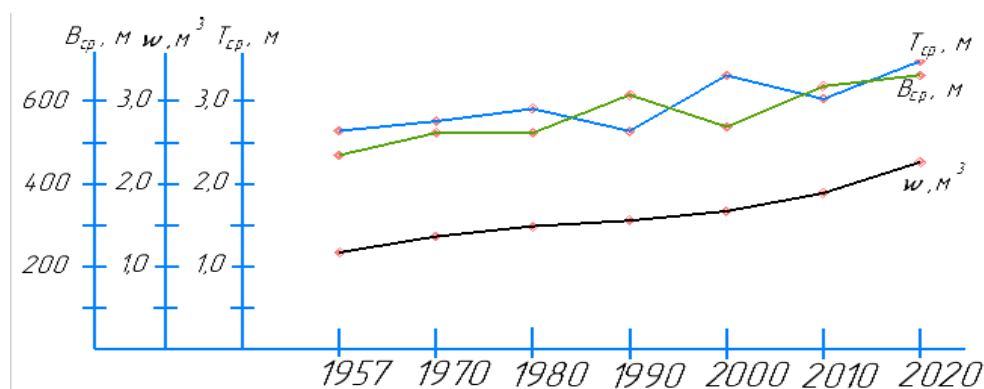


Рис.7. Динамика изменения основных параметров русла ниже подходного канала и до Н.Новгорода за период с 1957 по 2020 гг.

Важной характеристикой русла, отражающей характер взаимодействия руслового потока и грунтов, слагающих берега и дно реки, а также интенсивность русловых деформаций, является степень устойчивости [4], [5]. Для оценки устойчивости русла реки от Городца до Н.Новгорода на основе имеющихся натуральных данных до зарегулирования стока и в условиях работы ГЭС для отдельных перекатов были определены показатели устойчивости, а именно: коэффициенты Лохтина, Гришанина К.В., Макавеева Н.И. и Карасева И.Ф.

Анализ полученных результатов выявил следующую тенденцию. Для всего участка от подходного канала до Н.Новгорода в целом характерно повышение коэффициентов устойчивости в период с 1957 по 1980 гг., а после 1980 г., наоборот, понижение. К 2021 г. русло реки на участке Городец – Балахна может быть отнесено к относительно устойчивым, а на участке Балахна-Н.Новгород – к слабоустойчивым. Подобный характер изменения устойчивости русла может быть объяснен значительными объемами дноуглубительных работ, проводимыми на всем участке, особенно от Балахны до Н.Новгорода.

Оценка влияния дноуглубительных работ на уровеньный режим нижнего бьефа ННГЭС

Поскольку для поддержания судоходных условий на участке Городец-Балахна в больших объемах выполняются дноуглубительные работы, то в работе была выполнена оценка влияния на уровеньный режим этого вида работ (по данным дноуглубления, выполненного в навигацию 2020 г.) с тем, чтобы оценить его влияние как на всем участке в целом, так и на пороге Городецкого шлюза в отдельности. Последний фактор имеет решающее значение при пропуске судов через Городецкие шлюзы.

Для этого были выполнены гидравлические расчеты посадки уровня воды с помощью компьютерной программы «Перекал» (разработана ВГАВТ [5], [6], [7]). При этом приняты следующие условия проведения гидравлических расчетов по определению посадки уровня воды:

1. По грунтам участок Городец-Н.Новгород условно разделен на две части [7]:
 - Нижегородская ГЭС – Балахна (в основании лежат плотные мергелистые глины с тонким слоем аллювия).
 - Балахна – Н. Новгород (с песчаными грунтами).
2. Расчетные варианты дноуглубления (по данным навигации 2020 г):
 - 1 вариант - дноуглубление только на участке Балахна-Н.Новгород (871-905 км) в объеме 365 тыс.м³.
 - 2 вариант – дноуглубление на всем участке Городец – Н.Новгород (851-905 км) в объеме 400 тыс.м³.

На основании анализа гидрологического режима в качестве расчетного на участке Городец-Н.Новгород был принят расход воды 1100 м³/с (регламентирован Правилами использования водных ресурсов Горьковского водохранилища [4], [7]) и соответствующий ему провальный уровень воды с отметками по гидропостам: Городец – 66,32 м, Балахна – 65,04 м, Нижний Новгород – 63,5 м [7] (рис. 8).

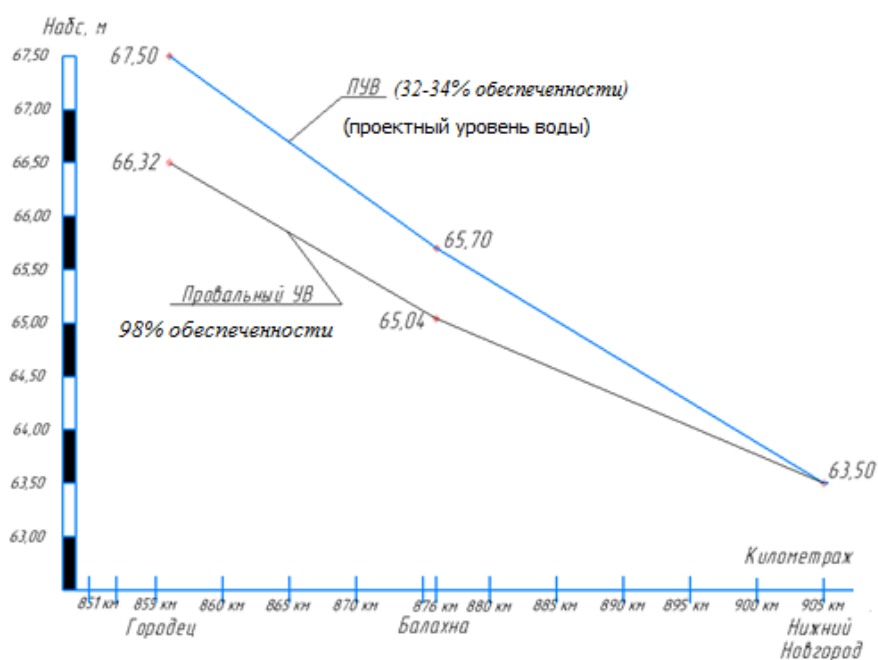


Рис.8. Кривые свободной поверхности воды на участке Городец-Н.Новгород, соответствующие проектному и провальному уровню воды

В качестве исходного планового материала для выяснения конфигураций поперечных сечений русла и определения расстояний между ними были использованы планы русловых съемок, выполненные в навигацию 2020 г. Также были использованы данные по фактически проведенным в навигацию 2020 г. дноуглубительным работам и параметрам прорезей.

Исследуемый участок реки Волга был разбит на расчетные участки различной длины 50 сечениями. Нумерация сечений производилась снизу-вверх по течению так, что начальное сечение №1 расположено на 907 км, а №50 – на 851,8 км основного судового хода.

Значения коэффициентов шероховатости приняты различные, в зависимости от типа грунтов, слагающих исследуемый участок реки: 907-871 км – песок ($n=0,0225$); 871-853,2 км – глина, мергель ($n=0,0268$) [7]. Проектные габариты прорезей (глубина и ширина) назначены в зависимости от фактического положения дноуглубительных прорезей в навигацию 2020 г. и определены по расчетным сечениям с учетом положения «провальной» кривой свободной поверхности воды (рис. 8).

Результаты

Как видно из результатов гидравлических расчетов, посадка уровня воды в зависимости от организации производства дноуглубительных работ и объема выемки грунта различна. В таблице 1 представлены результаты расчетов, которые показали, что при разработке дноуглубительных прорезей только на участке Балахна-Н.Новгород посадка уровня воды на пороге Городецких шлюзов составит 4,8 см, а при разработке к этому перекатов на участке от Городца до Балахны, где присутствуют плотные грунты, посадка уровня воды увеличивается до 17 см.

Таблица 1

Сводная таблица по результатам расчетов посадки уровня воды на участке Городец-Н.Новгород.

Показатель	Расчетные варианты	
	Вариант 1	Вариант 2
Посадка уровня воды максимальная, см (створ, км)	16,3370 (871,85 км)	20,0351 (865,85)
Посадка уровня воды на пороге Городецких шлюзов, см	4,8586	17,2706

Таким образом, анализ полученных результатов гидравлических расчетов посадки уровня воды показал, что наибольшая интенсивность понижения уровней воды наблюдается при разработке прорезей на участке Городец-Балахна и меньшая при дноуглублении только на участке Балахна – Н.Новгород. Отчасти это объясняется тем, что участок Городец-Балахна слагают плотные неразмываемые грунты, которые «держат» уровни воды и таким образом «гасят» интенсивность посадки уровня воды в результате проводимого дноуглубления на участке Балахна – Н.Новгород. Соответственно, даже небольшие объемы дноуглубительных работ на участке Городец-Балахна могут спровоцировать интенсификацию процесса понижения уровней воды на пороге Городецких шлюзов. На рисунке 9 в том числе показана динамика изменения посадки уровня воды в зависимости от удаленности проводимых дноуглубительных работ от створа ННГЭС. При этом на участке Городец-Балахна учтены дноуглубительные работы в объеме 35 тыс. м3, Балахна-Н.Новгород – до 363 тыс. м3 (по данным навигации 2020 г.).

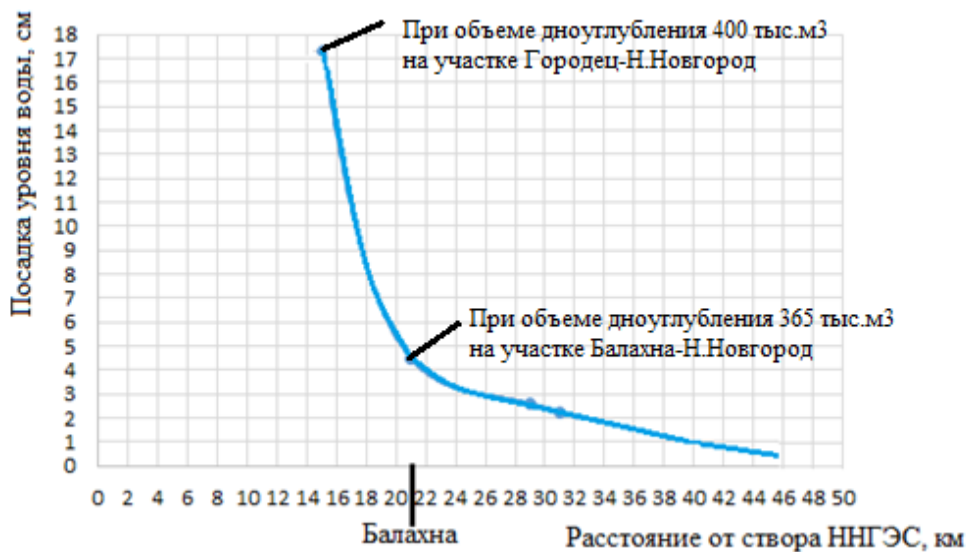


Рис.9. Интенсивность изменения посадки уровня воды на пороге Городецких шлюзов в зависимости от дноуглубительных работ и расстояния от ННГЭС, на котором они производятся

Заключение

Таким образом, на основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- за время эксплуатации ННГЭС в его нижнем бьефе произошли достаточно серьезные русловые деформации. Последствием активной

глубинной эрозии стало понижение уровня воды в створе гидроузла более чем на 150 см.

- на основе выполненного анализа руслового процесса и коэффициентов устойчивости был сделан вывод о том, что на приплотинном участке русло стабилизировалась, на участке Городец – Балахна русло может быть отнесено к относительно устойчивым, а на участке Балахна-Н.Новгород – к слабоустойчивым. То есть в русле реки ниже подходного канала продолжаются русловые деформации. Подобный характер изменения устойчивости русла может быть объяснен значительными объемами дноуглубительных работ, проводимыми на всем участке, особенно от Балахны до Н.Новгорода.

- на основе выполненных гидравлических расчетов посадки уровня воды в результате дноуглубления (по данным навигации 2020 г.) сделан вывод о наибольшей интенсивности понижения уровней воды при разработке прорезей на участке Городец-Балахна и меньшей - при дноуглублении только на участке Балахна – Н.Новгород. В связи с этим в нижнем бьефе ННГЭС необходимо минимизировать дноуглубительные работы на участке Городец-Балахна, т.к. разработка перекатов в районе Городца может интенсифицировать процесс посадки уровня воды на порогах Городецких шлюзов.

Список литературы

1. Векслер А. Б., Доненберг В. М. Переформирования русла в нижних бьефах крупных ГЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.
2. Векслер А.Б., Доненберг В.М. Опыт оценки трансформации русла рек в нижних бьефах гидроузлов. Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, том 230, С-Пб.,1997.
3. Фролов Р.Д. Русловой режим нижних бьефов ГЭС. Современное состояние водных путей и проблемы русловых процессов. Сборник статей. М., 1999.
4. Шестова М. В. Гидрологический режим нижнего бьефа ГЭС и его влияние на условия судоходства. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук [Текст] / М. В. Шестова – Н. Новгород, 2006.
5. Гладков, Г.Л. Оценка воздействия на окружающую среду инженерных мероприятий на судоходных реках: Учебное пособие для вузов / Г.Л.Гладков, М.В.Журавлев, Ю.П.Соколов. - СПб, Изд-во А.Кардакова 2005. – 241 с.
6. Гришанин К.В. Основы динамики русловых потоков. – М.: Транспорт, 1990. 319 с.
7. Анализ заносимости перекатов в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС по итогам проведения транзитных и капитальных дноуглубительных работ в 2021 г. на участке р. Волга (854,5-895,0 км) и оценка влияния капитального дноуглубления на посадку уровня воды на порогах шлюзов №15 и №16 Городецкого гидроузла: отчет о науч.-исслед. работе / Волжский гос. университет водного транспорта; рук. Ситнов А.Н.; исполн.: Воронина Ю.Е. [и др.]. – Нижний Новгород, 2022. – 176 л.
8. Lagasse P. F., Winkey B. R., Simmons D. B. Impacts of gravel mining on river system stability // J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering Division, American Society of Civil Engineers. 1980. Vol. 106. P. 398-404.

References

1. Veksler A. B., Donenberg V. M. Pereformirovaniya rusla v nizhnikh b'efakh krupnykh GEHS. – M.: Ehnergoatomizdat, 1983. – 216 s.
2. Veksler A.B., Donenberg V.M. Opyt otsenki transformatsii rusla rek v nizhnikh b'efakh gidrouzlov. Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva, tom 230, S-Pb.,1997
3. Frolov R.D. Ruslovoi rezhim nizhnikh b'efov GEHS. Sovremennoe sostoyanie vodnykh putei i problemy ruslovykh protsessov. Sbornik statei. M., 1999.
4. Shestova M. V. Gidrologicheskii rezhim nizhnego b'efa GEHS i ego vliyanie na usloviya sudokhodstva. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Tekst] / M. V. Shestova – N. Novgorod, 2006.

5. Gladkov, G.L. Otsenka vozdeistviya na okruzhayushchuyu sredu inzhenernykh meropriyatii na sudokhodnykh rekakh: Uchebnoe posobie dlya vuzov / G.L.Gladkov, M.V.Zhuravlev, YU.P.Sokolov. - SPb, Izd-vo A.Kardakova 2005. – 241 s.
6. Grishanin K.V. Osnovy dinamiki ruslovykh potokov. – M.: Transport, 1990. 319 s.
7. Analiz zanosimosti perekatov v nizhnem b'efe Nizhegorodskoj GES po itogam provedeniya tranzitnyh i kapital'nyh dnouglubitel'nyh rabot v 2021 g. na uchastke r. Volga (854,5-895,0 km) i ocenka vliyaniya kapital'nogo dnouglubleniya na posadku urovnya vody na porogah shlyuzov №15 i №16 Gorodeckogo gidrouzla: otchet o nauch.-issled. rabote / Volzhskij gos. universitet vodnogo transporta; ruk. Sitnov A.N.; ispoln.: Voronina YU.E. [i dr.]. – Nizhnij Novgorod, 2022. – 176 l.
8. Lagasse P. F., Winkey B. R., Simmons D. B. Impacts of gravel mining on river system stability // J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering Division, American Society of Civil Engineers. 1980. Vol. 106. P. 398-404.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шестова Марина Вадимовна доцент к.т.н.,
доцент кафедры водных путей и
гидросооружений, Волжский государственный
университет водного транспорта (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: shestowam@yandex.ru

Marina V. Shestova PhD in Associate
Professor of the Department of waterways and
hydraulic structures, Volga State University of
Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny
Novgorod, 603951

Добрынина Александра Викторовна,
магистрант кафедры водных путей и
гидросооружений, Волжский государственный
университет водного транспорта (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: dobrinina.sascha@yandex.ru

Aleksandra V. Dobrinina undergraduate of
the Department of waterways and hydraulic
structures, Volga State University of Water
Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod,
603951

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 14.06.2022; published online 20.12.2022.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

TECHNOSPHERE SAFETY

УДК 502.175:502.51:504.5

DOI: 10.37890/jwt.vi73.303

Оценка качества воды реки Волги в районе Подновского рейда нефтеналивных судов по азотосодержащим соединениям

М.Д. Павликова¹

ORCID: 0000-0002-4585-6692

А.Н. Бородин¹

ORCID: 0000-0001-8053-6515

А.Е. Пластинин¹

ORCID: 0000-0003-4244-8703

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В связи с длительным нахождением судов на рейдах и влиянием загрязняющих веществ на электропроводность воды и скорость коррозии конструктивных элементов судна в статье выполнена оценка качества воды реки Волга в районе Подновского рейда нефтеналивных судов. Целью данного исследования является оценка содержания азотсодержащих веществ в поверхностном и придонном слое реки Волги в районе Подновского рейда нефтеналивных судов и сброса сточных вод Нижегородской станции аэрации для определения значимости влияния ее деятельности на загрязнение объекта водопользования. В фоновом створе установлено превышение предельно допустимой концентрации аммонийного азота почти в четыре раза. В контрольном створе отмечается значительное увеличение аммонийного азота относительно фона на 34,5 %, Максимальные концентрации аммонийного азота обнаружены ниже сброса сточных вод в поверхностном слое воды в диапазоне 1,8 – 1,3 предельно допустимых концентраций. Максимальная концентрация нитритов превысила предельно допустимое значение в 4,8 раза.

Ключевые слова: экологическая безопасность, воздействие на окружающую среду, азотосодержащие соединения, качество воды, аммонийный азот, нитриты.

Assessment of the water quality of the Volga River in the area of the Podnovsky roadstead of oil tankers for nitrogen-containing compounds

Maria D. Pavlikova¹

ORCID: 0000-0002-4585-6692

Alexey N. Borodin¹

ORCID: 0000-0001-8053-6515

Andrey E. Plastinin¹

ORCID: 0000-0003-4244-8703

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

Abstract. In connection with the long stay of ships in the roadsteads and the influence of pollutants on the electrical conductivity of water and the corrosion rate of structural elements of the vessel, the article assesses the quality of the water of the Volga River in the area of the Podnovsky roadstead of oil tankers. The purpose of this study is to assess the content of nitrogen-containing substances in the surface and bottom layers of the Volga River in the area of the Podnovsky road of oil tankers and the discharge of wastewater from the Nizhny Novgorod aeration station to determine the significance of the impact of its activities on the pollution of the water use facility. In the background section, an excess of the maximum permissible concentration of ammonium nitrogen was discovered to be almost four times higher. In the control section, there is a significant increase in ammonium nitrogen relative to the background in 34.5%. The maximum concentrations of ammonium nitrogen were found below the wastewater discharge in the surface water layer in the range of 1.8 - 1.3 maximum allowable concentrations. The maximum concentration of nitrites exceeded the maximum permissible value in 4.8 times.

Keywords: environmental safety, environmental impact, nitrogen-containing compounds, water quality, ammonium nitrogen, nitrites.

Введение

Проблема загрязнения водных экосистем весьма актуальна в современное время. Наибольший антропогенный прессинг испытывают реки, протекающие по урбанизированным территориям. В Европейской части Российской Федерации к таким рекам можно отнести Волгу, так как ее речная сеть расположена в 12 субъектах страны, где сосредоточено около 50% промышленного и сельскохозяйственного производства. Нижний Новгород является одним из лидеров по объему промышленности и количеству жителей в Приволжском федеральном округе, в связи с чем объемы сбрасываемых сточных вод в реку Волгу весьма значительны, поэтому контроль за качеством вод проводится регулярно [1 – 3].

Подновский рейд нефтеналивных судов расположен в черте Нижнего Новгорода и является местом стоянки танкерного флота и специализированных судов-бункеровщиков, находящимся на рейде постоянно [4 – 6]. В связи с длительным нахождением судов на рейде и влиянием загрязняющих веществ на электропроводность воды, а, следовательно, и скорость коррозии конструктивных элементов судна, оценка качества воды реки Волги в районе Подновского рейда нефтеналивных судов представляется актуальной [7 – 9].

Наиболее распространенными загрязнителями водных экосистем в настоящее время являются азотосодержащие загрязняющие вещества, к которым относят аммонийный, нитритный и нитратный формы азота, образующиеся в результате распада органических веществ, поступающих в поверхностные воды, в первую очередь, со сточными водами.

Крупнейшим поставщиком сточных вод в районе Подновского рейда нефтеналивных судов является Нижегородская станция аэрации, так как она принимает на очистку хозяйственно-бытовые и сточные воды города Нижнего Новгорода и города Бора. В связи с этим целью наших исследований является оценка содержания азотсодержащих веществ в поверхностном и придонном слое реки Волги в районе Подновского рейда нефтеналивных судов и сброса сточных вод Нижегородской станции аэрации для определения значимости влияния ее деятельности на загрязнение объекта водопользования.

Материалы и методы

Для оценки качества воды проводились исследования по гидрохимическим, токсикологическим и гидробиологическим показателям.

Отбор проб осуществлялся в соответствии со следующими нормативными документами, устанавливающими требования и положения по отбору проб и проб отборным устройствам: ГОСТ 17.5.01; ГОСТ 17.1.505; ГОСТ Р 51592; РД 52.18.351, Р 52.24.353, РД 52.24.609.

Контроль качества воды осуществляла лаборатория Нижегородского отдела мониторинга водных объектов ГФУ инженерных защит Чебоксарского водохранилища по Нижегородской области.

Все полученные данные подвергались статистической обработке методами вариационной статистики с расчетом средних значений, стандартных отклонений. Статистический анализ проводился с помощью математической системы STATISTICA 8.

Результаты и обсуждение

Полученные концентрации азотосодержащих загрязняющих веществ в реке Волга выше и ниже створа сброса сточных вод Нижегородской станции аэрации, а также результаты статистической обработки представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Концентрация азотосодержащих загрязняющих веществ в реке Волге выше створа сброса сточных вод за 2015-2016 гг.

Показатели	Lim, мг/л	\bar{x} , мг/л	S_x , мг/л	V, %	ПДК, мг/л
Поверхностный слой воды					
N(NH ₄)	0,06÷0,40	0,19	0,004	4	0,50
NO ₃	0,35÷4,20	1,92	0,220	60	40,00
NO ₂	0,031÷0,31	0,12	0,020	5	0,08
Придонный слой воды					
N(NH ₄)	0,09÷0,44	0,21	0,010	5	0,50
NO ₃	0,33÷4,20	1,96	0,230	62	40,00
NO ₂	0,04÷0,32	0,12	0,003	5	0,08

Таблица 2

Концентрация азотосодержащих загрязняющих веществ в реке ниже створа сброса сточных вод за 2015-2016 гг.

Показатели	Lim, мг/л	\bar{x} , мг/л	S_x , мг/л	V, %	ПДК, мг/л
Поверхностный слой воды					
N(NH ₄)	0,39÷0,89	0,55	0,04	2,4	0,50
NO ₃	0,30÷4,14	1,97	0,23	66	40,00
NO ₂	0,02÷0,38	0,11	0,004	7	0,08
Придонный слой воды					
N(NH ₄)	0,37÷0,7	0,53	0,01	1,5	0,50
NO ₃	0,30÷4,10	2,03	0,24	66	40,00
NO ₂	0,04÷0,66	0,14	0,006	13	0,08

Анализируя данные табл. 1 и 2, можно сделать вывод, что содержание аммонийного азота в поверхностных водах реки Волга достаточно динамично; в

некоторые периоды наблюдений концентрация аммонийного азота резко возрастала до 0,40 мг/л в поверхностном и до 0,44 мг/л в придонном слое (в мае). В среднем содержание данного показателя в толще воды за 2015-2016 гг. составляло 0,19 мг/л, и ни в один из периодов наблюдений не превышало значения предельно допустимой концентрации (0,50 мг/л).

В контрольном створе после сброса сточных вод Нижегородской станции аэрации в течение всех периодов наблюдений отмечается превышение содержания аммонийного азота в поверхностном и придонном слое воды в 1,1 предельно допустимую концентрацию (ПДК). В среднем, содержание аммонийного азота в толще воды составляет 0,54 мг/л, при этом данный показатель значительно превышает фоновые концентрации на 39%, это говорит о том, что очистные сооружения оказывают сильное загрязняющее воздействия на объект водопользования.

Загрязнение вод нитратами может быть обусловлено как антропогенными причинами, так и природными. Наибольшие концентрации нитратов обнаруживаются в поверхностных водах. Они поступают в водоемы с хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками, а также стоков с сельскохозяйственных угодий, обрабатываемых азотсодержащими удобрениями, и с атмосферными осадками [10].

Концентрация нитратов выше места сброса сточных вод Нижегородской станции аэрации за исследуемый период, как в поверхностном, так и придонном слое воды достаточно сильно изменяется по периодам наблюдений, о чем свидетельствует достаточно высокий коэффициент вариации - 60-62%. Но при этом ни в один из периодов мониторинговых наблюдений превышений по ПДК не выявлено.

В районе сброса сточных вод очистных сооружений отмечается увеличение концентрации нитратного азота на 2,6 % в поверхностном слое, и на 3,6 % в придонном. Следует отметить, что нитриты образуются в результате биохимического окисления аммиака или восстановления нитратов в первую очередь в поверхностном слое, а в условиях дефицита кислорода идет восстановление нитратов до нитритного азота, что и подтверждается полученными данными, а именно снижение нитратов в верхнем слое и увеличение концентрации в придонном. При этом ни в один из периодов наблюдений превышения предельно допустимых концентраций в воде не выявлено.

Так как нитратная форма азота более подвержена сезонным изменениям, то для наглядности приводим динамику этого загрязняющего вещества (рис. 1 и 2).

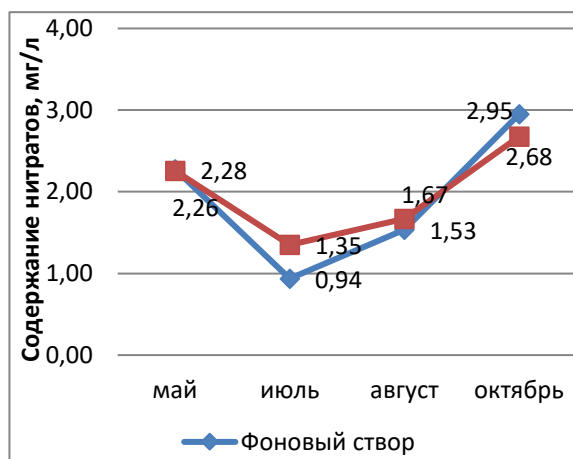


Рис. 1. Динамика содержания нитратов в р. Волга за 2015-2016 гг. в поверхностном слое

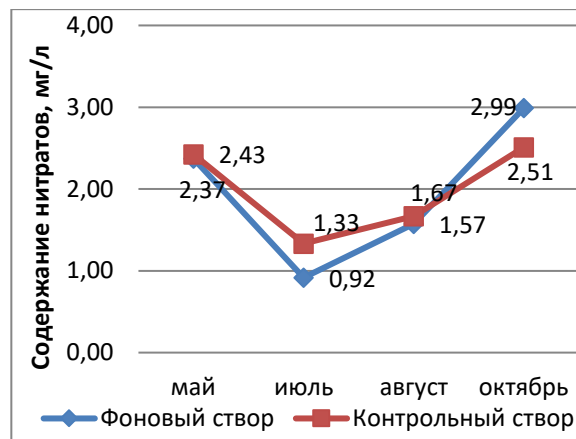


Рис. 2. Динамика содержания нитратов в р. Волга за 2015-2016 гг. в придонном слое

Динамика содержания нитратов в воде реки Волги показывает, что максимальная концентрация отмечается в весенне-осенний период – 2,28-2,95 мг/л в поверхностном слое и 2,43-2,99 мг/л в придонном слое фонового створа. В летние месяцы концентрация нитратов значительно снижается в фоновом створе до 0,9 мг/л как в придонном, так и в поверхностном слое. Это обусловлено тем, что в вегетационный период азот нитратов потребляется водной растительностью и фитопланктоном. Максимальное содержание нитратного азота в реке закономерно наблюдалось в период осенней межени. Однако, его количество многократно ниже предельно допустимой концентрации (ПДК=40 мг/л).

При высоком содержании нитратов в водоеме возрастает вероятность образования нитритов, которые негативно влияют на водных гидробионтов [11].

Поступление нитритов в водоемы разнообразно, их используют в пищевой промышленности как консерванты, в сельском хозяйстве они поступают с азотосодержащими удобрениями, со сточными водами от животноводческих ферм, а так же от городских и транспортных отходов [12].

Анализируя содержание нитритов (NO_2) в толще воды фонового створа, можно отметить, что максимальное количество загрязняющего компонента отмечено в придонном слое воды - 0,32 мг/л, превышение составило 3,9 ПДК. Вариабельность нитритов по периодам исследований показывает, что они инертны (почти не изменяются во времени).

Следует отметить, что в контрольном створе обнаружено превышение в придонном слое концентрации нитритов на 16,7% относительно фонового значения (1,75 ПДК). В поверхностном слое концентрация нитритов находится на уровне фоновых значений.

Сезонная динамика содержания нитритов в реке Волга по периодам наблюдений представлена на рис 3 и 4.

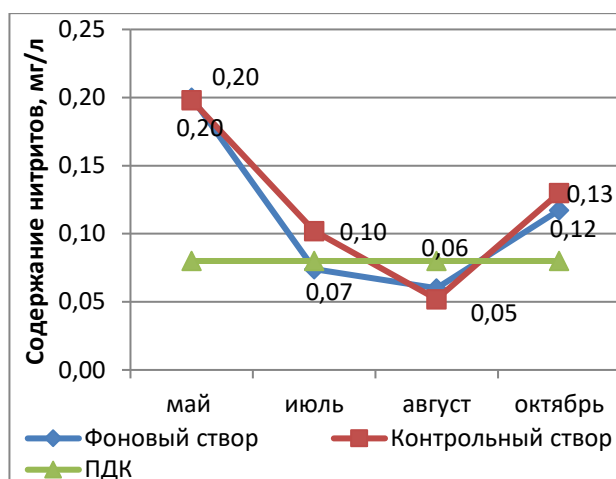


Рис. 3. Динамика содержания нитритов в р. Волга за 2015-2016 гг. в поверхностном слое

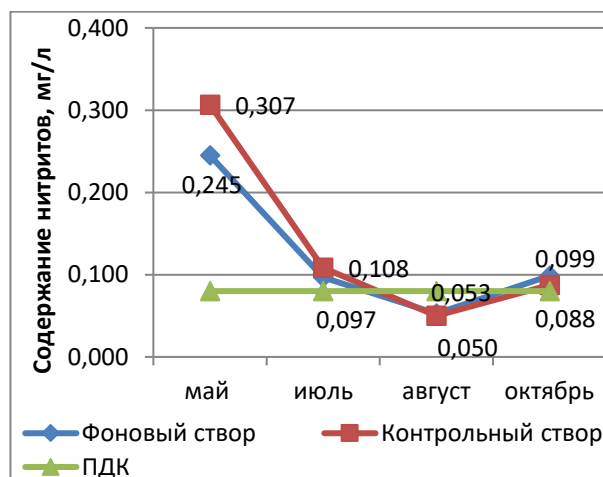


Рис. 4. Динамика содержания нитритов в р. Волга за 2015-2016 гг. в придонном слое

Согласно рис. 3 и 4 можно отметить, что максимальная концентрация нитритной формы азота отмечается в мае в поверхностном слое воды на уровне 0,2 мг/л в фоновом и контрольном створе. Также увеличение этого показателя отмечается в октябре (0,13-0,12 мг/л), вероятнее всего это связано с использованием азота фитопланктоном в летний период. В придонном слое концентрация данного ингредиента менее динамична, максимальное значение нитритов в реке отмечается в мае, а в летне-осенний период концентрация этого показателя снижается в 3,0-6,5 раз, что обусловлено активным развитием фитопланктона, который очень активно поглощает эти формы азота. При этом следует отметить превышение ПДК в 2,8 раза в фоновом и в 3,5 раза в контрольном створе в весенний период, что свидетельствует о влиянии сточных вод, сбрасываемых с предприятия, а также вышерасположенных по течению объектов водопользования.

Повышение концентрации аммония является показателем свежего загрязнения воды органическими соединениями животного и растительного происхождения [13].

Чаще всего аммонийный азот в сточных водах находится в растворенном виде. Он образуется обычно при растворении аммиака в воде, или же при гидролизе

аммиачных солей, а также в процессах разложения и окисления органических веществ [14].

Заключение

Нижегородская станция аэрации осуществляет сброс сточных вод в реку Волгу с правого берега, но явно выявленной тенденции загрязнения именно этой части акватории ни по одному показателю не найдено, кроме нитратной формы азота, где концентрация увеличивается в 1,3-2,9 раза по сравнению с левым берегом.

Таким образом, в воде реки Волги в районе Подновского рейда нефтеналивных судов ниже сброса сточных вод Нижегородской станции аэрации отмечаются превышения предельно допустимых концентраций в придонном и поверхностном слое по таким показателям как аммонийный азот и нитриты. Следовательно, деятельность Нижегородской станции аэрации влияет на загрязнения объекта водопользования.

Мониторинговые исследования показывают, что превышение аммонийного азота отмечались в мае 2016 года (3,9 ПДК) и октябре 2015-2016 гг. (2,6 ПДК) в фоновом створе. В контрольном створе отмечается значительное увеличение аммонийного азота относительно фона на 34,5 %, по остальным азотосодержащим соединениям изменений не выявлено. Максимальные концентрации аммонийного азота ниже сброса сточных вод обнаружены в поверхностном слое в мае 2015 и 2016 гг. (1,8-1,3 ПДК); нитритов - в октябре 2016 (4,8 ПДК).

Список литературы

1. Reshnyak, V. Evaluating environmental hazards of the potential sources of accidental spills / V. Reshnyak, O. Domnina, A. Plastinin. - doi:10.1088/1755-1315/867/1/012046. - Текст: электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021 International Symposium "Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021". IOP Publishing Ltd. - 2021. - С. 012046. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/867/1/012046/pdf> (дата обращения: 11.04.2022)
2. Проблемы экономической безопасности: новые глобальные вызовы и тенденции / Л. М. Анохин, Н. В. Анохина, О. Г. Аркадьева [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет; Кафедра «Экономическая безопасность». – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 2021. – 715 с. – ISBN 978-5-696-05206-9. – Текст: непосредственный.
3. Кочнев Ю.А., Кочнева И.Б. Обоснование целесообразности утилизации судна // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 65. – С. 54–59. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.127>.
4. Оценка воздействия на водный компонент окружающей среды при длительном отстое судов / И.Б. Мясникова, И.Б. Кочнева. – Текст: электронный // 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. 13. – URL: http://vf-река-море.рф/2020/PDF/1_12.pdf (дата обращения: 10.05.2022).
5. Проблемы экономической безопасности: новые решения в условиях ключевых трендов экономического развития / М. Стуль, Ш. А. Смагулова, А. Е. Ермуханбетова [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет, Кафедра «Экономическая безопасность». – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – 461 с. – ISBN 978-5-696-05149-9. – Текст: непосредственный.
6. Пластинин А.Е. Оценка риска возникновения разливов нефти на внутренних водных путях // Наука и техника транспорта. – 2015. – № 1. – С. 39-44. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23146319_96013009.pdf (дата обращения: 11.04.2022)

7. Corrosion degradation of ship hull steel plates accounting for local environmental conditions/ A. Zayed, Y. Garbatov, C. Guedes Soares// Ocean Engineering. – 2018. – Vol. 163, p. 299-306. DOI:10.1016/j.oceaneng.2018.05.047
8. Кочнева И.Б. Формирование условия целесообразности утилизации судна //Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 63. – С. 62-67. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.77>.
9. Сравнительная динамика изменения качества дистиллированной и природной воды при длительном контакте с некоторыми судовыми конструкционными материалами / Н.Ш. Ляпина, И.Б. Мясникова, А.А. Иконников, А.Н. Бородин. – Текст: электронный // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2005. – № 12. – С. 171-176. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18411334> (дата обращения: 12.05.2022).
10. Свиридонова, А.С. Определение нитратов в речной воде потенциометрическим методом / А.С. Свиридонова, В.М. Маркина // Научный сетевой журнал «Орелгау». – 2014. – № 3. – С. 16-18. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23061089> (дата обращения: 11.04.2022)
11. Рождественская, Т.А. Нитраты и нитриты в поверхностных и подземных водах Алтая / Т.А. Рождественская, А.В. Пузанов, И.В. Горбачев // Мир науки, культуры, образования. – 2008. – №2(9). – С. 19-22. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nitraty-i-nitrity-v-poverhnostnyh-i-podzemnyh-vodah-altaya> (дата обращения: 11.04.2022)
12. Мониторинг природных сред и объектов / Т.Я. Ашихмина [и др.]. – Киров: Старая Вятка, 2006. – 252 с.
13. Реутова, Т.В. Нитратный и аммонийный азот в водах основных водных артерий КБЗ и их притоков / Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, Н.В. Реутова, А.М. Хутуев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2016. – №3(71). – С. 58-65. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26258110> (дата обращения: 11.04.2022)
14. Беккер А.А. Охрана и контроль загрязнения природной среды / А.А. Беккер, Т.Б. Агаев Т.Б. – Л.: Гидрометеониздат, 1989. – 287 с. – URL: https://www.studmed.ru/bekker-a-a-agaev-t-b-ohrana-i-kontrol-zagryazneniya-prirodnoy-sredy_fb0414e5d57.html (дата обращения: 11.04.2022)

References

1. Reshnyak, V. Evaluating environmental hazards of the potential sources of accidental spills / V. Reshnyak, O. Domnina, A. Plastinin. - doi:10.1088/1755-1315/867/1/012046. - Текст: электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021 International Symposium "Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021". IOP Publishing Ltd. - 2021. - p. 012046. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/867/1/012046/pdf> (accessed 11.04.2022)
2. Problemy ehkonomicheskoi bezopasnosti: novye global'nye vyzovy i tendentsii [Problems of Economic Security: New Global Challenges and Trends] / L. M. Anokhin, N. V. Anokhina, O. G. Arkad'eva [i dr.]; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiiskoi Federatsii; Yuzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet; Kafedra «Ehkonomicheskaya bezopasnost'». – Chelyabinsk: Yuzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet (natsional'nyi issledovatel'skii universitet), 2021. – 715 p. (In Russ). – ISBN 978-5-696-05206-9. – Текст: непосредственный.
3. Kochnev Yuri A., Kochneva Irina B. Obosnovanie tselesoobraznosti utilizatsii sudna [Justification for the expediency of ship recycling] // Russian Journal of Water Transport. – 2020. – no. 65. – pp. 54–59. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.127>.
4. Otsenka vozdeistviya na vodnyi komponent okruzhayushchei sredy pri dlitel'nom otstoe sudov [Assessment of the impact on the water component of the environment during long-term sedimentation of ships] / Irina B. Myasnikova, Irina B. Kochneva. – Текст: электронный // 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. – p. 13. (In Russ). – URL: http://vf-reka-more.rf/2020/PDF/1_12.pdf (accessed 10.05.2022).

5. Problemy ehkonomicheskoi bezopasnosti: novye resheniya v usloviyakh klyuchevykh trendov ehkonomicheskogo razvitiya [Problems of economic security: new solutions in the context of key trends in economic development] / M. Stul', SH. A. Smagulova, A. E. Ermukhanbetova [i dr.]; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiiskoi Federatsii; Yuzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet, Kafedra «Ehkonomicheskaya bezopasnost'». – Chelyabinsk: Izdatel'skii tsentr YUURGU, 2020. – 461 p. (In Russ). – ISBN 978-5-696-05149-9. – Tekst: neposredstvennyi.
6. Plastinin A.E. Ocenka riska vozniknoveniya razlivov nefiti na vnutrennix vodny'x putyax [Assessment of the risk of oil spills on inland waterways] // *Nauka i tekhnika transporta*. 2015, no 1, pp. 39-44. (In Russ). – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23146319_96013009.pdf (accessed 11.04.2022)
7. Corrosion degradation of ship hull steel plates accounting for local environmental conditions/ A. Zayed, Y. Garbatov, C. Guedes Soares // *Ocean Engineering*. – 2018. – Vol. 163, p. 299-306. DOI:10.1016/j.oceaneng.2018.05.047.
8. Kochneva Irina B. Formirovanie usloviya tselesoobraznosti utilizatsii sudna [Creation of a condition for the ship recycling expediency] // *Russian Journal of Water Transport*. – 2020. – no. 63. – pp. 62-67. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.77>.
9. Sravnitel'naya dinamika izmeneniya kachestva distillirovannoi i prirodnoi vody pri dlitel'nom kontakte s nekotorymi sudovymi konstruktsionnymi materialami [The comparative dynamics changing quality of distilled and natural water after it long contact with ship's constructional materials] / N.S. Lyapina, I.B. Myasnikova, A.A. Ikonnikov, A.N. Borodin. – Tekst: ehlektronnyi // *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta [Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport]*. – 2005. – no. 12. – pp. 171-176. (In Russ). – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18411334> (accessed 12.05.2022).
10. Sviridonova, A.S. Opredelenie nitratov v rechnoi vode potentsiometricheskim metodom [Determination of nitrates in river water by the potentiometric method] / A.S. Sviridonova, V.M. Markina // *Nauchnyi setevoi zhurnal «OrelgaU» [Scientific online journal "Orelgau"]*. – 2014. – no. 3. – pp. 16-18. (In Russ). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23061089> (accessed 11.04.2022).
11. Rozhdestvenskaya, T.A. Nitraty i nitrity v poverkhnostnykh i podzemnykh vodakh Altaya [Nitrates and nitrites in the surface and ground water of Altai] / T.A. Rozhdestvenskaya, A.V. Puzanov, I.V. Gorbachev // *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya [The world of science, culture and education]*. – 2008. – no. 2(9). – pp. 19-22. (In Russ). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nitraty-i-nitrity-v-poverkhnostnyh-i-podzemnyh-vodah-altaya> (accessed 11.04.2022).
12. Monitoring prirodnykh sred i ob"ektov [Monitoring of natural environments and objects] / T.YA. Ashikhmina [i dr.]. – Kirov: Staraya Vyatka, 2006. – 252 p. (In Russ).
13. Reutova, T.V. Nitratnyi i ammoniinyi azot v vodakh osnovnykh vodnykh arterii KBZ i ikh pritokov [Nitrogen of nitrates and of ammonium in the waters of main water arteries of KBR and their tributaries] / T.V. Reutova, F.R. Dreeva, N.V. Reutova, A.M. Khutuev // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN [News of Kabardino-Balkar scientific center of RAS]*. – 2016. – no. 3(71). – pp. 58-65. (In Russ). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26258110> (accessed 11.04.2022).
14. Bekker A.A. Okhrana i kontrol' zagryazneniya prirodnoi sredy [Protection and control of environmental pollution] / A.A. Bekker, T.B. Agaev T.B. – L.: Gidrometeoizdat, 1989. – 287 p. (In Russ). – URL: https://www.studmed.ru/bekker-a-a-agaev-t-b-ohrana-i-kontrol-zagryazneniya-prirodnoy-sredy_fb0414e5d57.html (accessed 11.04.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Павликова Мария Дмитриевна, аспирант кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail:

Maria D. Pavlikova, Postgraduate student of the Department of Environmental Protection and Industrial Safety, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

kaf_oospb@vsuwt.ru

Бородин Алексей Николаевич, к.т.н., доцент кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: expertrisk@yandex.ru

Alexey N. Borodin, Ph.D.(Eng), Associate Professor of the Department of Environmental Protection and Industrial Safety, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Пластинин Андрей Евгеньевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: plastininae@yandex.ru

Andrey E. Plastinin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Protection and Industrial Safety, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Статья поступила в редакцию 14.08.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 14.08.2022; published online 20.12.2022.

УДК 629.5.06/504.5
DOI: 10.37890/jwt.vi73.324

Судовая система подачи активного вещества в зону загрязнения

С.В. Петрашёв¹

ORCID: 0000-0003-3183-5150

А.А. Панасенко¹

ORCID: 0000-0003-2067-884X

О.В. Москаленко¹

ORCID: 0000-0003-3121-5234

¹*МГУ им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия*

Аннотация. В связи с ростом грузооборота, грузовых операций и количества судов, проходящих по Северному морскому пути, прогнозируется резкий рост числа и общего количества сбросов нефти с судов в полярном регионе. В статье приводятся данные по возможной удаленности мест сброса от пунктов базирования сил и средств ликвидации разливов нефти, а также приводятся данные по их составу и оснащенности, указывается на необходимость принятия мер к ликвидации сбросов нефти в кратчайшие сроки. Для осуществления оперативного реагирования на разливы нефти предложена система подачи активного вещества в зону загрязнения, описывается ее состав и принцип действия. В качестве активного вещества выбран сорбент марки СТРГ. Авторами высказывается мнение об обязательности использования подобных систем на ледоколах, судах-снабженцах на нефтепромыслах и спасателях.

Ключевые слова: Северный морской путь, разлив нефти, сорбент, пульпа, струйный смеситель, сорбент термо-расщепленный графитовый, ледовый покров, система подачи активного вещества.

Ships system for supplying the active substance to the contaminated area

Sergey V. Petrashev¹

ORCID: 0000-0003-3183-5150

Andrey A. Panasenko¹

ORCID: 0000-0003-2067-884X

Oleg V. Moskalenko¹

ORCID: 0000-0003-3121-5234

¹*Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi, Vladivostok, Russia*

Abstract. Due to the increase in cargo turnover, cargo operations and the number of ships transit through the Northern Sea Route, a great increase in the number and total amount of oil pollution from ships in the polar region is predicted. The article provides information about the distance of oil pollution places from the bases of forces and means for oil spill cleanup. The data on the command structure and their equipment are presented. The necessity of taking measures to eliminate oil pollutions as soon as possible is represented. For the implementation of prompt response to oil pollution, a system for supplying an active substance to the pollution zone is proposed, its composition and principle of operation are described. The STRG brand sorbent was chosen as the active substance. The authors believe the use of such systems on icebreakers, supplier ships, oil fields and rescue ships is necessary.

Keywords: Northern Sea Route, oil pollution, sorbent, pulp, jet mixer, thermo-split graphite sorbent, ice cover, active substance supply system.

В современных условиях таяния полярных льдов и глобального потепления активное использование Северного морского пути (СМП) становится весьма актуальным. Ежегодно увеличивается как количество судов, проходящих по этому пути, так и общий грузооборот. Если в 2010 году по СМП было перевезено 2190 тыс. тонн груза, то в 2020 уже 32970 к 2024 году ставится задача достижения величины в 80 млн. тонн [1], а к 2030 году их количество может достигнуть 120 млн. тонн. Изменение грузооборота по СМП представлено в таблице 1.

Таблица 1

Изменение грузооборота по трассе Северного морского пути

Данные	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Общий объем перевозок, тыс. т	1600	3707	5392	7266	9932	20180	31500	32970	34850
Объем транзитных перевозок, тыс. т	1160	274,3	39,6	215,5	194,4	491,3	697,2	>1200	-
Количество проведенных ледоколами судов	Н/Д*	129	195	411	493	331	Н/Д*	Н/Д*	Н/Д*
Средний gross тоннаж, gross тонн	Н/Д*	12862	10474	11971	14555	38392	Н/Д*	Н/Д*	Н/Д*

* – нет данных

В ближайшие годы основная часть объема грузов, перевозимого по СМП, будет поступать от российских предприятий, и его существенную часть будет представлять нефть из заполярных месторождений. В бухте Север планируется строительство терминала для перевозки нефти с месторождений на полуострове Таймыр. Проектная мощность сооружений 7,5 млн. т/год. В планы ПАО «НК «РОСНЕФТЬ» входит создание «Арктического кластера» с транспортировкой по Северному морскому пути до 100 млн. тонн нефти в год. [2].

Администрацией Северного морского пути с начала 2020 года к декабрю того же года выдано более 1000 разрешений на плавание в акватории СМП (в т.ч. 156 разрешений выдано для судов, под иностранным флагом) [3].

Столь значительный рост тоннажа и числа судов в полярных водах России будет приводить к заметному увеличению воздействия на экосистему северных акваторий. Эксплуатация большого количества судов в суровых условиях Арктики неизбежно приведет к увеличению числа сбросов нефти и ее общего количества, как при аварийных разливах, так и при грузовых операциях танкеров. Известно, что из общего количества попадающих в океан нефти и нефтепродуктов примерно 35% приходится на долю морского флота. При этом порядка 25% от общего её количества поступает с танкеров и 10% - с судов других типов [4].

Северный морской путь является частью Северного транспортного коридора, который включает крупные порты Мурманск, Архангельск, Нарьян-Мар, а также собственно порты СМП: Сабетта, Диксон, Тикси, Певек. В зимний период схожие условия также в восточных полярных портах Провиденция и Петропавловск–Камчатский. В шести из указанных портов располагаются подразделения ФГБУ «Морской спасательной службы», в которых имеются силы и средства для ликвидации разливов нефти. В двух из них (Мурманск, Диксон) располагаются морские спасательно-координационные центры (МСКЦ), а еще в четырех морские

спасательные подцентры (МСПЦ), каждый из центров отвечает за поисково-спасательные работы в своем закрепленном районе [5]. Расстояние между указанными портами представлено в таблице 2. Расстояние определялось по наиболее короткому пути с помощью программы «port distances software» Seamatrix [6].

Таблица 2

Расстояние между портами Северного морского пути

Порт	МСКЦ	МСПЦ	Расстояние, морских миль
Мурманск	+		452
Архангельск		+	
Нарьян-Мар			672
Сабетта			707
Диксон	+		288
Тикси		+	1087
Певек		+	1044
бухта Провидения			735
Петропавловск-Камчатский		+	1131

Расположение пунктов передового базирования ФГБУ «Морская спасательная служба» представлено на карте (рис. 1).

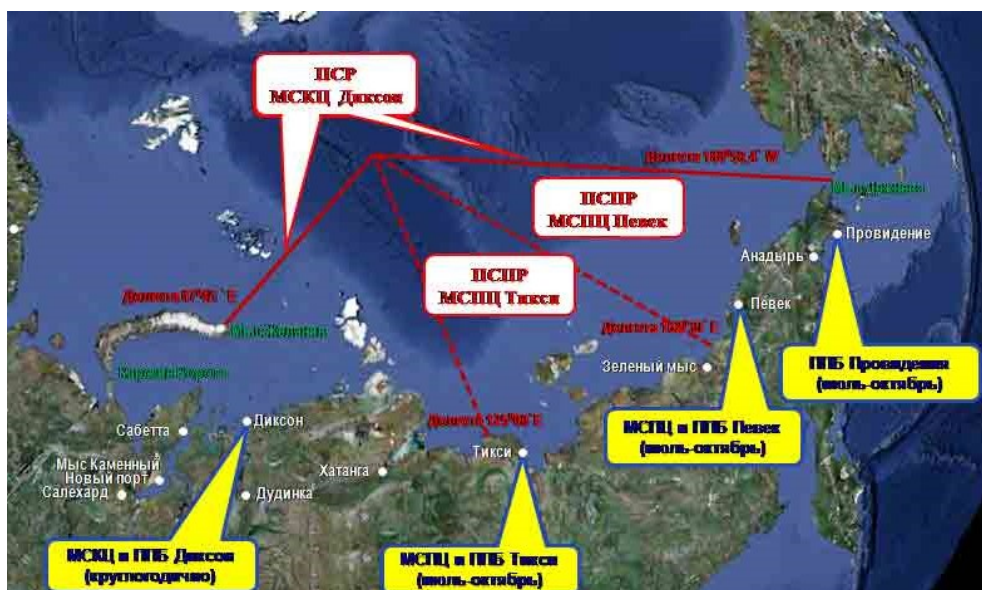


Рис.1. Расположение пунктов передового базирования ФГБУ «Морская спасательная служба»

Данные представленные в табл. 1 показывают, что на акватории от пролива Карские ворота до Петропавловска-Камчатского расстояние между пунктами передового базирования составляет более тысячи миль, а сами районы ответственности являются огромной акваторией. При этом на всем протяжении Северного морского пути ФГБУ "МОРСПАССЛУЖБА" имеет возможность задействовать только 8 спасательных плавсредств. Оснащённость групп аварийно-спасательной готовности (АСГ) в пунктах передового базирования (ППБ) представлена в таблице 3 [7].

. Таблица 3

**Перечень оборудования групп аварийно-спасательной готовности
ФГБУ "МОРСПАССЛУЖБА" в акватории Северного морского пути
и в морском порту Провидения**

Расположение АСГ	Снаряжение	Примечание
Группа АСГ в ППБ морской порт Диксон (4 человека) круглогодично	Боновое заграждение тип БПП-1100 Боновое заграждение тип БПП-830 Скиммер тип «Десми Минни Макс» (производительностью 35 куб.м./час.) Надувная лодка с подвесным мотором	250 м. 100 м. 1 комплект 1 комплект
Группа АСГ в ППБ морской порт Тикси (3 человека) июль-октябрь	Боновое заграждение тип БПП-600 Нефтесборная система тип «Десми-250» (производительностью 70 куб.м./час.)	200 м. 1 комплект
Группа АСГ в ППБ морской порт Певек (3 человека) июль-октябрь	Боновое заграждение тип БПП-1100 Боновое заграждение тип БПП-830 Скиммер НСУ тип «Валосеп В2» (производительностью 40 куб.м./час.) Сорбент	130 м. 150 м. 1 комплект 150 кг.
Группа АСГ в ППБ морской порт Провидения (3 человека) июль-октябрь	Боновое заграждение тип БПП-830 Скиммер НСУ тип «Валосеп В1» (производительностью 40 куб.м./час.) Сорбент	150 м. 1 комплект 150 кг.

Анализ сил и средств АСГ показывает их явную недостаточность в случае серьезного разлива нефти. Кроме того, при столь огромных расстояниях, особенно в суровых погодных условиях Арктики, может потребоваться чрезмерно длительное время для их доставки к месту разлива. При этом очевидна необходимость начала активных мероприятий по ликвидации разливов нефти в максимально сжатые сроки, в идеале – сразу после обнаружения [8]. Это возможно, только при наличии эффективных средств для ликвидации разливов нефти на борту судна или хотя бы одного из судов в составе каравана.

В МГУ им. адм. Г.И. Невельского предложена система подачи активного вещества (СПАВ) в зону загрязнения [9, 10]. В качестве активных веществ могут быть применены сорбенты, диспергенты, окислители, микроорганизмы и др. По результатам анализа свойств и особенностей использования различных видов активных веществ, для первоначальной обработки пятна нефтяного сброса, был выбран сорбент марки СТРГ (сорбент терморасщепленный графитовый). Данный вид сорбента представляет собой сыпучий материал с величиной гранул от 1 до 2,5 мм, обладает насыпной плотностью не более 12 кг/м³ [11, 12]. При столь малой плотности, СТРГ обладает абсолютной плавучестью, а так же высокой скоростью сорбции нефти, он химически инертен, олеофилен и гидрофобен, при длительном пребывании в морской воде не намокает, а его свойства остаются стабильными.

Схема предложенной системы приведена на рисунке 2. Система содержит насос заборной воды 1 (предпочтительно, пожарный), смесительное устройство 2 для подачи сорбента в воду, трубопровод 3, распределитель кранового типа 4, гибкие рукава 5, гидромонитор 6 и подводное устройство-распылитель 7.

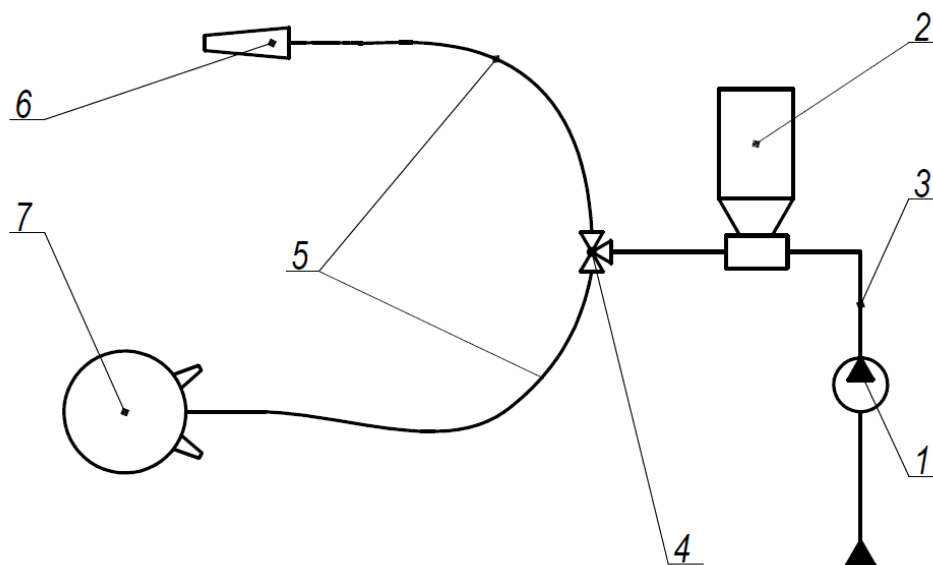


Рис. 2. Схема системы подачи активного вещества в зону загрязнения
 1 – насос заборной воды, 2 – смесительное устройство, 3 – трубопровод, 4 – кран-распределитель, 5 – гибкий рукав, 6 – гидромонитор, 7 – подводное устройство-распылитель

Принцип действия системы заключается в следующем. После обнаружения нефтяного сброса, под воду (под поле битого или сплошного льда) спускается подводное устройство-распылитель активного вещества 7, ему предварительно задается необходимая глубина погружения. Это устройство является гидрореактивным аппаратом с двумя, симметрично расположенными с разных

сторон, соплами [8]. Управление устройством производится подачей воды к обоим соплам (при прямолинейном движении) или одному из них (при повороте). После погружения в воду устройства 7, от насоса 1 по трубопроводу 3 и гибким рукавам 5, через кран-распределитель 4 подается забортная вода. Выход воды с большой скоростью через сопла подводного устройства-распылителя вызывает реактивную тягу, это позволяет переместить последний в нужном направлении и на необходимое расстояние. При приближении устройства-распылителя к нефтяному пятну в смесительном устройстве 2 начинается подача сорбента в поток воды. Далее пульпа, содержащая сорбент и забортную воду, подается к крану-распределителю 4, а от него к подводному устройству-распылителю. Находящееся под нефтяным пятном устройство-распылитель, через сопла, выпускает в воду пульпу на заданной глубине. Плавающий сорбент всплывает на поверхность воды или к нижней части ледяного поля. На пути движения вверх сорбируется нефть находящаяся, как в толще воды, так и на ее поверхности или под ледяным покровом, а также в трещинах и разрывах. Если акватория не покрыта льдом, а нефтяное пятно находится в зоне действия гидромонитора 6, то кран-распределитель 4 переводится на подачу водо-сорбентной пульпы к гидромонитору и зона загрязнения обрабатывается с его помощью.

Предложенная система содержит два критически важных новых элемента – подводное устройство-распылитель и смесительное устройство. Краткое описание первого было сделано выше. В качестве второго нами предложено использовать смеситель струйного типа, в силу целого ряда преимуществ перед другими разновидностями. В процессе исследования было предложено несколько новых конструкций струйных смесителей и устройств подачи сыпучих веществ к ним [13, 14].

При исследованиях эффективности ввода сорбента в поток воды экспериментально установлено явление сводообразования в сорбенте марки СТРГ во всем технически оправданном диапазоне размеров выходного отверстия бункерного устройства смесителя [15]. Данный факт свидетельствует о необходимости обязательного применения устройств разрушения свода (УРС). В силу рыхлой структуры сорбента марки СТРГ, малой насыпной плотности и незначительной взаимосвязи его гранул между собой, использование в качестве УРС вибраторов – малоэффективно. Более рациональным представляется применение УРС других типов, например, шнекового.

Заключение

Применение на судах предложенной системы позволит в максимально короткий срок принять действенные меры к предотвращению распространения нефтяного пятна на значительной акватории и снизить экологический ущерб от разливов. Также, авторы считают, что суда, проходящие Северным морским путем, должны быть обеспечены различными средствами для ликвидации разливов нефти. А судовые энергетические установки трёх типов судов должны содержать вспомогательные системы - подачи активного вещества в зону загрязнения. В число судов, с обязательным наличием СПАВ, должны входить ледоколы, суда-снабженцы на нефтепромыслах и спасательные, на других судах подобные системы могут устанавливаться, как дополнительная опция. В последнем случае для водоснабжения системы может быть задействована пожарная система судна, а комплект оборудования располагаться на палубе, в стандартном контейнере.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г.»
2. Северный морской путь: история, регионы, проекты, флот и топливообеспечение. Том 3. М.: Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. июль 2020
3. Сайт Информационно-аналитического агентства «ПортНьюс» <https://portnews.ru/news/306100/> (Дата обращения 26.06.2022)
4. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря с судов. -М.: Транспорт, 1985. - 288с.
5. Сайт Федеральное агентство Морского и речного транспорта Министерства транспорта Российской Федерации https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/morskoy_flot/funktsionalnyie_podsistemyi_rossmorrechflota/spisok_msks_i_m_spts.html, (Дата обращения 28.06.2022)
6. Сайт разработчика программы Seamatrix. <https://seamatrix.net>. Дата обращения 28.06.2022
7. Сайт ФГБУ Администрация северного морского пути <http://nsra.ru/ru/pso.html> (Дата обращения 26.06.2022)
8. Understanding Oil Spills and Oil Spill Response. EPA Office of Emergency and Remedial Response. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-01/documents/ospguide99.pdf> (Дата обращения 30.06.2022)
9. Городников О.А., Монинец С.Ю., Петрашёв С.В. Устройство для подводного введения сорбента. Патент на полезную модель RU 144489 U1, 20.08.2014. Заявка № 2013147318/13 от 09.01.2014.
10. А.К. Тюльканов, С.В. Петрашев, М.И. Моисеенко, И.А. Перехода, А.В. Куренский. Новая судовая система как способ обеспечения экологической безопасности в условиях арктического шельфа. Вестник инженерной школы ДВФУ. Владивосток, 2021. № 1(46)
11. ТУ 2164-001-05015070-97. Сорбент терморасщепленный графитовый
12. Сакович Н.Е. Методы и средства ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов. Монография / Брянск, 2012.
13. Петрашёв С.В., Тюльканов А.В., Самойленко Ю.Р. Смесительная установка струйного типа. Патент на изобретение RU 2680079 C1, 14.02.2019. Заявка № 2018106217 от 19.02.2018.
14. Гриванова О.В., Моисеенко М.И., Петрашёв С.В., Тюльканов А.В. Смесительная установка струйного типа с кольцевым соплом. Патент на изобретение 2722993 C1, 05.06.2020. Заявка № 2019143536 от 20.12.2019
15. Тюльканов А.К., Петрашёв С.В., Панасенко А.А., Моисеенко М.И. Струйная смесительная установка для ввода легкого сыпучего вещества в поток жидкости. Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 68. С. 109-119.

References

1. Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 07.05.2018 № 204 «O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2024 g.», (In Russ).
2. Severnyi morskoi put': istoriya, regiony, proekty, flot i toplivoobespechenie. [The Northern Sea Route: history, regions, projects, fleet and fuel supply] Tom 3. M.: Tsentr ehnergetiki Moskovskoi shkoly upravleniya SKOLKOVO. iyul' 2020, (In Russ)
3. Sait Informatsionno-analiticheskogo agentstva «PorTN'yuS» <https://portnews.ru/news/306100/> (accessed 26.06.2022), (In Russ)
4. Nunuparov S.M. Predotvrashchenie zagryazneniya morya s sudov. [Prevention of marine pollution from ships.] -M.: Transport, 1985. -288s. , (In Russ)
5. Website of the Federal Agency for Sea and River Transport of the Ministry of Transport of the Russian Federation https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/morskoy_flot/funktsionalnyie_podsistemyi_rossmorrechflota/spisok_msks_i_m_spts.html, (accessed 28.06.2022)
6. The website of the developer of the Seamatrix program. <https://seamatrix.net>. (accessed 28.06.2022)
7. Sait FGBU Administratsiya severnogo morskogo puti <http://nsra.ru/ru/pso.html> (accessed 26.06.2022)

8. Understanding Oil Spills and Oil Spill Response. EPA Office of Emergency and Remedial Response. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-01/documents/ospguide99.pdf> (accessed 30.06.2022)
9. Gorodnikov O.A., Moninets S.YU., Petrashev S.V. Ustroistvo dlya podvodno-go vvedeniya sorbenta. [Device for underwater introduction of sorbent.] Patent RU 144489 U1, 20.08.2014. Zayavka № 2013147318/13 ot 09.01.2014 , (In Russ)
10. A.K. Tyul'kanov, S.V. Petrashev, M.I. Moiseenko, I.A. Perekhoda, A.V. Ku-renskii. Novaya sudovaya sistema kak sposob obespecheniya ehkologicheskoi bezopasnosti v usloviyakh arkticheskogo shel'fa. [A new ship system as a way to ensure environmental safety in the conditions of the Arctic shelf], FEPU: School of Engineering Bulletin. Vladivostok, 2021. № 1(46) , (In Russ)
11. TU 2164-001-05015070-97. Sorbent termorasshcheplynniy grafitovyy, [Thermally-split graphite sorbent] (In Russ)
12. Sakovich N.E. Metody i sredstva likvidatsii posledstviy razlivov nefi i nefteproduktov. [Methods and means of liquidation of consequences of oil and oil products spills] Monografiya / Bryansk, 2012. , (In Russ)
13. Petrashev S.V., Tyul'kanov A.V., Samoilenko YU.R. smesitel'naya ustanovka struinogo tipa. [Jet-type mixing unit] Patent na izobretenie RU 2680079 C1, 14.02.2019. Zayav-ka № 2018106217 ot 19.02.2018. , (In Russ)
14. Grivanova O.V., Moiseenko M.I., Petrashev S.V., Tyul'kanov A.V. Smesi-tel'naya ustanovka struinogo tipa s kol'tsevym soplom. [Jet-type mixing unit with an annular nozzle. Patent na izobretenie 2722993 C1, 05.06.2020. Zayavka № 2019143536 ot 20.12.2019, (In Russ)
15. Tyul'kanov A.K., Petrashev S.V., Panasenko A.A., Moiseenko M.I. Struinaya smesitel'naya ustanovka dlya vvoda legkogo sypuchego veshchestva v potok zhidkosti. [Jet mixing plant for the introduction of a light bulk substance into the liquid flow.] , Russian Journal of Water Transport. 2021. № 68. S. 109-119.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Петрашёв Сергей Владимирович, к.т.н.,
доцент, профессор кафедры теории и
устройства судна, МГУ им. адм. Г.И.
Невельского. г. Владивосток, ул.
Верхнепортовая, 50а, e-mail:
petrashov@msun.ru

Sergey V. Petrashev, PhD in Engineering
Science, Associate Professor of the Theory and
Vessel Construction Department, Maritime State
University named after admiral G.I. Nevelskoi.
690059, 50a, Verkhneportovaya St.,
Vladivostok, Russia.

Панасенко Андрей Александрович, к.т.н.,
доцент, доцент кафедры эксплуатации
автоматизированных судовых энергетических
установок МГУ им. адм. Г.И. Невельского. г.
Владивосток, ААPanasenko@msun.ru

Andrey A. Panasenko, PhD in Engineering
Science, Associate Professor of Ship's Power
Plants Automation Department, Maritime State
University named after admiral G.I. Nevelskoi.
690059, 50a, Verkhneportovaya St.,
Vladivostok, Russia.

Москаленко Олег Владимирович, аспирант
кафедры судовых двигателей внутреннего
сгорания МГУ им. адм. Г.И. Невельского, г.
Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, e-mail:
Moskalenko-ov@dvgosmornadzor.ru

Oleg V. Moskalenko, postgraduate of Ship's
Internal Combustion Engines Department,
Maritime State University named after admiral
G.I. Nevelskoi, 690059, 50a, Verkhneportovaya
St., Vladivostok, Russia.

Статья поступила в редакцию 24.07.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 24.07.2022; published online 20.12.2022.

**Научные проблемы
водного транспорта**

**Russian Journal of Water
Transport**

№72(3), 2022

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 17,75. Уч.-изд. л. 24,85.
Заказ 116. 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.