



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

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

Научные проблемы водного транспорта

№72 (3) 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: raeva@vsawt.com (или через сайт журнала <http://journal.vsuwt.ru>). Информация о порядке публикации и требованиях к оформлению статьи размещены на сайте журнала в разделе Авторам.

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

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

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

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

Редакция и Редколлегия

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Ответственный редактор

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

Ответственный секретарь

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

Члены Редколлегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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;

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.

Редакционный совет

Алексеев В.Я., Генеральный директор ОАО «Порт Коломна», г. Коломна, Россия;

Бессмертный Д.Э., к.т.н. Руководитель ФБУ «Администрация волжского бассейна», Нижний Новгород, Россия;

Ежов П.В., Генеральный директор ООО «Си Тех», Нижний Новгород, Россия;

Ефремов Н.А., д.э.н., Первый заместитель генерального директора ФАУ Российский речной регистр, Москва, Россия;

Мочалина Н.Н., Первый заместитель министра - начальник управления природопользования Министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области, Нижний Новгород, Россия;

Столповицкий К.С., начальник Управления государственного морского и речного надзора Ространснадзора, Москва, Россия;

Сазонов И.Г., заместитель Министра промышленности Нижегородской области, Нижний Новгород, Россия;

Теодор де Йонге, Генеральный директор "Numerieck Centrum Groningen B.V.", Гронинген, Нидерланды;

Франк Венде - профессор, к.т.н., Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Магдебург, Германия; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва, Россия;

Шаталов В.В., профессор, Генеральный директор ОАО КБ "Вымпел", Нижний Новгород, 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 №72 (3) 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: raeva@vsawt.com (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;

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.

Editorial Council

Alekseyev V.Ju., General Manager of public corporation “Port of Kolomna”, Kolomna, Russia;
Bessmertniy D.E., Cand. Scs. (Tech.), Manager of “Federal budgetary institution of the Volga basin”, Nizhny Novgorod, Russia;

Ezhov P.V., General manager of LLC “Sea Tech”, Nizhny Novgorod, Russia;

Efremov N.A., Dr. Sci. (Econ.) First deputy of general manager of Russian river register, Moscow, Russia;

Mochalina N.N., First deputy minister- chief of dept of natural resources use of ministry of Ecology and natural resources of Nizhny Novgorod Region, Nizhny Novgorod, Russia;

Stolpovitsky K.S., chief of marine and river state inspection department of Rostransnador, Moscow, Russia;

Sazonov I.G., deputy minister of Industry of Nizhny Novgorod Region, Nizhny Novgorod, Russia;

Shatalov V.V., professor, General manager OAO KB “Vimpel”, Nizhny Novgorod, Russia.

Teodore de Yonge, General Director of “Numeriek Centrum Groningen BV”, Groningen, Netherlands;

Frank Wende, PhD, professor, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und - automatisierung IFF, Magdeburg, Germany.



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

И.А. Гуляев, Е.П. Роннов, Ю.А. Кочнев

Влияние параметров оптимизационной модели на основные характеристики архитектурно-конструктивного типа комбинированного судна 15

С.В. Давыдова, К.П. Мочалов

Сравнительный анализ создания теоретического чертежа в программах «Ткорпус» и «FreeShip» 30

О.Э. Суров, М.В. Китаев, Е.Е. Соловьева, Д.В. Тюфтяев, В.А. Веселов

Анализ главных размерений и характеристик рыболовных судов 41

Е.Ю. Чебан, О.В. Мартемьянова, А.И. Кожевников, А.А. Мольков

Исследование гидродинамики выступающих частей маломерного судна численными методами 54

Эксплуатация судового энергетического оборудования

Д.И. Бевза, О.П. Шураев

Предварительный натурный эксперимент на опытном образце судового компактного котла-утилизатора 70

В.И. Кочергин, Е.С. Зинченко

Контроль расхода топлива энергетических установок на основе регистрации текущих значений мощности 78

Экономика, логистика и менеджмент на транспорте

А.П. Бафанов

Методический подход к обоснованию экономической устойчивости операторов комбинированных пассажирских перевозок 90

О.Л. Домнина, Ж.Ю. Шалаева

Прогнозирование объемов перевозок пассажиров внутренним водным транспортом 102

Д.А. Коршунов

Формирование инфраструктурного комплекса внутреннего водного транспорта 111

В.И. Минеев, В.М. Иванов, М.В. Карташов

Перспективы развития транспорта Каспийского региона в эпоху перемен 121

М.Г. Сеницын, Т.В. Глоденис, С.Н. Масленников

Перспективы внутреннего водного транспорта при освоении континентального шельфа Российской Федерации 134

С.В. Сустретов, А.О. Ничипорук

Современное состояние и перспективы развития грузовых перевозок в судах инновационного типа 144

Эксплуатация водного транспорта, судовождение и безопасность судоходства

В.М. Бунеев, Е. А. Григорьев, А.Ю. Гаврилова

Типовые решения организации транспортного процесса и систем на внутреннем водном транспорте 156

С.Н. Гирин

Анализ обоснованности ограничений эксплуатации пассажирских судов в Горьковском водохранилище 167

С.В. Железнов, А.А. Лисин, Ю.Н. Уртминцев

Оценка потенциала переключения части автомобильных контейнерных перевозок из морских портов на внутренний водный транспорт 180

М.Г. Сеницын, Г.Я. Сеницын

Оценка транспортных возможностей внутренних водных путей 189

Водные пути, порты и гидротехнические сооружения

Ю.Е. Воронина

Методические подходы оценки заносимости перекатов нижнего бьефа Нижегородской ГЭС и их влияние на обеспечение судоходных глубин участка 198

А.А. Калашиников

Проектные решения при устройстве дноуглубительных прорезей 208

А.Н. Ситнов, Н.В. Кочкурова

Обоснование условий создания и использования судоходных глубин на Верхней Каме в экспедиционном периоде навигации 216

Н. Н. Фомичева, В.Н. Кофеева

Беззаторный пропуск льда через гидроузлы в эксплуатационный период 231

М.В. Шестова, М.А. Решетников

Обоснование гидравлической возможности установления гарантированных габаритов судового хода на участке р. Кама от с. Бондюг до пгт Керчевский 240

Экологическая безопасность

Ф.И. Выборнов, О.А.Шейнер

Влияние гелио-геофизической активности на надежность коротковолновой связи на транспорте 249

И.Б. Мясникова, С.М. Павлова

Определение совместного влияния тяжелых металлов и нефтепродуктов на фитотоксичность почв 260

В.С. Наумов, И.Б. Кочнева

Анализ экологических аспектов эксплуатации судов в навигационный период 267

В.И. Решняк, О.Л. Домнина

Внесудовая очистка нефтесодержащей подсланевой воды при эксплуатации судов внутреннего плавания 274

CONTENTS

Shipbuilding, ship repair and ecological safety of the ship

Ilya A. Gulyaev, Evgeniy P. Ronnov, Yuri A. Kochnev

Influence of optimization model parameters on the main characteristics of the architectural and structural type of the combined vessel 15

Svetlana V. Davydova, Konstantin P. Mochalov

Comparative analysis of the creation of a theoretical drawing in the programs «Tkopus» and «FreeShip» 30

Oleg E. Surov, Maksim V. Kitaev, Ekaterina E. Solovieva,

Dmitry V. Tyufyaev, Vitaly A. Veselov

Analysis of main dimensions and characteristics of fishing vessels 41

Egor Yu. Cheban, Artur I. Kozhevnikov, Alexandr A. Mol'kov

Study of boat's appendages hydrodynamics by numerical methods 54

Operation of ship power equipment

Denis I. Bevza, Oleg P. Shurayev

The preliminary full-scale experiment on the vessel's compact exhaust boiler's prototype 70

Victor I. Kochergin

Fuel consumption monitoring of power plants based on the recording of current power values 78

Economics, logistics and transport management

Artem P. Bafanov

Methodological approach to substantiating the economic sustainability of combined passenger transport operators 90

Olga L. Domnina, Zhanna Yu. Shalaeva

Forecasting the volume of passenger transportation by inland water transport 102

Dmitry A. Korshunov

Formation of the infrastructure complex inland water transport 111

Valery I. Mineev, Valery M. Ivanov, Maxim V. Kartashov

Prospects for the development of transport in the Caspian region in the era of change 121

Mikhail G. Sinitsyn, Tatiana V. Glodenis, Sergey N. Maslennikov

Prospects of inland water transport in the development of the continental shelf of the Russian Federation 134

Semion V. Sustretov, Andrey O. Nichiporuk

The current state and prospects for the development of freight transportation in innovative type vessels 144

Operation of water transport, navigation and safety of navigation

Stanslav N. Girin

Analysis of the validity of restrictions on the operation of passenger vessels in the Gorky reservoir 156

Victor M. Buneev, Evgeniy A. Grigorev, Anna Yu. Gavrilova

Typical solutions for the organization of the transport process and systems in inland waterway transport..... 167

Sergey V. Zheleznov, Alexander A. Lisin, Yuriy N. Urtmintsev

Assessment of the potential for switching part of road container traffic from seaports to inland water transport 180

Mikhail G. Sinitsyn, Gennady Y. Sinitsyn

Assessment of the transport capabilities of inland waterways 189

Waterways, ports and hydraulic engineering constructions

Yulia E. Voronina

Methodological approaches to assessing the drift of the Nizhegorodskaya HPP lower pool riffles and their impact on ensuring the navigable depths of the area..... 198

Arsenii A. Kalashnikov

Design solution for the dredging slots production 208

Alexander N. Sitnov, Natalia V. Kochkurova

Substantiation of conditions for the creation and use of navigable depths on the Upper Kama in the expedition period of navigation 216

Nyailya N. Fomicheva, Vera N. Kofeeva

Non-congestion ice passage through hydraulic units during the operational period..... 231

Marina V. Shestova, Maksim A. Reshetnikov

Substantiation of the hydraulic possibility of establishing guaranteed ship's course dimensions on the Kama section from the village of Bondyug to the village Kerchevsky 240

Environmental safety

Fedor I. Vybornov, Olga A. Sheiner

Helio-geophysical activity impact on reliability of transport short-wave communication . 249

Irina B. Myasnikova, Svetlana M. Pavlova

Determination of the joint effect of heavy metals and petroleum products on soil phytotoxicity 260

Victor S. Naumov, Irina B. Kochneva

Analysis of environmental aspects of ship operation during the navigation period..... 267

Valery I. Reshnyak, Olga L. Domnina

Off-vessel purification of oil-containing bilge water of inland navigation vessels..... 274

**СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА**

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

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi72.275

**Влияние параметров оптимизационной модели на основные
характеристики архитектурно-конструктивного типа
комбинированного судна**

И.А. Гуляев¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2602-3115>

Е.П. Роннов²

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

Ю.А. Кочнев²

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

¹Российский Речной Регистр, г. Москва, Россия

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

Аннотация Перевозка наливных грузов на специализированных судах имеет недостаток в виде невозможности обратной загрузки. Это, прежде всего, связано с невозможностью размещения сухих грузов обратного рейса в грузовых танках как с точки зрения необходимости зачистки последних, так и с точки зрения доступа в грузовые танки с габаритными или сыпучими грузами. Решить обозначенную проблему можно с применением специализированных грузовых комбинированных судов, которые имеют как отдельные грузовые помещения для сухого груза обратно загрузки, так и традиционные танки для перевозки жидких нефтепродуктов. Приведённое конструктивное решение снижает грузоподъемность по нефтепродукту по сравнению с «чистым» танкером из-за повышения массы корпуса, а также из-за ограничения допустимой вместимости, поскольку, особенно для речных судов и судов смешанного (река-море) плавания, отсутствует возможность увеличения габаритов судна. В статье приведена математическая модель и результаты тестовых расчётов по выбору архитектурно-конструктивного типа грузового комбинированного судна для внутренних и смешанных (река-море) перевозок. Показано, что наибольшие перспективы имеют так называемые суда-площадки как по приносимой прибыли судовладельцу, так и по минимальным эксплуатационным затратам.

Ключевые слова: комбинированное грузовое судно, танкер-площадка, математическая модель, архитектурно-конструктивный тип судна.

Influence of optimization model parameters on the main characteristics of the architectural and structural type of the combined vessel

Иля А. Гуляев¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2602-3115>

Evgeniy P. Ronnov²

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

Yuri A. Kochnev²

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

¹*Russian River Register, Moscow, Russia*

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

Abstract. Transportation of liquid cargo on specialized vessels has the disadvantage of not being able to reload. This is primarily due to the impossibility of placing dry cargo on the return trip in cargo tanks, both from the point of view of the need to clean up the latter, and from the point of view of access to cargo tanks with bulky or bulk cargo. This problem can be solved with the use of specialized cargo combined vessels, which have separate cargo spaces for dry cargo back loading, and traditional tanks for the transportation of liquid petroleum products. The above design solution reduces the carrying capacity of petroleum products in comparison with a "clean" tanker due to an increase in the weight of the hull, as well as due to the limitation of the permissible capacity, since, especially for river vessels and vessels of mixed (river-sea) navigation, there is no possibility of increasing the dimensions of the vessel. The article presents a mathematical model and the results of test calculations for the choice of an architectural and structural type of cargo combined vessel for inland and mixed (river-sea) transportation. It is shown that the so-called platform vessels have the greatest prospects both in terms of the profit they bring to the shipowner and in terms of minimum operating costs.

Keywords: combined cargo vessel, tanker platform, mathematical model, architectural and structural type of vessel

Введение

При перевозке наливных грузов и в частности, нефти и нефтепродуктов специализированными судами – нефтеналивными танкерами, значительная часть времени эксплуатации приходится на балластные переходы. Это является следствием непригодности танкеров к перевозке в обратном рейсе навалочных и насыпных или тарно-штучных грузов, что отрицательно сказывается на их транспортной экономической эффективности.

В мировой практике судоходства используются так называемые комбинированные суда, способные перевозить, как наливные, так и сухие навалочные либо тарно-штучные грузы.

Появлению комбинированных судов способствовало наличие грузопотоков, когда перевозка нефтепродуктов в прямом направлении сочетается с перевозкой навалочных грузов в обратном рейсе. Исходя из основной характеристики архитектурно-конструктивного типа (АКТ) судна – конструктивного типа корпуса в работе [1] дана классификация по типу и назначению морских комбинированных судов:

- нефтерудовозы типа ОО (Ore/Oil carrier);
- нефтенавалочники типа ОВ (Oil/Bulk carrier);
- нефтенавалочники - рудовозы типа ОВО (Oil/Bulk/Ore carrier);
- комбинированные суда типа ВОРО (Bulk/oil/ro ship);
- комбинированные суда типа танкер/площадка.

Нефтерудовозы типа ОО перевозят нефть в бортовых танках, а руду – в относительно узких гладкостенных центральных трюмах, имеющих второе дно (рис. 1). Одновременно они могут иметь ряд грузовых танков под нефть и среди центральных трюмов, в которых второе дно может отсутствовать. Данные типы являются наиболее старыми из комбинированных судов и из-за отсутствия второго дна и вторых бортов в грузовых танках имеют проблемы по районам эксплуатации.



Рис. 1. Схема поперечного сечения нефтерудовоза типа ОО ограниченного плавания

Нефтенавалочники типа ОВ по конструкции трюмов близки к нефтерудовозам типа ОО, но только в центральных трюмах перевозят относительно легкие навалочные грузы, а не руду.

Нефтенавалочники - рудовозы типа ОВО (рис. 2) имеют отделённые друг от друга трюмы-танки с люковыми крышками. Это позволяет использовать эти грузовые помещения под сухой груз, выполняя грузовые операции при открытых люковых крышках. В то же время их полное закрытие и система погружных насосов делают эти трюмы танками для перевозки нефтеналивного груза.



Рис. 2. Рудовозы типа ОВО

Комбинированные суда типа ВОРО нефть перевозят в танках в корпусе, а в грузовых помещениях твиндека – навалочные и генеральный груз накатом.

Рассмотренные конструктивные типы корпуса труднореализуемы на комбинированных судах внутреннего и смешанного (река-море) плавания из-за известных ограничений на их главные размерения габаритами судового хода. Вопросы возникают не столько инженерной, сколько экономической целесообразности, так как в этом случае уменьшается относительная вместимость грузовых помещений по основному (жидкому) и обратному (сухому) грузу, по сравнению с объемом корпуса в грузовом районе судна.

В отечественной практике имеется большой опыт постройки и эксплуатации нефтерудовозов проектов 1553, 1570 и 15790, которые по конструкции корпуса в грузовом районе и грузовых помещений соответствуют нефтерудовозам типа ОО и ОВ. Однако отсутствие вторых бортов и второго дна в районе нефтеналивных грузовых танков в свете требований экологической безопасности сделало их эксплуатацию в настоящее время невозможной.

В России в настоящее время нашел применение и используется АКТ комбинированного судна – танкер/площадка. Наливной груз на них размещается как в обычном танкере в корпусе, а сухой – обратной загрузки, на палубной грузовой площадке, освобожденной от палубных судовых устройств и систем танкера над танками (рис. 3).

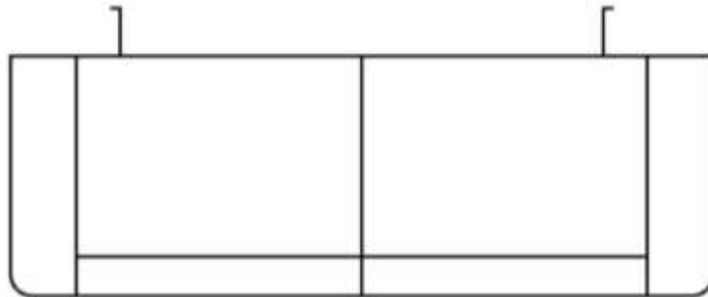


Рис. 3. Схема поперечного сечения танкера/площадки

Можно предположить, что рассмотренные выше конструктивные типы комбинированных судов при условии их соответствия требованиям Технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта [2] и, прежде всего, наличия вторых бортов и второго дна в нефтеналивных танках, могли бы найти применение в определенных условиях эксплуатации на внутренних и смешанных (река-море) перевозках. Такие условия должны оптимальным образом сочетать соотношение фрахта и грузоподъемностей по жидкому и сухому грузу, характеристики прямой и обратной линии перевозки грузов, производительность погрузо-разгрузочных работ, размеры партий грузов и др.

Исходя из этого, в общем случае для заданной линии, характеризующейся известным прямым и обратным грузопотоком и отмеченными выше особенностями, возникает задача определения наилучшего из возможных конструктивного типа комбинированного судна с наибольшими для данной линии главными размерениями, при которых экономическая эффективность перевозок за навигацию будет выше по сравнению с перевозкой только груза прямого рейса нефтеналивным танкером таких же размерений.

Данная задача может рассматриваться и в другом варианте – с расчетом и анализом эффективности комбинированного судна наибольших размерений и грузоподъемности для данной линии по результатам одного рейса. Такое решение по выводам может быть адекватно решению прямой задачи, поскольку грузоподъемность в конкретных условиях эксплуатации при перевозке массовых грузов принимают наибольшей.

Математическая формулировка задачи оптимизации в обобщенном виде следующая:

при известном векторе оптимизируемых параметров X , векторе исходных данных Y и векторе нормативно-технических требований Z найти оптимизируемое значение вектора варьируемых параметров

$$X(x_1, x_2, \dots) \rightarrow opt,$$

при котором целевая функция принимает экстремальное значение

$$F(X, Y, Z) \rightarrow \max(\min),$$

и выполняются ограничения, характеризующие выполнение навигационных и эксплуатационно-технических качеств судна

$$G_j(X, Y, Z) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m_e,$$

$$G_j(X, Y, Z) \leq 0 \quad j = m_e + 1, \dots, m,$$

а также требования к переменным

$$X_{\min} \leq X_i \leq X_{\max} \quad i = 1, \dots, n.$$

Ограничения в виде строгих равенств представлены в виде уравнений плавучести, баланса масс, ходкости. Уравнения вместимости, продольной прочности, остойчивости надводного борта определяют их минимально необходимый уровень и представлены в форме неравенств.

В таблице 1 приведены характеристики математических моделей рассматриваемых задач.

Таблица 1

Характеристики математических моделей

Составляющие модели	Модель оптимизации АКТ	Модель оптимизации элементов комбинированного судна	Модель оптимизации элементов танкера
Целевая функция	$\Pi = F(X, Y, Z)$ $\rightarrow \max$ или $\bar{Z} = F'(X, Y, Z)$ $\rightarrow \min$	$\Pi = F(X, Y, Z)$ $\rightarrow \max$	$\Pi_T = F(X, Y, Z)$ $\rightarrow \max$
Варьируемые переменные	$x_1 = AKT,$ $x_2 = P_{CG}/P_{Ж},$ $x_3 = \Phi_{CG}/\Phi_{Ж},$	$x_1 = P_{CG}/P_{Ж},$ $x_2 = \Phi_{CG}/\Phi_{Ж},$ $x_3 = L/B,$ $x_4 = B/T,$ $x_5 = \delta,$ $x_6 = v$	$x_1 = L/B,$ $x_2 = B/T,$ $x_3 = \delta,$ $x_4 = v$
Ограничения		$D - \sum P = 0,$ $D - \rho g V = 0,$ $P_e - R = 0,$ $W - V_{mp} < 0,$	

	$T - T_{\max} < 0,$ $H - H_{\min} > 0, \text{ и др}$
--	--

По существу, задача сводится к определению наиболее эффективного типа комбинированного судна по сравнению с нефтеналивным танкером тех же размерений и работающим без обратной загрузки. Комбинированное судно в силу конструктивных особенностей имеет меньшую грузоподъемность по основному нефтеналивному грузу по сравнению с танкером. Поэтому варьируемые величины и критерий эффективности приняты в долях от соответствующих величин исходного танкера. Так, принятая в качестве целевой функции величина прибыли используется в данной задаче в относительном виде

$$\Pi = \frac{\Pi_{Ki}}{\Pi_T}, \tag{1}$$

где Π_{Ki} – расчётное значение прибыли, получаемое комбинированным судном на i -ом шаге итерации по АКТ;

Π_T – расчётное значение прибыли нефтеналивного танкера с аналогичными размерениями.

Соответственно, варьируемые величины, а именно – грузоподъемность по сухому грузу обратной загрузки и фрахт по нему имеют вид

$$\overline{P_c} = \frac{P_c}{P_n} \text{ и } \Phi = \frac{F_c}{F_n}, \tag{2}$$

где P_c, F_c – грузоподъемность и фрахт комбинированного судна по сухому грузу обратной загрузки соответственно;

P_n, F_n – грузоподъемность комбинированного судна и фрахт за перевозку нефтегруза соответственно.

На рисунке 4 приведена укрупнённая блок-схема задачи оптимизации АКТ комбинированного судна, которая показывает алгоритм решения и содержание математической модели судна.

Генерирование теоретического чертежа выполняется по алгоритму, в основе которого лежит аффинное преобразование координат теоретического чертежа корпуса судна-аналога с требуемыми параметрами формы корпуса [3,4]

$$S = f(X_i, Y_i, Z_j),$$

где $X_i = \frac{L}{2} - i \times \frac{L}{20}, i = 0, 1, 2, \dots, 20$ – абсциссы теоретических шпангоутов;

$Z_j, j = 0, 1, 2, \dots$ – аппликаты теоретических ватерлиний;

$Y_{i,j} = \overline{Y_{i,j}} \frac{B}{2}$ – ординаты теоретических шпангоутов;

Относительная ордината судовой поверхности $\overline{Y_{i,j}}$ для *i*-ого теоретического шпангоута, *j*-ой теоретической ватерлинии, определяемая по формуле

$$\overline{Y_{i,j}} = \sum_{k=1}^{k=4} \left\{ \left(\overline{Y_{i,j}} \right)_k \times s_k \right\},$$

где $\overline{Y_{i,j}}$ – относительная ордината судовой поверхности корпусов судов прототипов;

s_k – интерполяционный множитель, равный

$$s_k = f(\delta, x_c, \delta_k, x_{ck}),$$

x_{ck}, δ_k – относительная абсцисса центра величины и коэффициента полноты корпусов базовых судов;

x_c, δ – исходные значения относительной абсциссы центра величины и коэффициента общей полноты.

Схема набора корпуса и проектирование холостых и рамных балок набора выполняется в соответствии с требованиями [5] при смешанной системе набора в средней части корпуса. Корректировка размеров связей производится после проверки прочности. Методика поэтапного расчёта массы металлического корпуса приведена в [6]. Особенности расчёта сопротивления воды на стадии исследовательского проектирования, связанные с возможностью проектирования «сверхполных» судов дана в [7]. После определения гидродинамических характеристик движителя и выбора двигателя выполняется расчёт нагрузки масс [8] и проверка остойчивости и непотопляемости с использованием методик [9] и [10].

Строительная стоимость судна рассчитывается исходя из стоимости материалов, трудоёмкости изготовления, зарплаты основного и вспомогательного персонала, налоговых отчислений и нормы прибыли.

При расчёте элементов рейса определяется ходовое время, время погрузки и выгрузки, ожидания грузовых работ и манёвров. Эксплуатационные расходы и доходы рассчитывались по общепринятым схемам с использованием среднеотраслевых на речном транспорте нормативов.

На языке Fortran [11] разработано программное обеспечение, реализующее приведённый выше алгоритм, для различных типов АКТ комбинированного судна и «чистого» танкера, позволяющее оптимизировать как главные элементы рассматриваемых судов, так и их конструктивный тип при принятых значениях основных проектных элементов.

Чтобы проанализировать зависимость АКТ от конкретных условий перевозки основного и обратного груза и сопоставить их с традиционной работой нефтеналивного судна, были выполнены тестовые расчёты отдельно по каждому возможному типу этих судов. Перед анализом результатов тестовых расчётов следует сделать некоторые дополнительные пояснения, связанные с особенностью математической модели.

Для обеспечения корректности анализа эффективности комбинированного судна в зависимости от его архитектурно-конструктивного типа сопоставляемые суда, начиная от базового нефтеналивного танкера, имеют одинаковые с ним главные размерения $L \times B \times H$ и форму корпуса. Для обеспечения заданной или хотя бы близкой грузоподъемности по жидкому наливному грузу, такой же как у базового танкера, у комбинированного судна типа бункерного ОВ и трюмного ОВО из-за наличия в корпусе грузовых помещений соответствующих размеров под сухой груз, математической моделью предусматривается возможность увеличения высоты борта. При этом учитываются соответствующие ограничения по обеспечению габаритных размеров судна по высоте, размеров непросматриваемой зоны по курсу судна, остойчивости и безусловном увеличении массы корпуса и сохранения осадки.

На комбинированных судах типа нефтерудовоз ОО и ОВ, но с вторыми бортами и вторым дном, по сравнению с нефтеналивным танкером тех же размеров, несмотря на возможность некоторого увеличения высоты борта, может уменьшаться объем грузовых помещений под основной наливной груз, грузоподъемность по нему и доходность по прямому рейсу. Компенсировать это можно, если фрахт и перевозимое количество обратного сухого груза дадут соответствующий доход. Подчеркнем, что грузоподъемность по сухому грузу зависит не только от объема грузового трюма, но и от величины удельного погрузочного объема груза – объема, занимаемого одной тонной груза. Поэтому масса обратного груза может быть больше уменьшаемой грузоподъемности по наливному грузу прямого рейса, что положительно сказывается на доходности обратного рейса. Это обстоятельство наряду с тем, что объем танков под наливной груз и, следовательно, его масса несколько меньше чем у «чистого» танкера, даже при умеренных фрахта за сухой груз может делать комбинированное судно более эффективным.

Такие проблемы на комбинированном судне типа танкер/площадка практически отсутствуют, так как наливной груз размещается, как и у танкера в корпусе, а сухой груз на палубной грузовой площадке. Необходимый объем палубного грузового помещения до определенного значения обеспечивается за счет высоты его ограждения.

Недостатком данного типа комбинированных судов является открытая грузовая площадка, что позволяет возить только грузы открытого хранения при соответствующих ограничениях по разряду водного пути. Устройство люковых закрытий грузовой площадки уменьшает грузоподъемность и требует дополнительной конструктивной проработки.

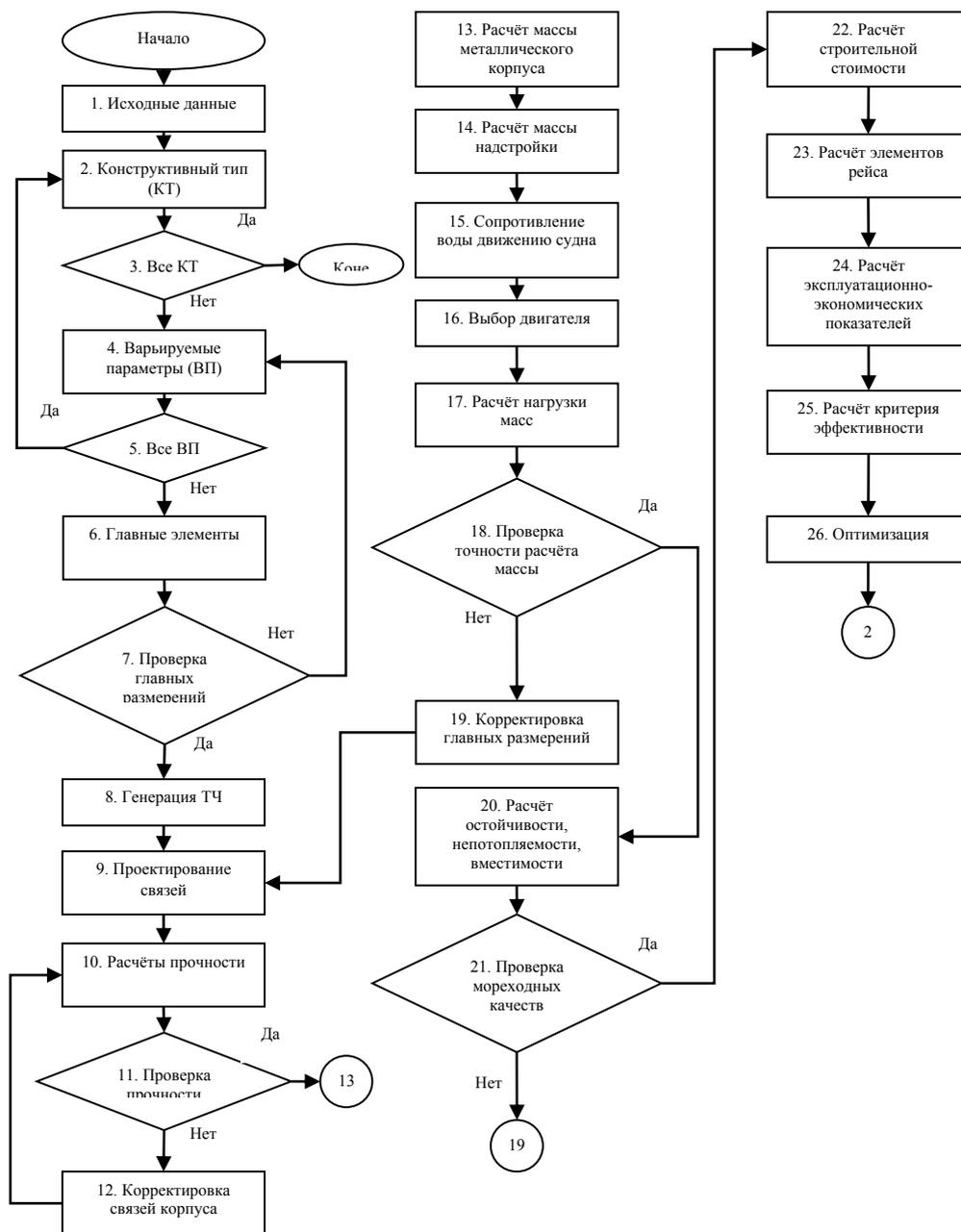


Рис. 4. Укрупнённая блок-схема оптимизации комбинированного судна

Анализ соотношений грузоподъёмностей по сухому и наливному грузу позволяет заключить, что для всех типов комбинированных судов на начальных стадиях проектирования можно считать, что достигаются примерно одинаковые характеристики по весовой отдаче по перевозимому грузу и мощности энергетической установки. Следовательно, эффективность этих судов по критерию прибыль не должна существенно различаться. Подтверждают это предположение результаты тестовых расчётов, приведённые на рисунках (рис. 5).

На рисунке показаны зависимость относительной прибыли, принятой в форме (1), от соотношения количества прямого (нефтепродукты) P_H и обратного (сухого) P_C груза и их относительного фрахта, принятого в форме (2), для рассматриваемых типов комбинированных судов с проектными элементами и характеристиками как у сопоставляемого танкера грузоподъемностью 5000 т.

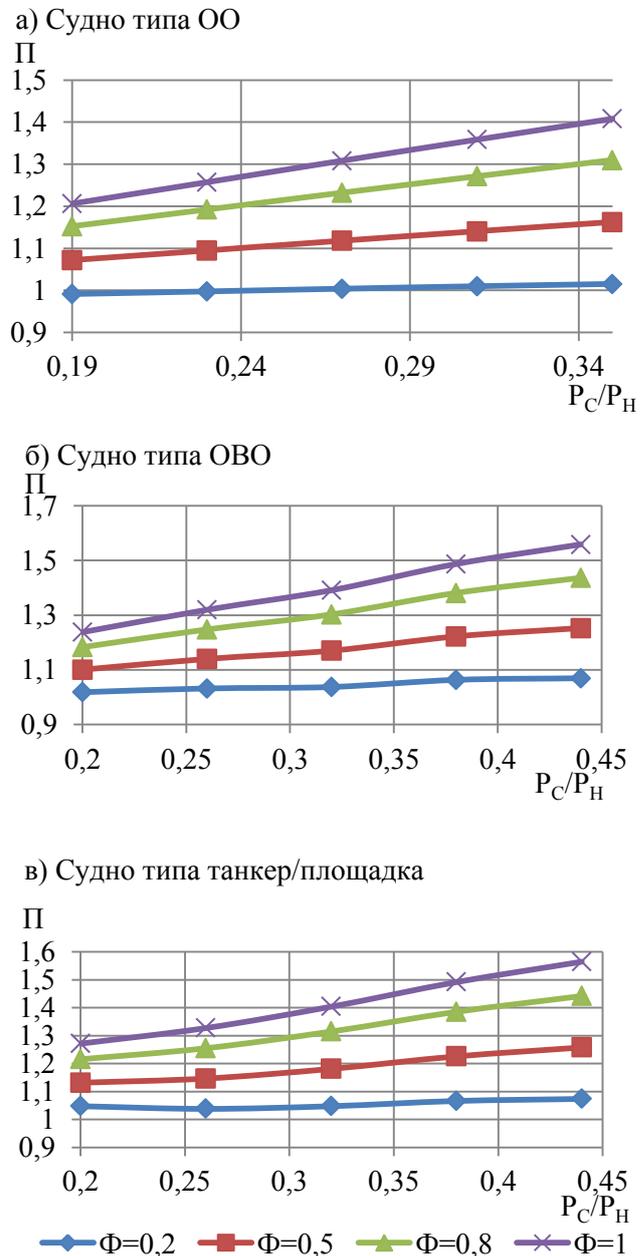


Рис. 5. Эффективность различных АКТ комбинированных судов в зависимости от грузоподъемности и фрахтовой ставки по сухому грузу, в сравнении с нефтеналивным танкером

Из графиков видно, что комбинированные суда во всем диапазоне соотношений количества наливного и сухого (обратной загрузки) груза при увеличении доли последнего и сохранении грузоподъемности по наливному за счёт увеличения высоты борта повышают свою эффективность. То есть их прибыль, по сравнению с танкером тех же размеров и грузоподъемности возрастает. Это естественная тенденция сохраняется во всем диапазоне роста фрахтовых ставок за обратный груз.

Из приведённых на рисунке 5 зависимостей можно сделать практический вывод: для достижения наибольшей эффективности комбинированного судна по сравнению с танкером грузоподъемность по сухому грузу обратной загрузки должна составлять не менее 30% от грузоподъемности по основному нефтеналивному грузу. При этом относительная фрахтовая ставка по условию устойчивого достижения положительного эффекта должна быть не менее 0,5 от фрахта по нефтеналивному грузу.

Некоторое преимущество по критерию прибыль имеют комбинированные суда типа танкер/площадка (рис. 6), где показана их эффективность по уровню прибыли при наиболее реальной фрахтовой ставке применительно к грузопотокам в Ленском бассейне.

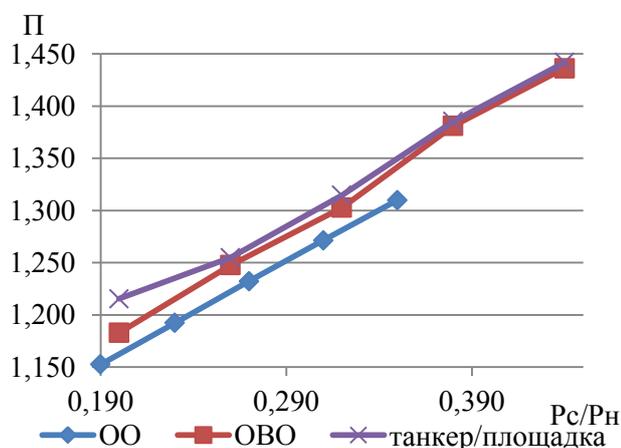


Рис. 6. Эффективность различных АКТ комбинированных судов при относительной фрахтовой ставке по сухому грузу 0,8 от ставки по наливному грузу

Примерно такие же результаты и выводы получены при анализе комбинированных судов тех же АКТ в сопоставлении с танкерами грузоподъемностью 3500 и 2700 т.

Однако следует иметь в виду, что в силу конструктивных особенностей масса металлического корпуса, судовых систем и устройств, трудоемкость постройки приводят к увеличению эксплуатационных расходов. Поэтому целесообразно при обосновании АКТ комбинированного судна в качестве критерия рассматривать стоимостной показатель, например приведённые затраты

$$Z_{np} = \mathcal{E}_P + K \times C$$

где \mathcal{E}_P – эксплуатационные расходы за расчётный период;

C – строительная стоимость судна;

K – коэффициент эффективности капиталовложений.

На рисунке 7 показан график зависимости приведённых затрат комбинированных судов рассматриваемых АКТ, отнесенных к аналогичным затратам нефтеналивного

танкера грузоподъемностью 5000 т. Из графика следует, что имеет место зона по величине обратной загрузки $P_C/P_H < 0,27$, где суда типа ОВ и ОВО имеют преимущество по затратам над АКТ танкера/площадки. В то же время при $P_C/P_H > 0,48$ примерно одинаковая прибыль достигается судном с этим АКТ при меньших затратах.

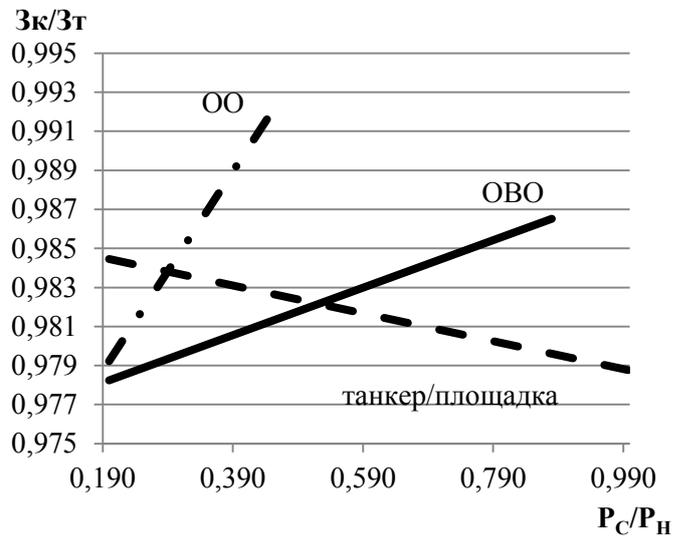


Рис. 7. Зависимость относительной величины приведенных затрат комбинированного судна от соотношения обратной загрузки

Следует еще раз обратить внимание на то, что приведенные выше зависимости и выводы сделаны при условии, что при одинаковой длине и ширине, грузоподъемность по наливному грузу комбинированных судов типа ОО и ОВО, обеспечивается за счёт соответствующего увеличения высоты борта.

Если и высоту борта сохранять «танкерной», то при увеличении доли сухого груза соответственно будет уменьшаться объем нефтеналивных танков комбинированных судов типа ОО и ОВО и доходность по прямому рейсу. В этом случае их зависимость эффективности по сравнению с танкером существенно изменяется (рис. 8). Реальная эффективность имеет место при доле сухого груза не более 22% и относительной фрахтовой ставке более 0,8.

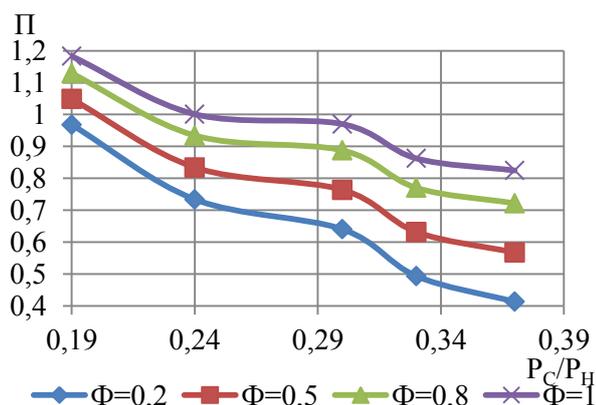


Рис. 8. Эффективность комбинированного судна типа ОО по сравнению с танкером грузоподъемностью 5000 т при условии фиксированной высоты борта

Выводы

Выполненные тестовые расчёты показали работоспособность программы оптимизации АКТ комбинированного судна и её адекватность. В сопоставимых условиях эксплуатации и стабильности обратной загрузки комбинированные суда рассматриваемых АКТ по критерию прибыль примерно одинаковые и эффективнее танкера тех же размеров, при условии сохранения их грузоподъёмности по наливному грузу прямого рейса. В этом случае можно решать задачу оптимизации АКТ на базе конкретного типа комбинированного судна, выбрав его с учетом особенностей грузопотока и эксплуатации. Однако по стоимостному показателю, например, по величине приведенных затрат либо времени окупаемости судна более широкий диапазон менее затратной применимости имеют суда типа танкер/площадка.

Трюмное комбинированное судно имеет более сложные решения по конструкции корпуса, общесудовым системам и устройствам. Но оно может при определённых условиях оказаться более конкурентоспособным, исходя из возможности обеспечения общей прочности за счёт рационального распределения грузовых помещений по длине.

При условии фиксирования высоты борта судов типа ОВО и ОО такой же, как и у исходного танкера, преимущество комбинированного судна типа танкер/площадка явное и существенное.

Список литературы

1. И.А. Гуляев. Классификация и архитектурно-конструктивные особенности комбинированных судов / Гуляев И.А., Роннов Е.П. // Научные проблемы водного транспорта, 62, 2020 – с. 40-50
2. Технический регламент о безопасности объектов внутреннего водного транспорта (с изменениями на 6 августа 2020 года). Утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 августа 2010 г. N 623
3. Coons S.A. Surfaces for computer-aided design of space forms. Computer Science. Published 1 June 1967
4. Давыдова С.В. Автоматизация генерации ординат теоретического чертежа интерполяционным методом // Вестник «ВГАВТ» №56, 2018 –
5. Правила классификации и постройки судов. [Режим доступа]: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/izveshenia/Rossiyskiy-Rechnoy-Registr.-PRAVILA-2019.-May-2021.pdf>

6. Роннов Е.П. Математическая модель расчёта массы металлического корпуса комбинированного судна / Е.П. Роннов, И.А. Гуляев, Ю.А. Кочнев // Научные проблемы водного транспорта, Выпуск 63, 2020 – с. 48-54
7. Гуляев И.А. Прогнозирование сопротивления движению грузовых комбинированных судов в задаче их оптимизации / И.А. Гуляев, Ю.А. Кочнев // Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек, Нижний Новгород, 2020 г.
8. Гуляев И.А. Математическая модель расчёта массы металлического корпуса комбинированного судна / Е.П. Роннов, И.А. Гуляев, Ю.А. Кочнев // Научные проблемы водного транспорта, Выпуск 63, 2020 – с. 48-54
9. Гуляев И.А. Анализ устойчивости комбинированных судов на стадии исследовательского проектирования / Е.П. Роннов, И.А. Гуляев // Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 66. – с. 29-35. DOI: 10.37890/jwt.vi66.158
10. Роннов Е.П. Особенности назначения надводного борта судов смешанного плавания из условия запаса плавучести / Е.П. Роннов, Ю.А. Кочнев // Труды 18-го международного научно-промышленного форума "Великие реки-2016. Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. Интернет журнал широкой научной тематики. Выпуск 5, 2016 г. [Электронная версия]
11. Баргеньев, О.В. Фортран для профессионалов. Математическая библиотека IMSL / О.В. Баргеньев. – Выпуск 3.

References

1. I.A. Guljaev, E.P. Ronnov. Klassifikacija i arhitekturno-konstruktivnye osobennosti kombinirovannyh sudov . Nauchnye problemy vodnogo transporta, 62, 2020, s. 40-50
2. Tehnicheskij reglament o bezopasnosti ob'ektov vnutrennego vodnogo transporta (s izmenenijami na 6 avgusta 2020 goda). Utverzhden Postanovleniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 12 avgusta 2010 g. N 623
3. Coons S.A. Surfaces for computer-aided design of space forms. Computer Science. Published 1 June 1967
4. Davydova S.V. Avtomatizacija generacii ordinat teoreticheskogo chertezha interpoljacionnym metodom Vestnik «VGAVT» №56, 2018
5. Pravila klassifikacii i postrojki sudov. [Rezhim dostupa]: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/izveshenia/Rossiyskiy-Rechnoy-Registr.-PRAVILA-2019.-May-2021.pdf>
6. E.P. Ronnov, I.A. Guljaev, Ju.A. Kochnev Matematicheskaja model' raschjota massy metallicheskogo korpusa kombinirovannogo sudna. Nauchnye problemy vodnogo transporta, Vypusk 63, 2020, s. 48-54
7. I.A. Guljaev, Ju.A. Kochnev Prognozirovanie soprotivlenija dvizheniju gruzovyh kombinirovannyh sudov v zadache ih optimizacii. Problemy ispol'zovanija i innovacionnogo razvitija vnutrennih vodnyh putej v bassejnah velikih rek, Nizhnij Novgorod, 2020 g.
8. E.P. Ronnov, I.A. Guljaev, Ju.A. Kochnev Matematicheskaja model' raschjota massy metallicheskogo korpusa kombinirovannogo sudna. Nauchnye problemy vodnogo transporta, Vypusk 63, 2020, s. 48-54
9. E.P. Ronnov, I.A. Guljaev Aanaliz ostojchivosti kombinirovannyh sudov na stadii issledovatel'skogo proektirovanija. Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2021. № 66. s. 29-35. DOI: 10.37890/jwt.vi66.158
10. E.P. Ronnov, Ju.A. Kochnev Osobennosti naznachenija nadvodnogo borta sudov smeshannogo plavanija iz uslovija zapasa plavuchesti, Trudy 18-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma "Velikie reki-2016. Problemy ispol'zovanija i innovacionnogo razvitija vnutrennih vodnyh putej v bassejnah velikih rek. Internet zhurnal shirokoj nauchnoj tematiki. Vypusk 5, 2016 g. [Jelektronnaja versija]
11. Barten'ev, O.V. Fortran dlja professionalov. Matematicheskaja biblioteka IMSL. –Vypusk 3.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гуляев Илья Александрович, начальник корпусного отдела ФАУ «Российский Речной Регистр», Окружной проезд, 15, корп. 2, Москва, 105187, e-mail: guliaev@rivreg.ru,

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

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

Иля А. Gulyaev, Head of Hull Department, Federal Autonomous Institution Russian River Register, bld. 2, 15, Okruzhnoy proezd, Moscow, Russia, 105187

Yuri A. Kochnev, Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education Volga State University of Water Transport (VSUWT), 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Evgeniy P. Ronnov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education Volga State University of Water Transport (VSUWT), 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Статья поступила в редакцию 15.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022.
Received 15.06.2022; published online 20.09.2022.

УДК 629.122

DOI: 10.37890/jwt.vi72.276

Сравнительный анализ создания теоретического чертежа в программах «Ткорпус» и «FreeShip»

С.В. Давыдова¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1310-6157>

К.П. Мочалов¹

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

Аннотация. Разработка ординат теоретического чертежа в большинстве программ выполняется интерполяционным методом по судам-прототипам. Если прототипов нет или недостаточно, то разработка ординат может проводиться методом аффинных преобразований, для которого достаточно одного судна-прототипа. В работе выполнен сравнительный анализ создания ординат теоретического чертежа в программах «Ткорпус» и «FreeShip». Показан процесс разработки ординат теоретического чертежа буксира в программе «Ткорпус», использующей интерполяционный метод построения ординат и в программе «FreeShip», использующей метод аффинных преобразований. Проведён сравнительный анализ полученных ординат теоретических чертежей. Проанализирована возможность совместного использования программ: «Ткорпус» для получения ординат теоретического чертежа, «FreeShip» – для редактирования поверхности теоретического чертежа. Обе программы позволяют быстро получить ординаты теоретического чертежа, что позволяет сократить время на начальном этапе проектирования судна.

Ключевые слова: судостроение, программный комплекс, интерполяция, аппроксимация, аффинные преобразования, построение теоретического чертежа, буксирное судно, судовая поверхность, анализ результатов.

Comparative analysis of the creation of a theoretical drawing in the programs «Tcorp» and «FreeShip»

Svetlana V. Davydova¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1310-6157>

Konstantin P. Mochalov¹

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

Abstract. The development of the ordinates of the theoretical drawing in most programs is carried out by the interpolation method for prototype vessels. If there are no prototypes or not enough, then the development of ordinates can be carried out by the method of affine transformations, for which one prototype vessel is sufficient. The paper presents a comparative analysis of the ordinates creation of the theoretical drawing in the programs «Tcorp» and «FreeShip». The process of developing of a tugboat theoretical drawing ordinates is shown in the program «Tcorp», using the interpolation method of constructing ordinates and in the program «FreeShip», using the method of affine transformations. A comparative analysis of the obtained ordinates of theoretical drawings is carried out. The programs can be used together: «Tcorp» to obtain the ordinates of the theoretical drawing, «FreeShip» to edit the surface of the theoretical drawing. Both programs allow to obtain the ordinates of the theoretical drawing quickly, which reduces the time at the initial stage of the vessel design.

Keywords: shipbuilding, software package, interpolation, approximation, affine transformations, construction of a theoretical drawing, towing vessel, ship surface, analysis of results.

Введение

В современном судостроении при проектировании нового судна на судостроительном заводе или конструкторском бюро на начальном этапе проектирования для получения ординат теоретического чертежа используют программные комплексы (далее программы). Часть таких программ использует интерполяционный метод.

Применение интерполяционного метода для получения координат теоретического чертежа с достаточной степенью точности [1] значительно повышает эффективность расчетов на ранних стадиях проектирования. Метод проектирует корпус с помощью интерполяции между несколькими теоретическими корпусами выбранных судов-прототипов.

При проектировании нового судна может оказаться, что для формы его корпуса отсутствуют суда-прототипы. В этом случае берётся корпус судна-прототипа и редактируется с помощью аппроксимации. Однако полученный корпус может не соответствовать расчётным геометрическим параметрам, коэффициенту полноты и безразмерной абсциссе центра величины. Поэтому необходимо знать, в каких пределах можно использовать аппроксимацию корпуса для получения результатов, соответствующих расчётным параметрам.

Интерполяционный метод построения корпуса

Для разработки теоретического чертежа (далее ТЧ) корпуса интерполяционным методом необходимо подобрать минимум четыре корпуса судов-прототипов по форме судовых обводов, абсциссе центра величины и коэффициенту полноты водоизмещения.

При выборе судов-прототипов кроме приведенных параметров также необходимо учитывать и другие особенности: форму судовой поверхности корпуса, форму носовых и кормовых оконечностей, вальность движительно-рулевого комплекса (ДРК) и размеры винта [2], [3], [4]. То есть, для создания корпуса танкера нужно подбирать только корпуса танкеров, для корпуса сухогруза – только корпуса сухогруза и т.д.

Программа «Ткорпус»

Программа используется студентами ФГБОУ ВО «ВГУВТ» при выполнении курсовых и дипломных работ и разработана на кафедре «Проектирования и технологии постройки судов». Выполняет интерполяцию между теоретическими корпусами выбранных судов-прототипов и автоматически рассчитывает ординаты шпангоутов на основании введённых исходных данных. Интерфейс программы выглядит следующим образом. Выбирается тип проектируемого судна: грузовой, буксир или пассажирский (рис. 1). От выбранного типа судна зависят ограничения исходных данных. К примеру, для буксира ограничения следующие: коэффициент полноты объемного водоизмещения должен быть в диапазоне от 0,57 до 0,65, а относительная абсцисса центра величины – от минус 0,001 до 0,030.

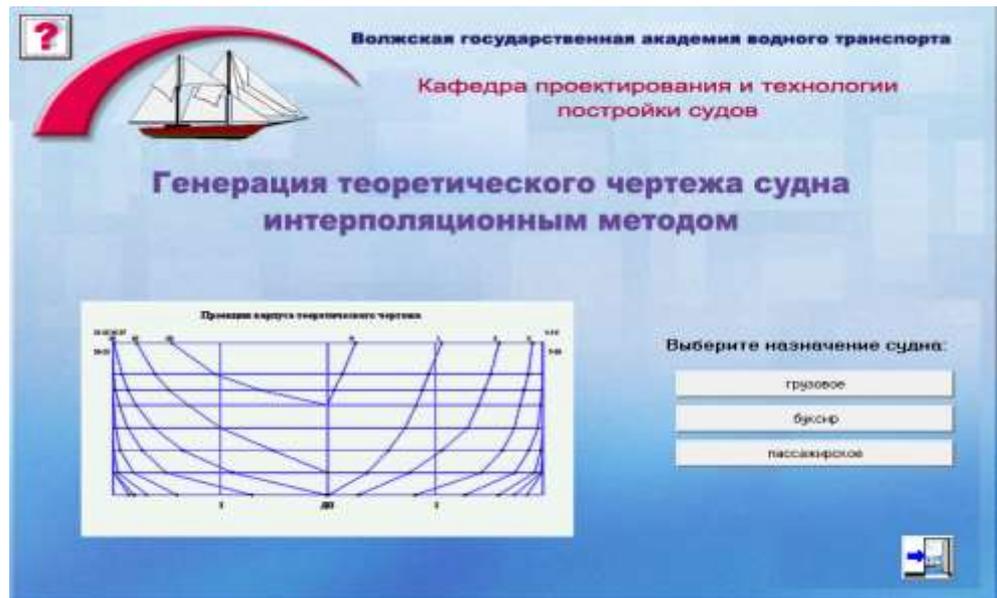


Рис. 1. Выбор типа судна

После выбора типа судна вводятся расчетные данные, характеризующие обводы корпуса (рис. 2).

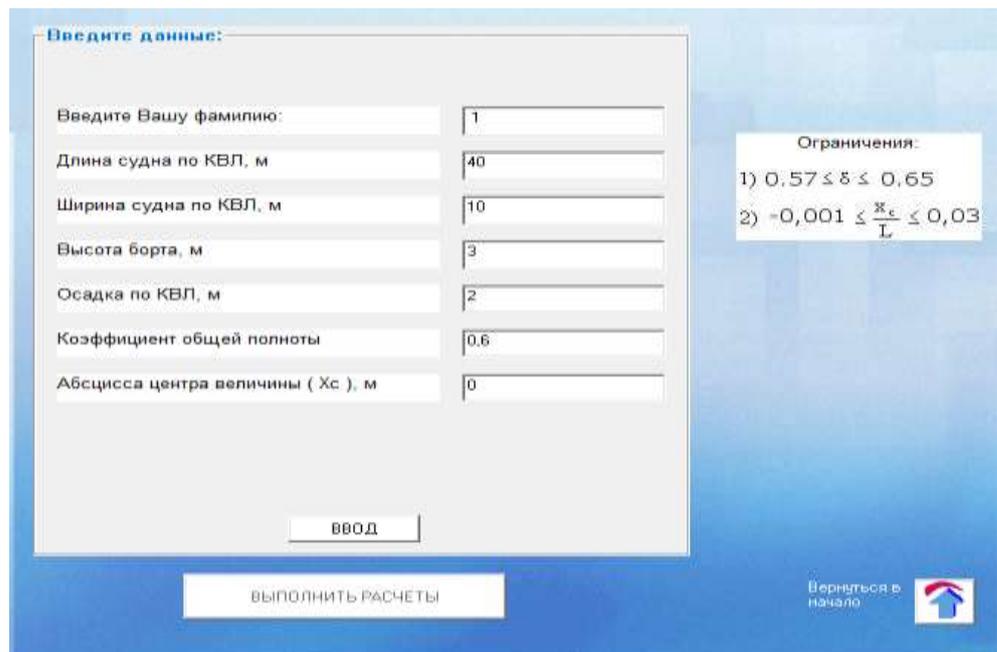


Рис. 2. Ввод расчетных данных

После ввода расчетных данных проводится расчёт, результаты которого представляются в числовой форме (рис. 3).

Исходные данные	
Длина, м	40,000
Ширина, м	10,000
Высота борта, м	3,000
Осадка, м	2,000
Кэф. общ. полноты	0,600
Абсцисса ЦВ, м	0,000

Абсциссы ватерлиний	
№ ватерлинии	Абсцисса
0	0
1	0,500
2	1,000
3	1,500
4	2,000
5	2,250
6	2,500
7	3,000

Ординаты шпангоутов								
№ шп	Номера ватерлиний							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	-	-	-	-	0	0,111	0,341	0,924
1	-	0	0,498	0,718	0,960	1,255	1,594	2,433
2	0	0,938	1,37	1,676	1,982	2,331	2,75	3,651
3	0	1,756	2,226	2,614	2,945	3,32	3,686	4,438
4	0	2,59	3,082	3,455	3,719	4,043	4,317	4,866
5	0	3,384	3,826	4,086	4,312	4,490	4,689	5,000
6	0	3,942	4,355	4,590	4,746	4,835	4,956	5,000
7	0	4,350	4,660	4,847	4,912	4,989	5,000	5,000
8	0	4,606	4,803	4,967	5,000	5,000	5,000	5,000
9	0	4,655	4,869	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
10	0	4,704	4,934	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
11	0	4,702	4,934	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
12	0	4,697	4,934	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
13	0	4,650	4,930	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
14	0	4,224	4,917	4,999	5,000	5,000	5,000	5,000
15	0	1,959	4,749	4,991	4,997	4,998	4,999	4,999
16	-	0	1,127	4,847	4,903	4,939	4,978	4,992
17	-	-	0	0,885	-	-	-	-
	-	-	-	3,207	-	-	-	-
	-	-	-	4,655	4,773	4,812	4,880	4,958
18	-	-	-	0	1,148	-	-	-
	-	-	-	-	2,621	-	-	-
	-	-	-	-	4,433	4,588	4,633	4,668
19	-	-	-	0	0,879	-	-	-
	-	-	-	-	2,869	-	-	-
	-	-	-	-	4,018	4,134	4,273	4,308
20	-	-	-	0	2,089	2,622	2,931	3,330

Рис. 3. Результаты расчёта

Для визуальной оценки результатов в программе создается рисунок с ординатами ТЧ. Пример диалогового окна с расчётными ординатами ТЧ приведён на рис. 4.

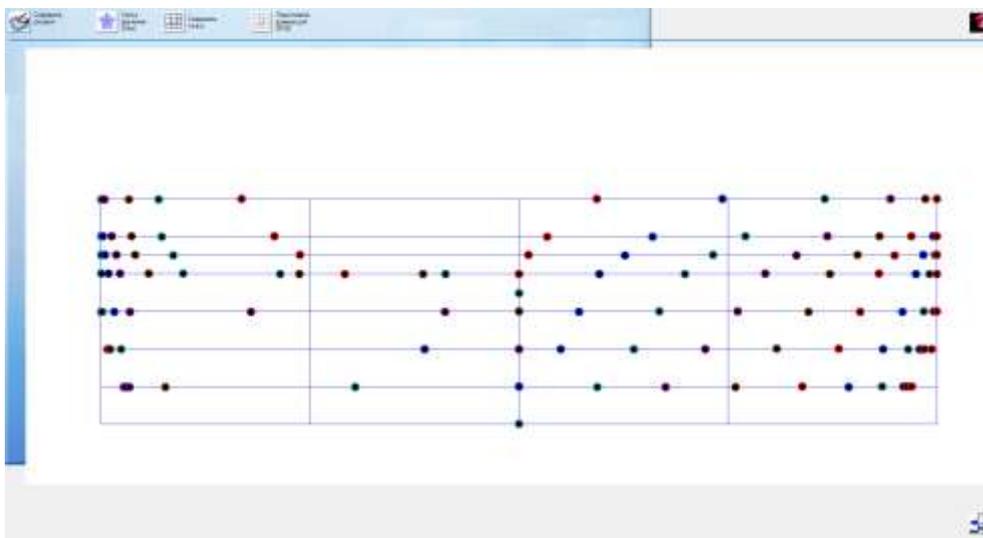


Рис. 4. Диалоговое окно с ординатами ТЧ

Ординаты ТЧ можно откорректировать по любой из ватерлиний. На рисунке 5 изображены ординаты ТЧ, соединенные отрезками.

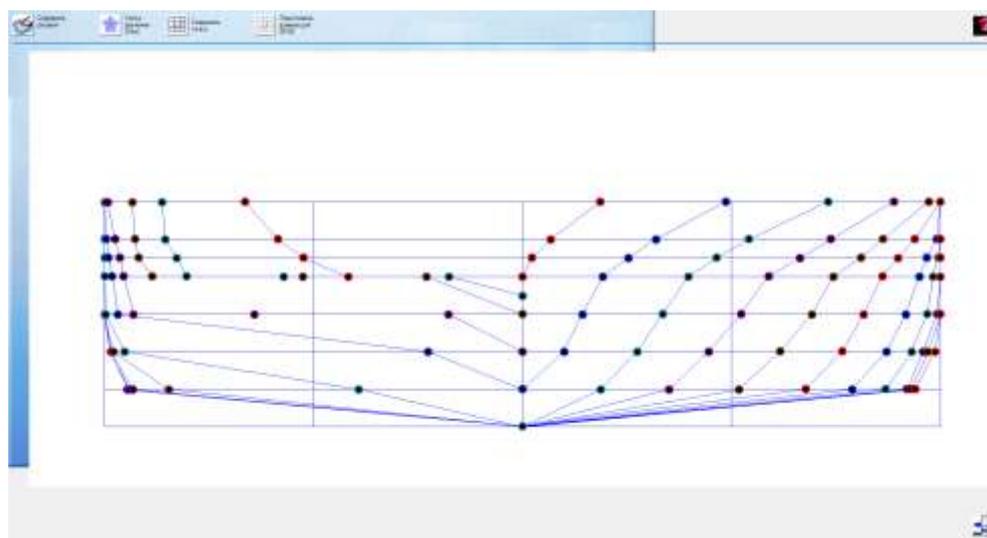


Рис. 5. Диалоговое окно для корректировки ординат ТЧ

Программа предназначена для первоначального получения ординат ТЧ, поэтому сглаживание судовых обводов не выполняется и не выполняется построение криволинейных участков шпангоутов. По этой причине на рисунке 5 в кормовой части корпуса не обрисованы туннельные обводы, но ординаты пересечения линий ТЧ с ватерлиниями отображены. На рисунке 6 приведены возможные линии туннельных обводов ТЧ.

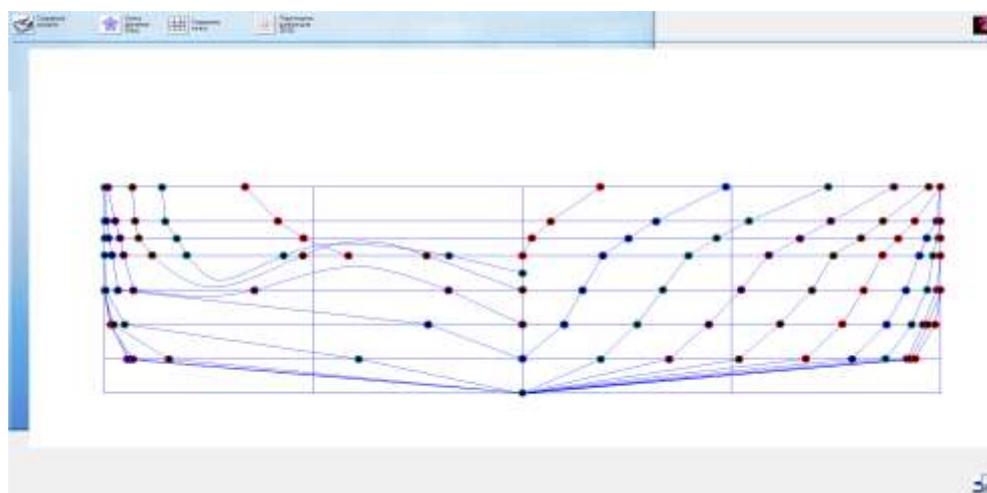


Рис. 6. Возможные линии туннельных обводов ТЧ

Для дальнейшего проектирования судна необходимо пользоваться другими программами с полным набором редактирования корпуса и возможностями расчёта статике, устойчивости и непотопляемости, ходкости и прочности.

Программа «FreeShip» и область её применения

Программа моделирует поверхность судна путём выбора количества точек (ординат) по длине и ширине судна.

Программа позволяет создавать оболочку для: корпуса, палуб, надстроек, мачт, килей и рулей судна. Также программа позволяет редактировать поверхности до любой желаемой формы и создавать развёртку поверхности судна на плоскость, что можно использовать для создания карт раскроя, проверять и редактировать плавность кривизны элементов судна. Провести простые расчёты гидростатики судна, остойчивости, элементов ТЧ и расчёт сопротивления судна.

В программе «FreeShip» процесс создания судовой поверхности выглядит следующим образом. Выбираются единицы измерения (метры, футы) и заносятся исходные данные судна: количество точек (ординат) отдельно по длине и отдельно по ширине, длина, ширина и осадка (рис. 7).

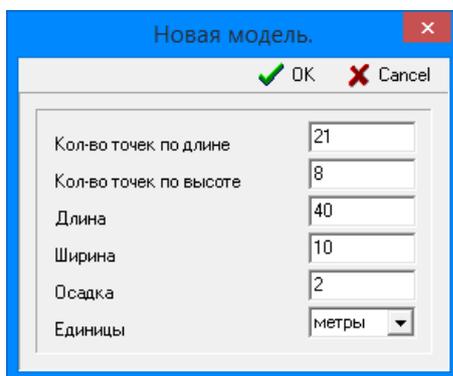


Рис. 7. Ввод данных

После ввода расчетных данных строится оболочка судна и её проекции (рис. 8).

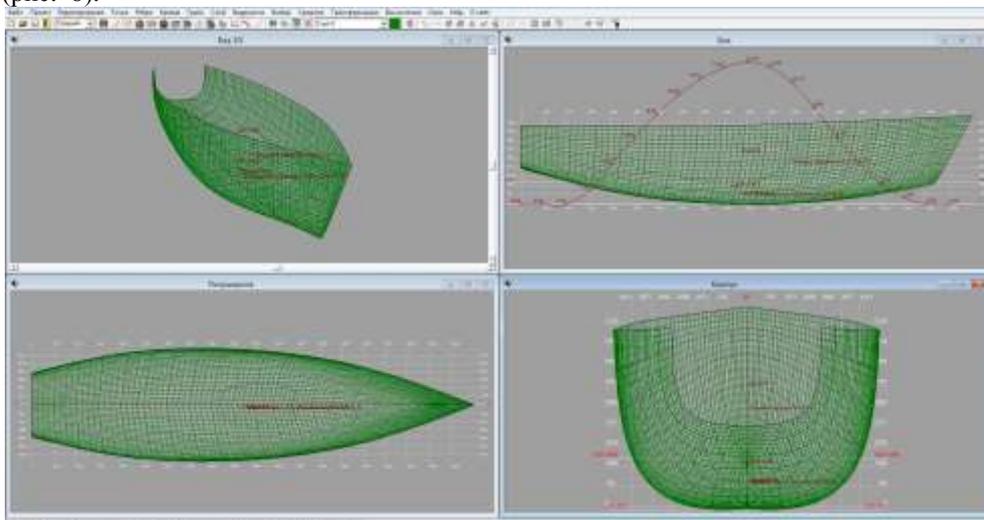


Рис. 8. Диалоговое окно с оболочкой и проекциями

Полученную оболочку можно экспортировать в виде ТЧ (рис. 9), трёхмерной модели или текста с ординатами оболочки.

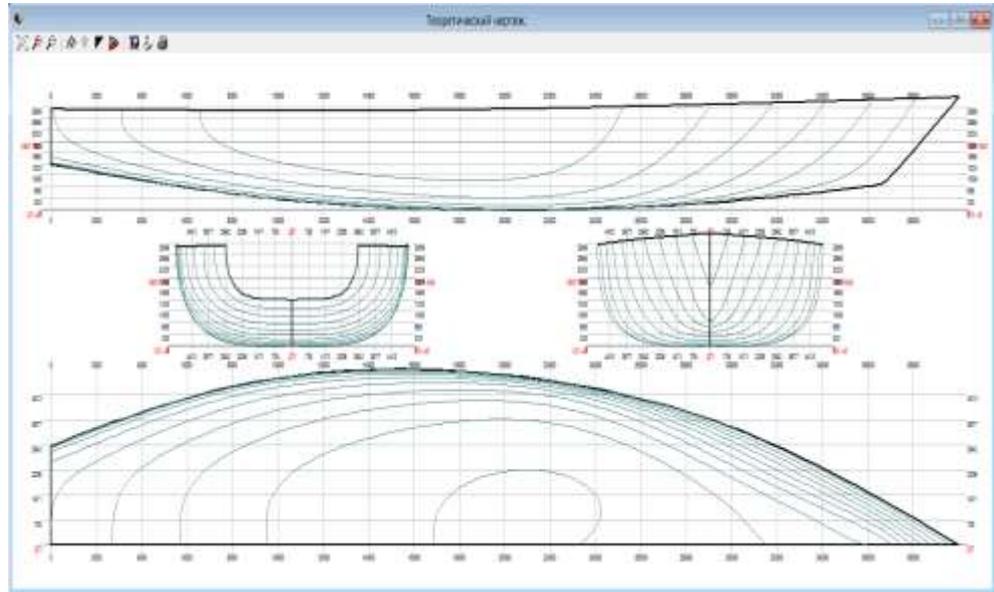


Рис. 9. Диалоговое окно с ТЧ

Программа не предусматривает создания оболочки для разных типов судов и строит универсальную. Также программа сама определяет высоту борта. Для данных из рисунка 7 высота борта получилась 7,135 м. Оболочка не имеет туннельных обводов, но построена с транцем в корме.

Как отмечалось выше, в программе предусмотрено редактирование созданной оболочки с помощью:

1. перемещения, добавления, удаления точек или граней оболочки;
2. масштабированием по осям или аффинным преобразованием.

Аффинное преобразование в программе «FreeShip»

Перед выполнением аффинного преобразования проведём масштабирование оболочки по высоте. Чтобы изменить высоту борта с 7,135 м до 3 м, такое значение было задано при построении ординат в программе «Ткорпус». После масштабирования (рис. 10), высота борта оболочки стала равна 3,001 м.

Метод аффинного преобразования ТЧ используется, чтобы изменить корпус судна и параметров, характеризующих обводы корпуса до необходимых значений [5]. Однако этот метод следует использовать при небольших корректировках корпуса, так как откорректированный корпус будет иметь другой коэффициент полноты и абсциссу центра величины.

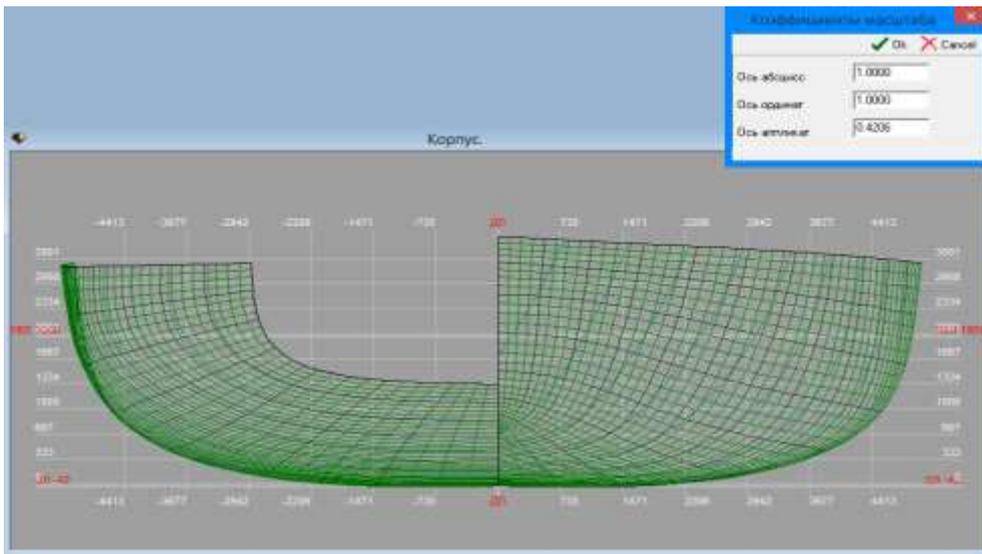


Рис. 10. Масштабирование

Диалоговое окно для работы с аффинными преобразованиями приведено на рисунке 11. В окне приведена проекция корпуса ТЧ, строевые по шпангоутам (далее СпШ) и ватерлиния проекта, число максимальных итераций и начальные параметры: весовое водоизмещение, коэффициент общей полноты и призматический коэффициент корпуса, абсцисса центра величины. Для этих параметров задаются желаемые значения, затем происходит аффинное преобразование.

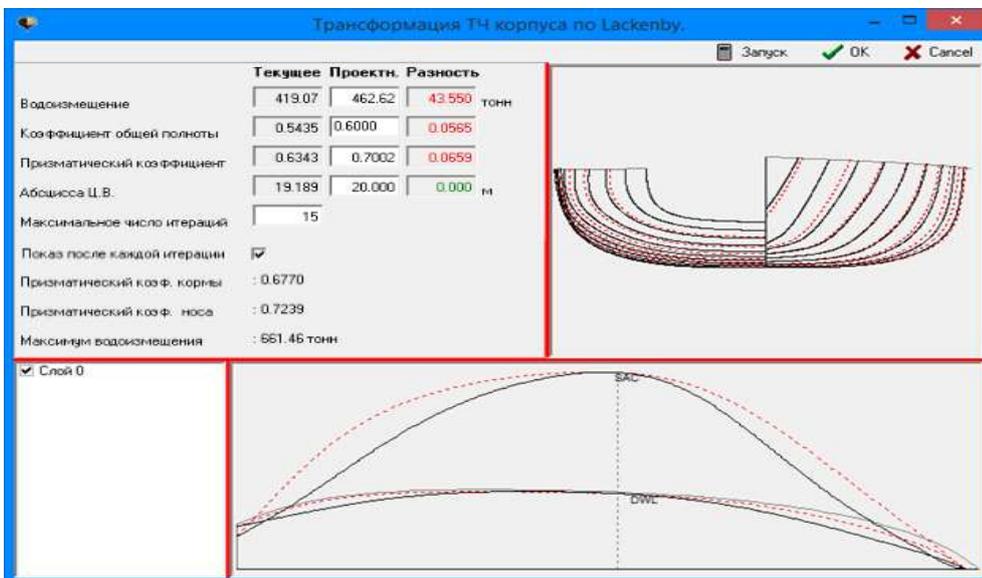


Рис. 11. Аффинное преобразование в программе «FreeShip»

У созданной оболочки коэффициент общей полноты равен 0,5435, преобразуем его до значения 0,600; такое значение было задано при построении ординат в программе «Ткорпус».

Преобразования производятся по ординатам ТЧ. В вычислении используются 82 ординаты для вычисления СпШ и гидростатики: 41 для кормовой и 41 – для носовой части корпуса.

После каждого преобразования для новых параметров строится ТЧ и СпШ. Первоначальный ТЧ отображается черным цветом, новый – красным; таким образом, пользователь видит, как изменится ТЧ после преобразований.

После аффинного преобразования также изменилось весовое водоизмещение и призматический коэффициент.

Создадим для полученной оболочки туннельные обводы перемещением точек на 20, 19, 18, 17 шпангоутах. Теоретический чертёж оболочки с туннельными обводами приведён на рисунке 12.

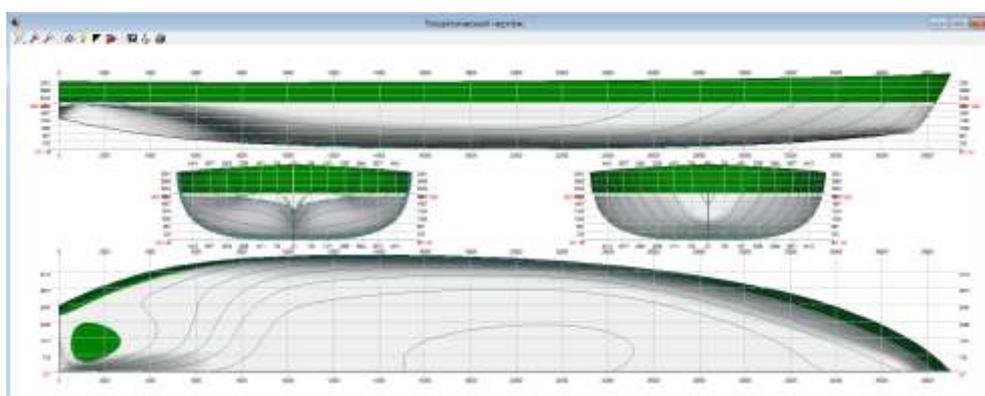


Рис.12. ТЧ из программы «FreeShip»

Сравнительный анализ создания теоретического чертежа

Таким образом, в программы «Ткорпус» и «FreeShip» вводились следующие исходные данные по проектируемому судну: тип судна – буксир; длина 40 м; ширина 10 м; высота борта 3 м; осадка 2 м; коэффициент полноты корпуса 0,600; абсцисса центра величины 0 м.

Программа «Ткорпус» строит ординаты ТЧ интерполяционным методом, учитывая тип судна и следующие введённые данные по судну. Для буксира программа строит ординаты ТЧ с туннельными обводами в корме. Представляет результаты в графическом виде и в трёх таблицах в текстовом файле (см. рис. 3). Также программа позволяет редактировать ординаты ТЧ. Программа не сглаживает ТЧ, не проводит расчёт гидростатики, элементов ТЧ, устойчивости корпуса и сопротивления при движении.

Программа «FreeShip» строит оболочку ТЧ, учитывая введённое количество точек по длине и ширине, формирующих оболочку ТЧ и следующие введённые данные по судну: длину, ширину, осадку. Программа строит универсальную оболочку, не учитывая тип судна, без туннельных обводов и с транцем в корме. Представляет оболочку в графическом виде (см. рис. 8) и может экспортировать оболочку в виде ТЧ (см. рис. 9), трёхмерной модели или текста с ординатами оболочки. Программа позволяет редактировать оболочку с помощью: перемещения, добавления, удаления

точек или граней оболочки; масштабирования по осям (см. рис. 10) или аффинным преобразованием (см. рис. 11).

Программа строит оболочку с седловатостью в носу и корме, а также сглаживает её, позволяет провести расчёты гидростатики и элементов ТЧ.

Заключение

Обе программы позволяют быстро получить ординаты ТЧ.

ТЧ из программы «Ткорпус» построен строго по заданным данным по 21-му теоретическому шпангоуту, восьми ватерлиниям и двум батоксам, имеет V-образную форму носовой оконечности, не имеет килеватости в средней части, а кормовая оконечность имеет туннельные обводы. То есть, форма ТЧ соответствует форме буксира [6], [7], но ТЧ необходимо экспортировать в специальные комплексы для дальнейшего проектирования судна.

ТЧ из программы «FreeShip» не соответствует форме буксира и построен не строго по заданным проектантом данным и не по 21-му теоретическому шпангоуту, восьми ватерлиниям и двум батоксам, а по точкам, число которых проектант задаст в исходных данных. То есть, чтобы ТЧ соответствовал форме буксира, проектант должен редактировать ТЧ на глаз, что без точного представления формы проектируемого судна будет не простым процессом, а время редактирования ТЧ а, следовательно, и работы на данном этапе проектирования судна, будет зависеть от опыта проектировщика.

Таким образом, программа «Ткорпус» представляет ординаты ТЧ более полно описывающие информацию о форме корпуса, так как ординаты ТЧ получены интерполяцией с уже спроектированных судов, которые успешно эксплуатировались, что очень важно на предварительном этапе проектирования судна. Однако программа позволяет получить ординаты ТЧ пока что только для некоторых типов судов: грузового [8], пассажирского и буксира [9].

Программы можно использовать совместно. С помощью полученных ординат ТЧ из программы «Ткорпус» и инструментария «FreeShip» (перемещение, добавление и удаление точек) придадим оболочке форму буксира: переместим точки по 21-му теоретическому шпангоуту, восьми ватерлиниям и двум батоксам; создадим туннельные обводы перемещением точек на 20, 19, 18, 17 шпангоутах; создадим V-образную форму носовой оконечности; уберём килеватость в средней части. Таким образом, форма оболочки будет наиболее полно соответствовать параметрам проектируемого судна. Полученная оболочка ТЧ приведена на рисунке 13.

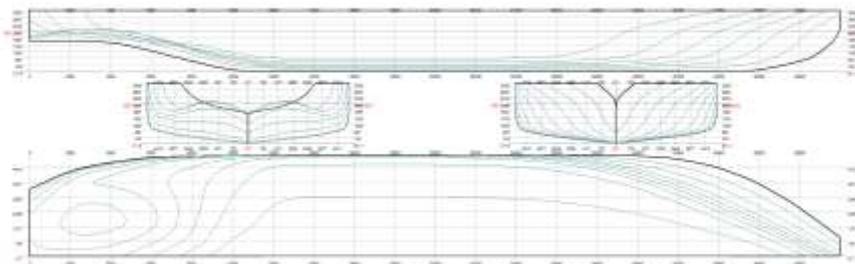


Рис. 13. Оболочка ТЧ построенная по ординатам из «Ткорпус»

Список литературы

1. J. Berg, J. Lefstrom Interpolation spaces [Interpolation spaces] Introduction, 1980, 264 p.
2. Cliff W. Estes (BaseLine Technology) [Rhinceros Advanced Training Series] Marine Design.
3. Groom D.J. Desinging curved surface with analitical functions [Computer Aided Desinging] 1977, p. 3–8.
4. David F. Rogers. [An Introduction to NURBS with Historical Perspective] Morgan Kaufmann P. 2001.
5. Kagan V. F. [Fundamentals of the theory of surfaces in tensor presentation] 2013. – 518 p.
6. Богданов Б.В., Слуцкий А.В. и др. Буксирные суда. – Л.: Судостроение, 1974. – 280 с.
7. Ашик В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1985. – 318 с.
8. Давыдова С. В. Автоматизация генерации ординат теоретического чертежа интерполяционным методом / Вестник ВГАВТ. 2018. №56. 217 – с. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v56.pdf. (дата обращения 22.05.2022).
9. Давыдова С. В., Андриянов И. В. Анализ расчетов при создании теоретического чертежа буксира интерполяционным методом / Вестник ВГАВТ. 2021. №67. DOI: 10.37890/jwt.vi67.191.

References

1. J. Berg, J. Lefstrom Interpolation spaces [Interpolation spaces], Introduction, 1980, 264 p.
2. Cliff W. Estes (BaseLine Technology) [Rhinceros Advanced Training Series], Marine Design.
3. Groom D.J. Desinging curved surface with analitical functions [Computer Aided Desinging], 1977, p. 3–8.
4. David F. Rogers. [An Introduction to NURBS with Historical Perspective], Morgan Kaufmann P. 2001.
5. Kagan V. F. [Fundamentals of the theory of surfaces in tensor presentation], 2013. – 518 p.
6. Bogdanov B.V., Slutski A.V. i dr. Buksirnye suda [Towing vessel], – L.: Sudostroenie, 1974. – 280 p.
7. Ashik V.V. Proektirovanie sudov [Ship design], V.V. Ashik – 2-e izd., pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1985. – 318 p.
8. Davydova S. V. Avtomatizatsiya generatsii ordinat teoreticheskogo chertezha interpolyatsionnym metodom [Automation of generation of ordinates of a theoretical drawing by the interpolation method], Vestnik VGAVT [Vestnik VGAVT]. 2018. No. 56, pp. 37–41.
9. Davydova S. V., Andriyanov I. V. Analiz raschetov pri sozdanii teoreticheskogo chertezha buksira interpolyatsionnym metodom [Analysis of calculations when creating a theoretical drawing of a tugboat by interpolation method], Vestnik VGAVT [Vestnik VGAVT]. 2021. No. 67, pp. 24–32. DOI: 10.37890/jwt.vi67.191.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Давыдова Светлана Викторовна, к.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

Мочалов Константин Павлович, магистрант кафедры «Проектирования и технологии постройки судов», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

Svetlana V. Davydova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950, e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

Konstantin P. Mochalov, student of the Department of «Design and shipbuilding technology», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

УДК: 629.123

DOI: 10.37890/jwt.vi72.273

Анализ главных размерений и характеристик рыболовных судов

О.Э. Суров^{1,2}

М.В. Китаев^{1,2}

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

Е.Е. Соловьева²

Д.В. Тюфтяев¹

В.А. Веселов¹

¹*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
г. Владивосток, Россия*

²*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*

Аннотация. Рыболовные суда являются одним из наиболее многочисленных и востребованных типов судов промыслового флота Российской Федерации. Важную роль промысловые суда занимают при обеспечении продовольственной безопасности страны, способствуют занятости населения в областях добычи и переработки морских биоресурсов, проектировании, постройке, эксплуатации, ремонте и модернизации судов. Существующие суда рыбопромыслового флота РФ во многом морально и физически устарели. Средний возраст данного типа судов составляет 30-35 лет, что оказывает существенное влияние на продолжительность и периодичность ремонтов и снижает их технико-экономические показатели. В связи с этим становится вопрос о пополнении рыболовного флота новыми типами судов с использованием совершенных методик их проектирования. Разработка математических моделей рыболовных судов позволяет на начальных этапах их проектирования выполнять сравнительный детальный анализ их экономической эффективности в заданных условиях эксплуатации. Для разработки таких моделей, прежде всего, необходимы аналитические зависимости, связывающие их главные размерения и основные проектные характеристики, указанные в задании на проектирование. В настоящей статье приводятся результаты анализа главных размерений и основных характеристик рыболовных судов, имеющих класс Российского морского регистра судоходства (РМРС). Исходным источником информации являлась Регистровая книга судов в актуальной редакции (2022 г.), в которой содержатся сведения о морских самоходных судах валовой вместимостью 100 и более тонн, имеющих класс РМРС. Всего в исследовании проанализировано более тысячи рыбопромысловых судов с разными размерениями и характеристиками. В результате проведенного исследования выполнен анализ состава рыболовного флота по возрасту, степени автоматизации и месту постройки, ледовому классу и другим характеристикам. На основе методов статистического анализа выявлены закономерности и получены аналитические зависимости, связывающие главные размерения рыболовных судов с их характеристиками. Полученные аналитические зависимости и выявленные закономерности могут использоваться на начальных этапах проектирования при разработке математических моделей рыболовных судов.

Ключевые слова: рыболовные суда, главные размерения, характеристики, статистический анализ, регистровая книга судов

Analysis of main dimensions and characteristics of fishing vessels

Oleg E. Surov^{1,2}

Maksim V. Kitaev^{1,2}

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

Ekaterina E. Solovieva¹

Dmitry V. Tyuftyaev²

Vitaly A. Veselov²

¹*Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia*

²*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

Abstract. Fishing vessels are one of the most numerous and popular types of vessels of Russian fishing fleet. Fishing vessels provide food security of the country and contribute to the employment in fishing and processing industry of marine biological resources, design, construction, operation, repair and modernization of fishery vessels. The existing fishing vessels of Russian Federation are largely morally and physically outdated. The average age of this type of vessels is 30-35 years, which influences greatly on the duration and frequency of repairs and reduces their technical and economic performances. In this regard, the question of fishing fleet replenishing with new types of vessels using advanced methods for their design arises. The development of mathematical models of fishing vessels allows, at the initial stages of their design, to perform the detailed analysis of their economic efficiency under given operating conditions. To develop such models, first of all, analytical dependencies are needed that connect their main dimensions and the main design characteristics specified in the design task. This article presents the analysis results of the main dimensions and main characteristics of fishing vessels that have the class of the Russian Maritime Register of Shipping (RMRS). The initial source of information was the Register of Vessels in the current version (2022), which contains information about sea-going self-propelled ships with a gross tonnage of 100 tons and more, having a class of RMRS. In total, the study has analyzed more than a thousand fishing vessels with different dimensions and characteristics. As a result of the study, the analysis of the composition of the fishing fleet by age, degree of automation and place of construction, ice class and other characteristics was made. Based on the methods of statistical analysis, regularities were revealed and analytical dependencies were obtained that connect the main dimensions of fishing vessels with their characteristics. The obtained analytical dependencies and the revealed patterns can be used at the initial design stages in the development of mathematical models of fishing vessels.

Keywords: fishing vessels, main dimensions, characteristics, statistical analysis, register book of the vessels

Введение

Согласно данным отраслевой системы мониторинга общий объем добычи водных биоресурсов в России по состоянию на 21 марта 2022 г. составил 1140,09 тыс. тонн, что на 34,75 тыс. тонн или на 3,1% больше уровня 2021 года [1].

Исходя из анализа данных Регистровой книги судов РМРС [2] к 2030 году находящиеся в настоящее время в эксплуатации рыбопромысловые суда достигнут среднего возраста 40 лет. Согласно требованиям Правил РМРС при проектировании нормативный срок службы принимают равным 25 годам [3]. Т.е. в настоящее время большая часть судов эксплуатируется на пределе или с превышением нормативного срока службы, принятого при их проектировании.

В состав российского рыболовного флота входят суда как отечественной, так и зарубежной постройки [2]. Обслуживание и ремонт последних в условиях санкций представляет определенные проблемы, связанные с поставкой ЗИП, комплектующих

и вспомогательного оборудования. Таким образом, проблема пополнения и обновления отечественного рыболовного флота является актуальной. Ее решение требует комплексного подхода, основанного на развитии и совершенствовании методов проектирования, постройки и эксплуатации судов.

Комплекс мероприятий, направленных на решение указанной проблемы, приведен в стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года [4], в которой, в том числе, для каждого рыбохозяйственного бассейна РФ и различных видов биоресурсов указаны перспективные виды добывающих судов.

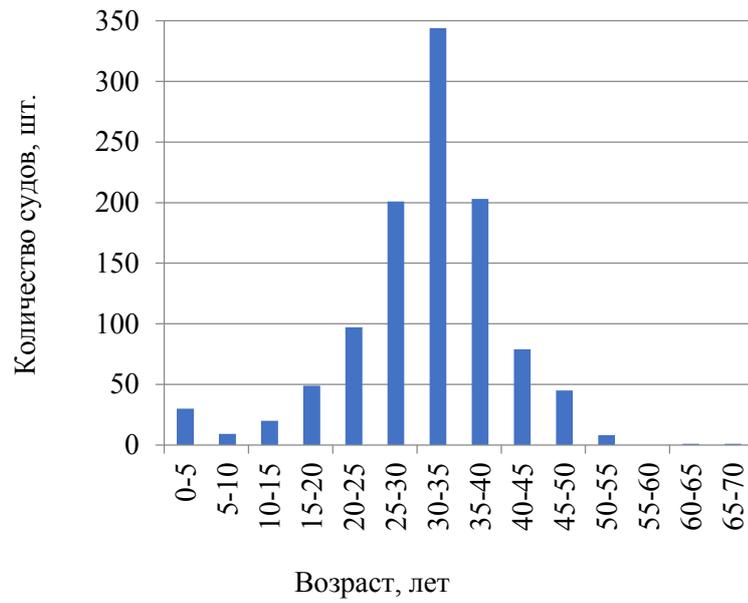
В исследовании рассматривались только рыболовные суда с валовой вместимостью 100 и более тонн, имеющие класс РМРС. Объем выборки – 1080 судов. Для оценки структуры и количественного состава отечественного рыболовного флота необходимо провести детальный анализ существующих судов и оценить их возраст, степень автоматизации, ледовый класс, район плавания, регион приписки и др.

Следующим этапом исследования является выявление закономерностей и построение аналитических зависимостей, отражающих взаимосвязь основных проектных характеристик и главных размерений, а также их безразмерных соотношений [5 - 7]. Как правило, такие зависимости составляют основу математических моделей, направленных на поиск оптимальных, с экономической точки зрения, судов [8, 9]. Теоретические и практические аспекты разработки и использования подобных моделей на начальных этапах проектирования рыболовных судов приведены в работах [10].

Анализ состава и структуры рыболовного флота

Выборка, использованная для анализа главных размерений и характеристик рыболовных судов, основана на данных, приведенных в Регистровой книге [1], и включает (объединяет без указания назначения конкретного судна) информацию по судам следующих типов: краболовы, рыболовные боты, сейнеры-траулеры, сейнеры, траулеры и ярусоловы. Возрастной состав и распределение судов по водоизмещению показаны на рис. 1.

а



б

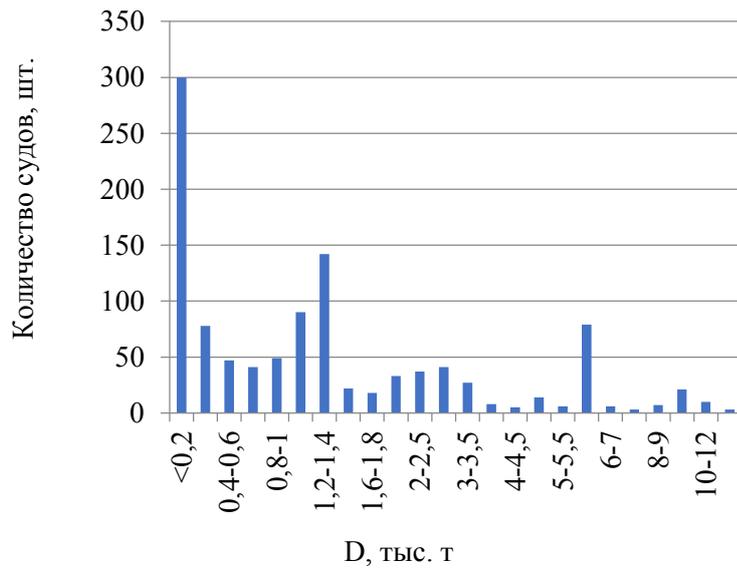


Рис. 1. Гистограммы распределения анализируемых судов по:
а – возрасту; б – водоизмещению

Из представленных диаграмм видно, что в настоящий момент времени средний возраст судов, находящихся в эксплуатации составляет 30 – 35 лет. Наиболее многочисленными являются суда с водоизмещением до 200 тонн.

Распределение рыболовных судов по ледовым классам (по правилам РМРС [1]) и вместимости в рамках каждого ледового класса показано на рис. 2, а по районам плавания – на рис. 3.

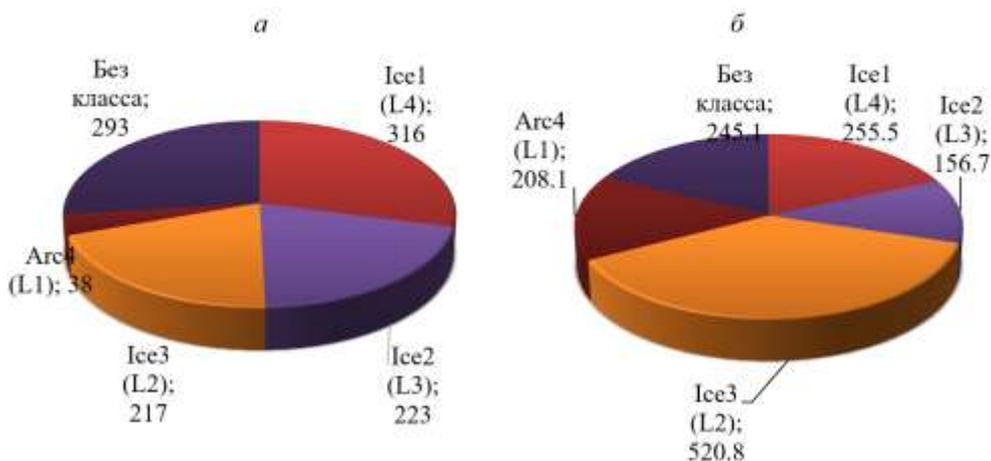


Рис. 2. Распределение рыболовных судов по ледовым классам:
а - количество, шт.; б – суммарная валовая вместимость в тыс. тонн

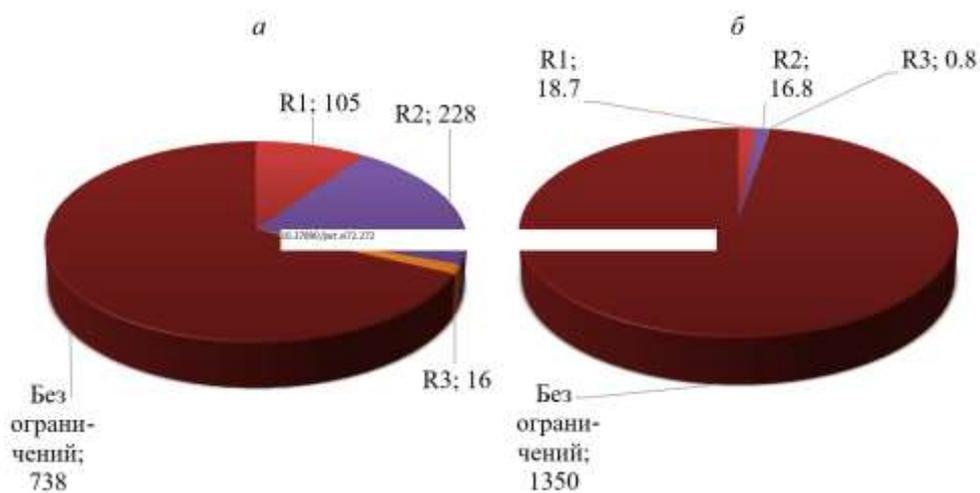


Рис. 3. Распределение рыболовных судов по районам плавания:
а - количество, шт.; б – суммарная валовая вместимость в тыс. тонн

Из анализа вышеприведенных диаграмм видно, что наиболее многочисленной группой являются суда с ледовым классом Ice1, на втором месте – суда без ледового класса, что вполне согласуется с данными, приведенными на рис. 1б (наиболее многочисленная группа судов имеет водоизмещение до 200 тонн).

Распределение судов по степени автоматизации показано на рис. 4, а по регионам приписки – на рис. 5.

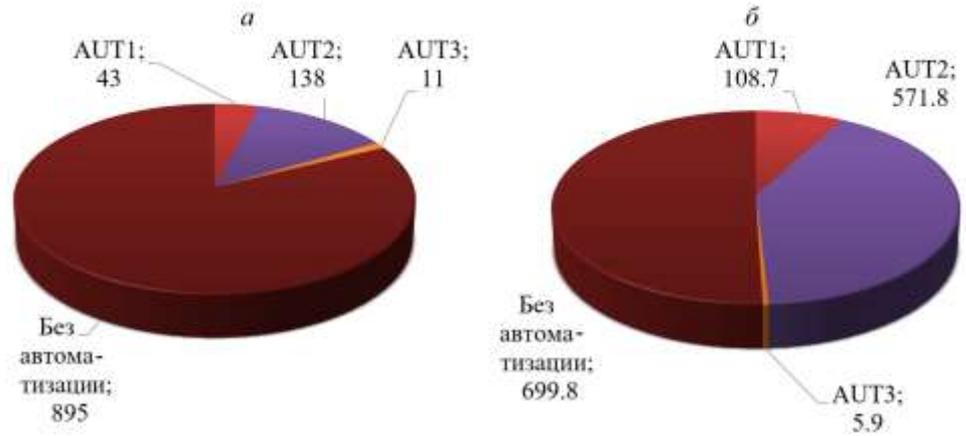


Рис. 4. Распределение рыболовных судов по степени автоматизации: а - количество, шт.; б – суммарная валовая вместимость в тыс. тонн

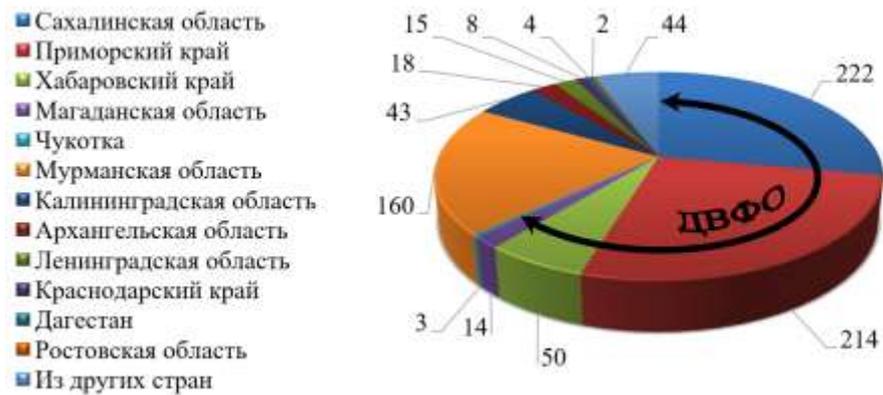


Рис. 5. Распределение рыболовных судов по региону приписки

Из диаграмм, представленных на рис. 4, 5, видно, что большая часть рыбопромысловых судов зарегистрирована в Дальневосточном федеральном округе РФ (ДФО), занимающем территорию Дальнего Востока России и Восточной Сибири.

Распределение валовой вместимости судов с учетом региона приписки показано на рис. 6, а страны их постройки на рис. 7.

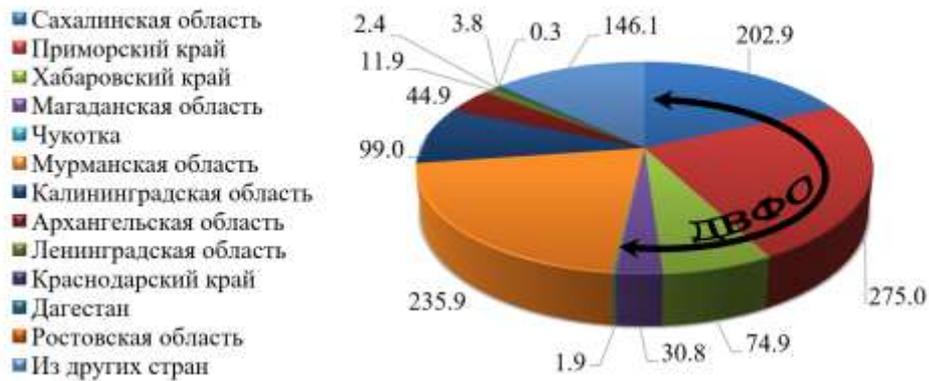


Рис. 6. Валовая вместимость рыболовных судов с учетом региона приписки

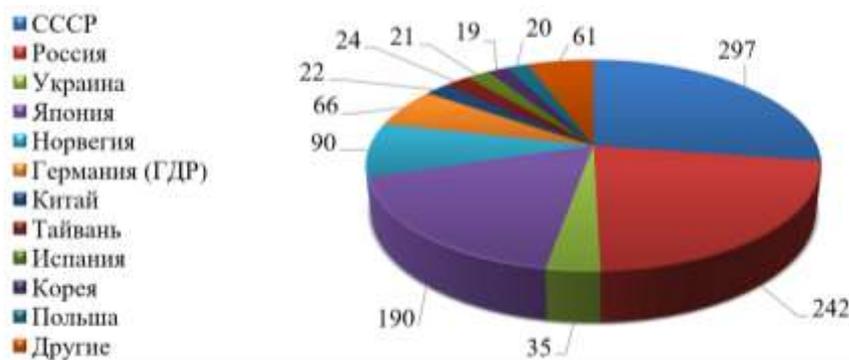


Рис. 7. Распределение рыболовных судов по странам постройки

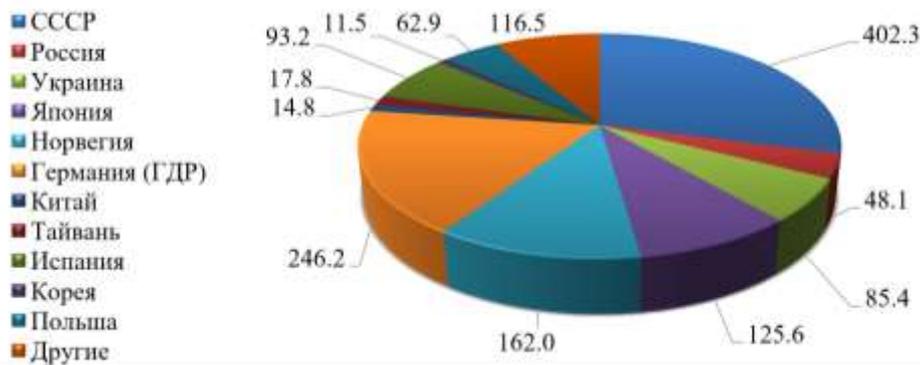


Рис. 8. Распределение рыболовных судов по валовой вместимости с учетом страны постройки

Из анализа вышеприведенных диаграмм видно, что большая часть судов, находящихся в эксплуатации, построена в СССР, РФ и Японии.

Анализ соотношения главных размерений и основных характеристик судов

Соотношения главных размерений и их зависимость от основных характеристик рыболовных судов показаны на рис. 9 – 14. На графиках приведены аналитические зависимости, указаны диапазоны их применения и доверительные интервалы.

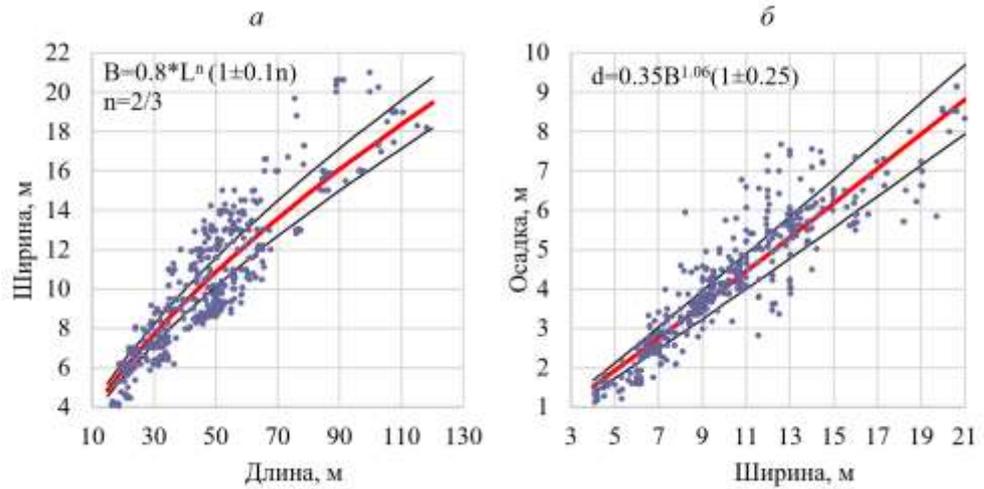


Рис. 9. Зависимость главных размерений: а – ширины от длины; б – осадки от ширины

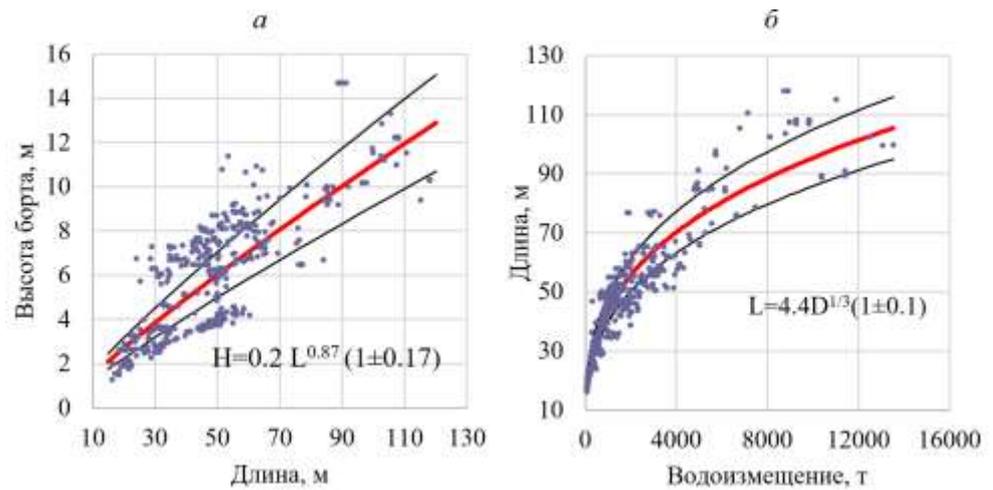


Рис. 10. Зависимость главных размерений: а – высоты борта от длины; б – длины от водоизмещения

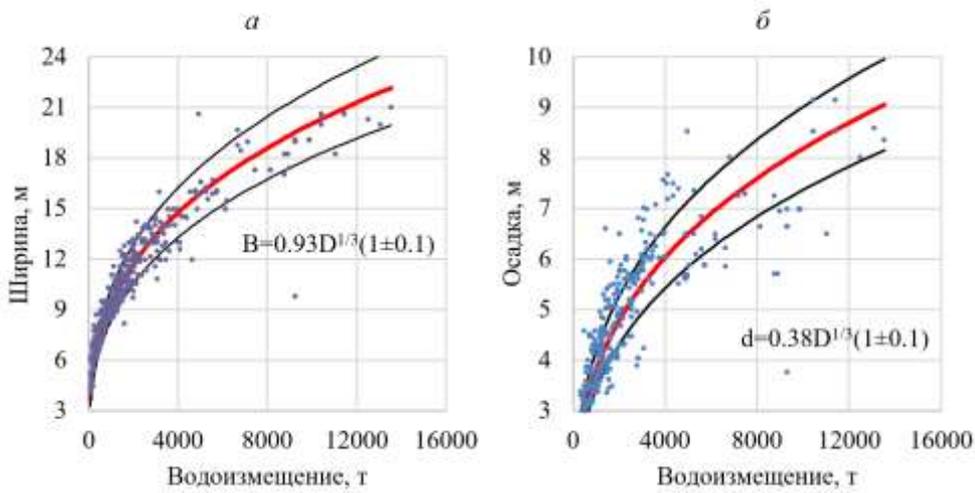


Рис. 11. Зависимость главных размерений:
а – ширины от водоизмещения; б – осадки от водоизмещения

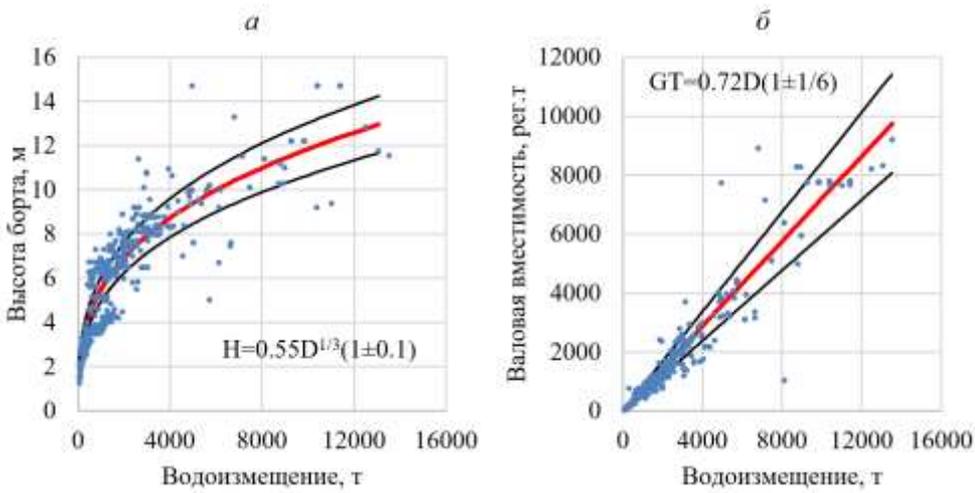


Рис. 12. Зависимость главных размерений:
а – высоты борта от длины; б – длины от водоизмещения

Валовая вместимость судов (GT) (см. рис. 12 б) согласно Конвенции [11] определяется по следующей формуле:

$$GT = K \cdot V \quad (1)$$

где V — общий объем всех закрытых пространств на судне в кубических метрах.

Значение коэффициента K рассчитывается по формуле:

$$K = 0,20 + 0,02 \cdot \lg(V) \quad (2)$$

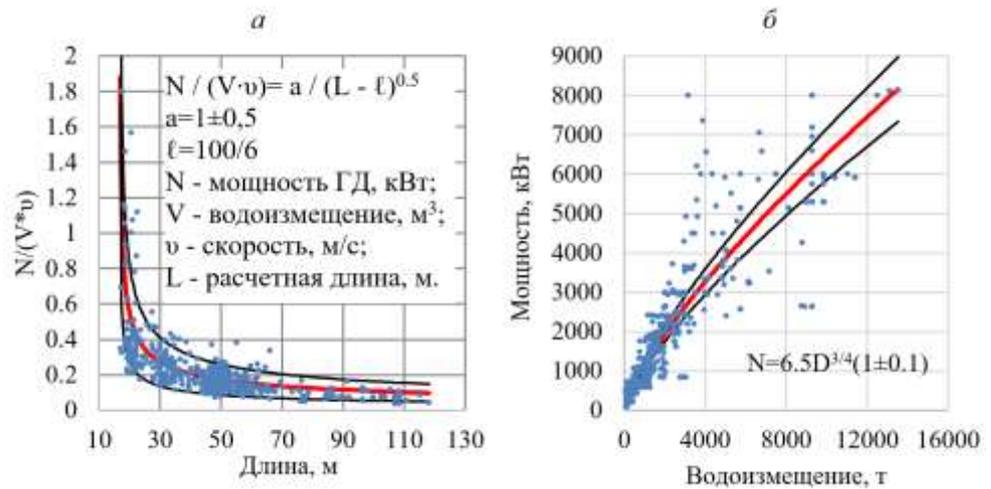


Рис. 13. Зависимость характеристик судов:
 а – энерговооруженности от длины; б – мощности от водоизмещения

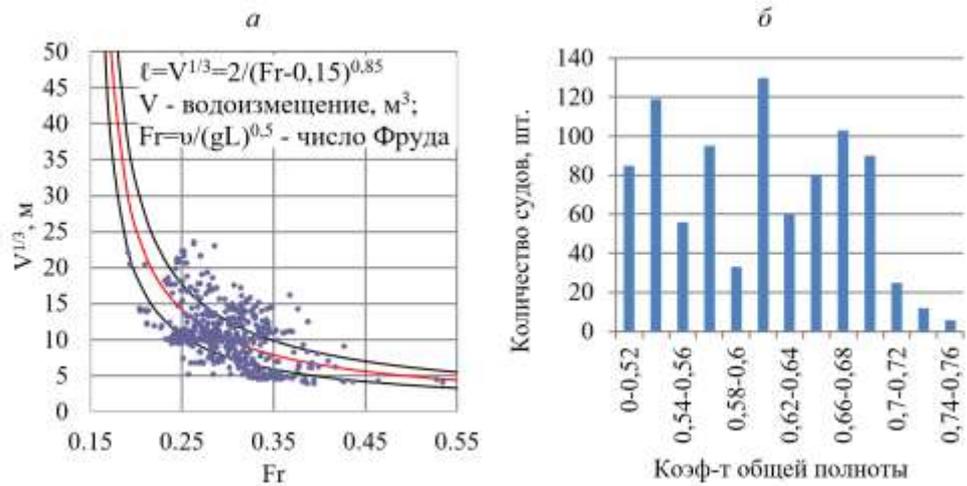


Рис. 14. Зависимость характеристик судов:
 а – относительной длины от числа Фруда;
 б – диапазоны изменения коэффициентов общей полноты анализируемых судов

В результате проведенного статистического анализа рыболовных судов, находящихся в эксплуатации и имеющих класс РМРС, получены формулы, определяющие общие закономерности и зависимости главных размерений от основных проектных характеристик:

$$B = (0,8 \pm 0,050) L^{2/3} \quad (3)$$

$$d = (0,35 \pm 0,088) B^{1,06} \quad (4)$$

$$H = (0,2 \pm 0,035) L^{0,87} \quad (5)$$

$$L = (4,4 \pm 0,050) D^{1/3} \quad (6)$$

$$B=(0,93\pm 0,090) D^{1/3} \quad (7)$$

$$d=(0,38\pm 0,035) D^{1/3} \quad (8)$$

$$H=(0,55\pm 0,055) D^{1/3} \quad (9)$$

$$GT=(0,72\pm 0,100) D \quad (10)$$

$$N/(V \cdot v) = a / (L - \ell_c)^{0,5}, \quad (11)$$

где $a = 1 \pm 0,5$; $\ell_c = 100/6$; N - мощность ГД, кВт; V - водоизмещение судна, м³

$$N=(6,5\pm 0,650) D^{3/4} \quad (12)$$

$$\ell = V^{1/3} = 2 / (Fr - 0,15)^{0,85}, \quad (13)$$

где $Fr = v / (gL)^{0,5}$ - число Фруда.

Заключение

В статье представлены результаты анализа главных размерений и основных характеристик рыболовных судов, имеющих класс РМРС. На основе методов статистического анализа выявлены закономерности и получены аналитические зависимости, связывающие главные размерения с их характеристиками, которые могут использоваться на начальных этапах проектирования при разработке математических моделей рыболовных судов.

В результате проведенного анализа выявлены следующие факты и закономерности:

- средний возраст рыболовных судов, находящихся в эксплуатации составляет 30 – 35 лет;
- наиболее многочисленными являются суда водоизмещением до 200 тонн;
- большая часть рассматриваемых в исследовании судов имеет ледовые категории Ice 1 - Ice 3 (при этом большая часть (суда малого водоизмещения – до 200 тонн) не имеют ледовых усилений вовсе).
- основное количество рыбопромысловых судов, находящихся в эксплуатации, зарегистрировано в Дальневосточном федеральном округе РФ;
- более половины судов построены в СССР, РФ и Японии.

Работа выполнена согласно тематическому плану прикладных научных исследований, проводимых в 2022 году федеральными государственными бюджетными образовательными учреждениями высшего образования, подведомственными Росрыболовству, в рамках государственного задания на выполнение государственных работ (НИР № 817/2022 «Оценка влияния формы корпуса и распределения груза на качку, волновые изгибающие моменты и продольную прочность морских рыболовецких судов»).

Список литературы

1. Российский морской регистр судоходства. URL: <http://www.rs-class.org> (дата обращения: 13.05.2022).
2. Федеральное Агентство по Рыболовству. URL: <https://fish.gov.ru> (дата обращения: 13.05.2022).
3. Правила классификации и постройки морских судов. Часть II Корпус. СПб.: ФАУ «Российский морской регистр судоходства», 2022. 337 с.

4. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. – М.: ФГБНУ «Роиформагротех», 2019. 68 с.
5. Едророва В.Н. Общая теория статистики /В.Н. Едророва, М.В. Едророва. - М.: ЮРИСТЪ, 2017. 511 с.
6. Мойзес Б.Б. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных /Б.Б. Мойзес, И.В. Плотникова, Л.А. Редько. - М.: Юрайт, 2019. 118 с.
7. Дятченко С.В. Определение основных элементов и характеристик средних рыболовных траулеров на начальных этапах проектирования/ С. В. Дятченко, Н. Х. Лыонг // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Морская техника и технология, № 1, 2009, с. 38-43.
8. Иванов, В.П. Техничко-экономические основы создания рыболовных судов: учебник / В.П. Иванов – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2010. 275 с.
9. Войлошников М.В. Морские ресурсы и техника: эффективность, стоимость, оптимальность/М.В. Войлошников. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2002. 587с.
10. Раков, А.И. Проектирование промысловых судов / А.И. Раков, Н.Б. Севастьянов. – Ленинград: Судостроение, 1981. 376 с.
11. Международная Конвенция по обмеру судов 1969 г. (КОС-69). - СПб.: ЦНИИМФ, 2000. 79 с.

References

1. “Rossijskij morskoy registr sudoxodstva” (Russian Maritime Register of Shipping). URL: <http://www.rs-class.org> (data obrashheniya: 13.05.2022).
2. “Federal’noe Agentstvo Po Ry’bolovstvu” (Federal Agency for Fishery (Russia)). URL: <https://fish.gov.ru> (data obrashheniya: 13.05.2022).
3. “Pravila klassifikacii i postrojki morskix sudov. Chast` II Korpus”. (Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships, Part II Hull) SPb.: FAU «Rossijskij morskoy registr sudoxodstva», 2022. 337 p.
4. “Strategiya razvitiya ry`boxozyajstvennogo kompleksa Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda” (Strategy for the development of the fishery complex of the Russian Federation for the period up to 2030). – М.: FGBNU «Roinformagrotex», 2019. 68 p.
5. Edronova V.N. “Obshchaya teoriya statistiki” (General theory of statistics) /V.N. Edronova, M.V. Edronova. - М.: YURIST", 2017. 511 p.
6. Mojzes B.B. “Statisticheskie metody kontrolya kachestva i obrabotka eksperimental'nyh dannyh” (Statistical methods of quality control and processing of experimental data) /B.B. Mojzes, I.V. Plotnikova, L.A. Red'ko. - М.: YUrajt, 2019. 118 p.
7. Dyatchenko S.V. “Opredelenie osnovnyh elementov i harakteristik srednih rybolovnyh traulerov na nachal'nyh etapah proektirovaniya” (Determination of the main elements and characteristics of medium-sized fishing trawlers at the initial stages of design) / S.V. Dyatchenko, N. H. Lyong // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya, № 1, 2009, pp. 38-43.
8. Ivanov V.P. “Tekhniko-ekonomicheskie osnovy sozdaniya rybolovnykh sudov”: uchebnik (Technical and economic basis for the creation of fishing vessels: a textbook). Kaliningrad, izd-vo BGARF, 210. 275 p.
9. Vojloshnikov M.V. “Morskie resursy i tekhnika: effektivnost', stoimost', optimal'nost'” (Marine resources and technology: efficiency, cost, optimality) /M.V. Vojloshnikov. - Vladivostok: Izd-vo DVG TU, 2002. 587 p.
10. Rakov A. I., “Sevast'yanov N. B. Proektirovanie promyslovykh sudov” (Design of fishing vessels). L., Sudostroenie, 1981. 376 p.

11. “Mezhdunarodnaya Konvenciya po obmeru sudov 1969 goda” (International Convention on the measurement of ships 1969 year). (KOS-69). - SPb.: CzNIIMF, 2000. 79 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Суров Олег Эдуардович, к.т.н., старший научный сотрудник научного управления, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, д. 52 Б; к.т.н., доцент Департамента морской техники и транспорта, Дальневосточный федеральный университет, 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, e-mail: surov-oe@rambler.ru

Китаев Максим Владимирович, к.т.н., старший научный сотрудник научного управления, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, д. 52 Б; к.т.н., доцент Департамента морской техники и транспорта, Дальневосточный федеральный университет, 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, e-mail: maxkit@mail.ru

Соловьева Екатерина Евгеньевна, младший научный сотрудник научного управления научного управления, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, д. 52 Б, e-mail: pillers@mail.ru

Веселов Виталий Алексеевич, аспирант Департамента морской техники и транспорта, Дальневосточный федеральный университет, 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, e-mail: veselov.va@dvfu.ru

Тюфтяев Дмитрий Васильевич, студент Департамента морской техники и транспорта, Дальневосточный федеральный университет, 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, e-mail: tyuftyaev.dv@students.dvfu.ru

Oleg E. Surov, PhD of Engineering senior researcher of scientific department, Far Eastern State Technical Fisheries University 690087, Vladivostok, st. Lugovaya, d. 52 B, PhD of Engineering, Associate professor of the Department of Marine Engineering and Transport, Far Eastern Federal University, 690922, Vladivostok, Russkiy, Ayaks, 10

Maksim V. Kitaev, PhD of Engineering senior researcher of scientific department, Far Eastern State Technical Fisheries University 690087, Vladivostok, st. Lugovaya, d. 52 B, PhD of Engineering, Associate professor of the Department of Marine Engineering and Transport, Far Eastern Federal University, 690922, Vladivostok, Russkiy, Ayaks, 10

Ekaterina E. Solovieva, junior researcher of scientific department, Far Eastern State Technical Fisheries University 690087, Vladivostok, st. Lugovaya, d. 52 B

Vitaly A. Veselov, postgraduate student of the Department of Marine Engineering and Transport, Far Eastern Federal University, 690922, Vladivostok, Russkiy, Ayaks, 10

Dmitry V. Tyuftyaev, student of the Department of Marine Engineering and Transport, Far Eastern Federal University, 690922, Vladivostok, Russkiy, Ayaks, 10

Статья поступила в редакцию 20.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022.

Received 20.05.2022; published online 20.09.2022.

УДК 532.5

DOI: 10.37890/jwt.vi72.272

Исследование гидродинамики выступающих частей маломерного судна численными методами

Е.Ю. Чебан¹

<https://orcid.org/0000-0002-0983-9879>

О.В. Мартемьянова¹

<https://orcid.org/0000-0001-9013-8510>

А.И. Кожевников¹

<https://orcid.org/0000-0002-9803-9936>

А.А. Мольков²

<https://orcid.org/0000-0002-8550-2418>

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

²*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В работе выполнено исследование гидродинамики маломерного тримарана с выступающими частями в виде профилографа течений ADCP численными методами. Численное моделирование выполнялось в пакете FineMarine™ для тримарана без установленного профилографа, а также для двух вариантов крепления в различных точках расположения по длине судна и по глубине в диапазоне числе Фруда для судна 0,19 - 0,316. Получено, что крепление прибора в шахте в форме параллелепипеда оказывает большее влияние на сопротивление и момент M_y . При повышении скорости площадь смоченной поверхности для «свободного» крепления изменяется не сильно, но для крепления «в шахте» характер волновой поверхности изменяется весьма существенно, что приводит к перераспределению силы поддержания по длине судна.

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика, CFD, тримаран, ADCP, корабельные волны, интерференция волн, NUMECA FINE/Marine™, выступающие части

Study of boat's appendages hydrodynamics by numerical methods

Egor Yu. Cheban¹

<https://orcid.org/0000-0002-0983-9879>

Olga V. Martemianova¹

<https://orcid.org/0000-0001-9013-8510>

Artur I. Kozhevnikov¹

<https://orcid.org/0000-0002-9803-9936>

Alexandr A. Mol'kov²

<https://orcid.org/0000-0002-8550-2418>

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

²*Institute of applied physics of the Russian academy of sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The research was carried out by numerical methods of small scientific trimaran boat with ADCP-profiler as ship's appendages in the range of Froude numbers from 0,19 - 0,316. For numerical simulation was used the FineMarine™ software. Numerical modeling was performed for a trimaran without an installed ADCP-profiler and for two mounting

options at different locations along the length of the trimaran and in depth. Two types of ADCP-profiler fastening were studied. Mounting the device in a parallelepiped ship trunk has a greater influence on the resistance and moment M_y . With increasing speed, the area of the wetted surface for "free" mounting does not change much. For mounting "in the trunk" between trimaran's hulls the shape of the wave surface changes quite significantly, which leads to a redistribution of the buoyancy forces along the length of the boat.

Keywords: Computer fluid dynamics, trimaran, ADCP profiler, NUMECA FINE/Marine, ship resistance, wave surface, wave height, interference phenomenon, ship's appendages

Введение

Выступающие части судна, к которым относятся кронштейны, рули, скуловые кили, сонары и т.п., в ряде случаев могут оказывать существенное влияние не только на сопротивление судна, но и на его ходкость и управляемость. Дополнительное сопротивление R_{AP} , создаваемое выступающими частями, в основном состоит из вязкостного сопротивления выступающих частей в неоднородном потоке пограничного слоя с учетом их взаимного влияния и дополнительного сопротивления корпуса, вызванного изменением его обтекания в районе расположения выступающих частей. Волнообразование при движении судна также оказывает влияние на дополнительное сопротивление, вызываемое выступающими частями. Собственное сопротивление выступающих частей в основном состоит из сопротивления трения, однако при неудачном расположении или их форме, основную роль может играть сопротивление формы.

Сопротивление, создаваемое выступающими частями, обычно определяют на основании буксировочных испытаний моделей судов. В отдельных случаях форму выступающих частей отрабатывают в аэродинамических трубах, возможность возникновения кавитации исследуют в кавитационных трубах и бассейнах. Применяется также расчетный метод определения величины сопротивления выступающих частей, который сводится к вычислению сопротивления каждой из таких частей в отдельности на основании экспериментальных данных для геометрических тел соответствующей формы с последующим суммированием результатов.

Для маломерных судов в ряде случаев сопротивление выступающих частей может влиять на гидродинамику более существенно, нежели для крупнотоннажных, особенно когда размер выступающих частей сравним с поперечными размерами корпуса, а само судно движется с небольшой скоростью. Например, такая ситуация может быть характерна для маломерных исследовательских судов, оснащенных акустическими доплеровскими измерителями скорости (ADCP) и вынужденных двигаться с относительно небольшой скоростью для измерения гидрологических характеристик водоемов. В этом случае оборудование, находящееся в области потока, индуцируемого судном, может приводить к необходимости повышения мощности двигателя, а также ухудшению маневренности из-за появления дополнительного момента вследствие несимметричного расположения приборов.

Классические подходы к оценке влияния выступающих частей на сопротивление судов приведены во многих учебниках и монографиях по гидродинамике корабля, в том числе [1]. Salas, Marcos & Tampier B., Gonzalo. (2013) [2] с помощью программного комплекса ANSYS, а также в опытовом бассейне, были выполнены исследования гидродинамики кормовых интерцепторов и килей для водоизмещающих и глиссирующих судов в переходном режиме. Сравнение результатов экспериментов и численного моделирования показало сходимость в пределах 5-10%. В 2016 году Haг Soo Jang, Hwa Joon Lee, Young Ryeol Joo, Jung Joong Kim, Ho Hwan Chun [3]

рассмотрели гидродинамическое воздействие бортовых подруливающих устройств, валов и формы подводной части кормовой оконечности, на основе опыта проектирования, накопленного в компании Samsung, моделирования с помощью CFD и результатов модельных испытаний высокоскоростных пассажирских судов. Некоторые особенности влияния гидролокаторов, эхолотов, скуловых килей и тоннелей подруливающих устройств на гидродинамические характеристики рыболовных судов на основании систематических испытаний моделей рассмотрены в работе Arijji, M., Suzuki, S.; Yamakoshi, Y. [4]. Также влияние выступающих частей численными и экспериментальными методами описано в работе Thu Han Tun and Ye Thet Htun (2017 [5]. Shiju John и др. (2012) [6], которые выполнили исследование влияния выступающих частей подводной лодки, танкера, земснаряда и одновинтового корабля при высоких скоростях ($F_r=0,42$). Аналогичное исследование для других типов судов выполнено в работе [7]. Подробно влияние выступающих частей на сопротивление маломерных быстроходных судов рассмотрено в статье В.В. Вайнбарга, З.Ф. Черняка [8], в том числе приведены методы расчета и рекомендации по учету сопротивления подвесных моторов при скоростях движения 20-25 м/с. В работе [9] выполнено численное моделирование гидродинамики сонара, рулей и гребных валов для верифицированного корпуса судна типа ONRT модели 5613 с помощью программного комплекса CFD NUMECA/FineMfrineTM при совпадении с экспериментальными данными в пределах 2%.

Необходимо отметить, что практически все работы в области исследования влияния выступающих частей посвящены, как правило, крупнотоннажным судам или высокоскоростным, что оправдано их назначением и требованиями проработки проектов. Отдельные исследования в области гидродинамики маломерных судов связаны с достаточно высокими диапазонами скоростей – более 10 – 15 м/с и выше. В то же время влияние выступающих частей на гидродинамику относительно тихоходных маломерных судов, например, предназначенных для отдыха на воде (плавдачи и т.п.) изучено недостаточно.

Использование профилографов ADCP, установленных на судах описано во многих работах, в том числе выполненных при участии авторов [10]. Также известны статьи [11, 12], в которых описано использование установленных на судах ADCP для выполнения гидрологических исследований. Однако оценок влияния профилографов на гидродинамику судов в этих работах не приводится.

Таким образом целью данной статьи является оценка влияния выступающих частей (профилографа ADCP) научно-исследовательского судна на его гидродинамику.

1. Численное моделирование гидродинамики тримарана с выступающими частями

Исследование влияния профилографа течений ADCP на гидродинамику судна выполнялось на примере маломерной научно-исследовательской плавучей лаборатории Института прикладной физики РАН (ИПФ РАН) «Геофизик». Судно предназначено для выполнения гидрофизических исследований участков внутренних водных путей, в том числе мелководных с помощью специализированных радиолокационного и гидроакустического комплексов оборудования.

Судно представляет собой тримаран с надувными корпусами из ПВХ, к которым прикреплены палуба с надстройкой. Общий вид судна показан на рис. 1, характеристики судна приведены в табл. 1.



Рис. 1. Научно-исследовательское судно ИПФ РАН «Геофизик»

Таблица. 1

Технические характеристики маломерного судна «Геофизик»

Длина, м	7,875
Ширина, м	3,1
Диаметр поплавка, м	0,6
Поплавки	надувные, цилиндрической формы
Количество поплавков	3
Клиренс (расстояние между корпусами), м	0,65
Осадка, м	0.150
Высота надводного борта, м	0,630
Водоизмещение, кг	1600
Максимальная скорость, км/ч	11

Исследовалось влияние расположения ADCP в следующих случаях:

1. без ADCP (контрольный);
2. ADCP расположен между корпусами в следующих точках, м:

$$x_1=1,69 \text{ и } z_1=0;$$

$$x_1=1,69 \text{ и } z_2=-0,15;$$

$$x_2=3,3 \text{ и } z_1=0;$$

$$x_2=3,3 \text{ и } z_2=-0,15.$$

Координаты x отсчитывались от транца корпуса, координата z соответствует положению нижней точки прибора относительно основной плоскости судна. Устойчивые показания профилографа наблюдаются с глубины 0,5 м, однако нижняя

часть прибора должна находиться в воде по условиям измерений и не должна ограничиваться днищем судна для обеспечения прохождения акустического сигнала.

Основные принятые геометрические характеристики ADCP (выступающей части) приведены на рис. 2.

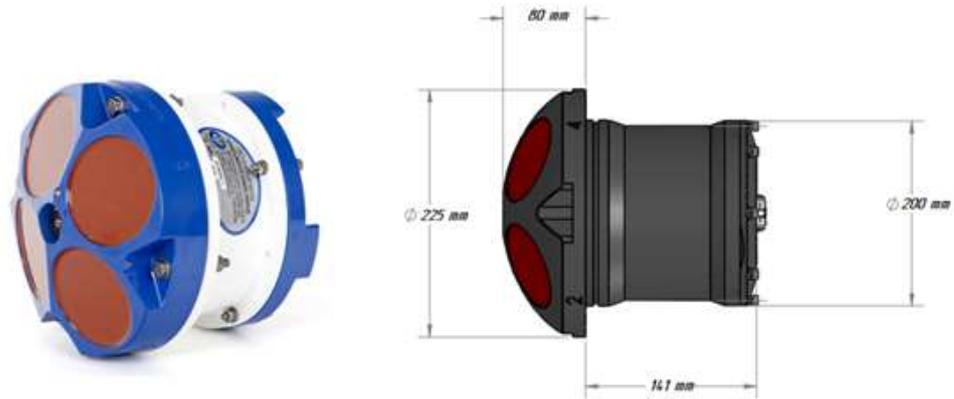


Рис. 2. Общий вид и размеры профилографа течений ADCP

Рассматривались две возможности основного крепления профилографа: «свободное» и «шахтное». В первом случае крепление осуществляется с помощью относительно тонкой штанги, прикрепленной к верхней части прибора и далее к конструкциям судна, во втором – прибор находится в «шахте», выполненной из металлических уголков или иным аналогичным способом и также крепится к палубе. Технические подробности креплений, равно как и прочность, не рассматривались, однако результаты исследований позволяют получить нагрузку на конструкции прибора. Для сравнения результатов сначала было выполнено изучение гидродинамических характеристик судна без ADCP.

Воздействие на надводную часть судна, а также аэродинамические характеристики не рассматривались. Геометрия поплавков во всех случаях была идентичной.

Для исследования гидродинамических характеристик маломерного судна с выступающими частями в виде профилографа ADCP использовалось численное моделирование с помощью программного комплекса NUMECA/FineMarineTM. Основное назначение NUMECA/FineMarineTM – решение научных и инженерных задач гидродинамики судна, в том числе многокорпусных судов. Возможность использования данного пакета для моделирования гидродинамики тримаранов была описана в работе [13], адекватность применения для гидродинамического анализа судна с выступающими частями показана в работе A Mandru и F Pasuraru [9] для скуловых килей, кронштейнов и рулей.

Преимуществом использования численного моделирования является возможность исследования гидродинамических явлений в реальном масштабе, что особенно важно для выступающих частей, которые на малых моделях в опытовом бассейне смоделировать или сложно, или невозможно, как показано, например, в работе [16].

Как было показано ранее [13-15], при моделировании многокорпусных судов достаточно использовать только один корпус с соответствующими граничными условиями на гранях расчетного домена (рис.5), при которых обеспечивается равенство нулю нормальных и касательных скоростей на виртуальной стенке. Размеры расчетного домена выбирались на основании [16,17] в зависимости от натуральных размеров судов и были постоянными для всех расчетных случаев.

Использовалась стандартная комбинация граничных условий, приведенная в работах [13-15]. Твердотельная геометрия поплавков судна и профилографа показана на рис. 3 и 4.

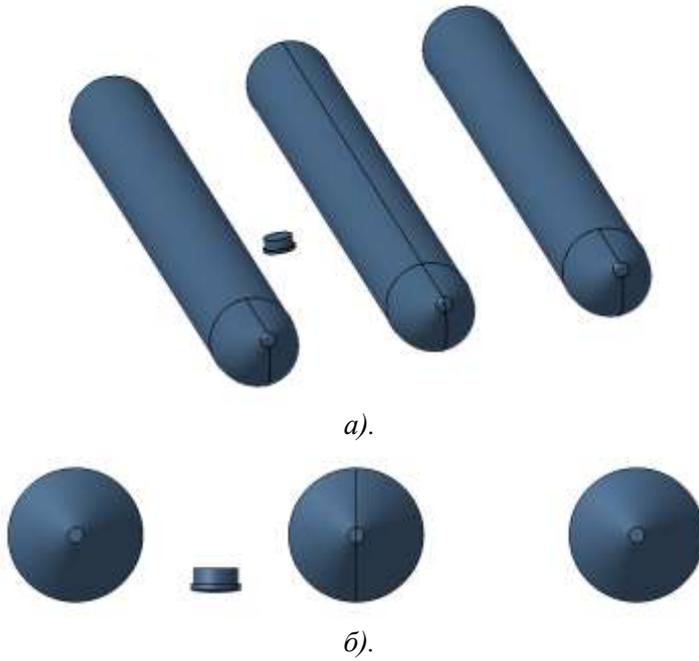


Рис. 3. Твердотельная геометрия тримарана с «свободным» креплением ADCP (вид в корму)

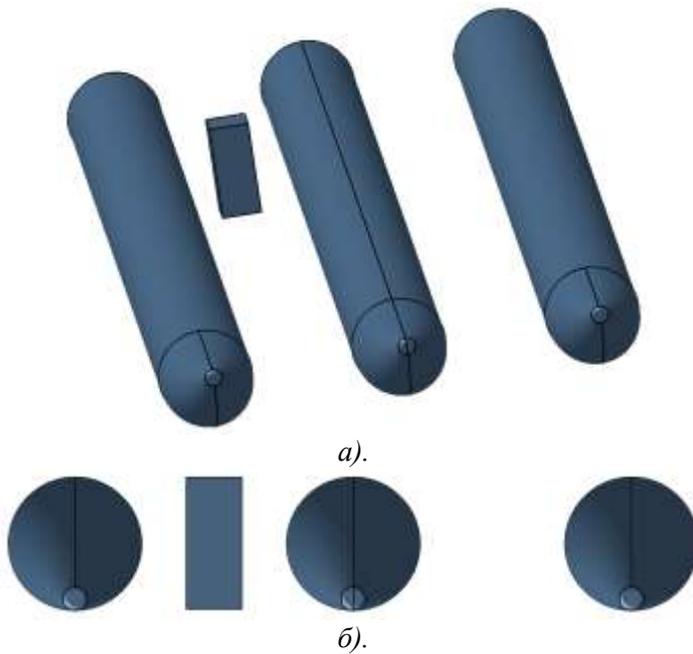
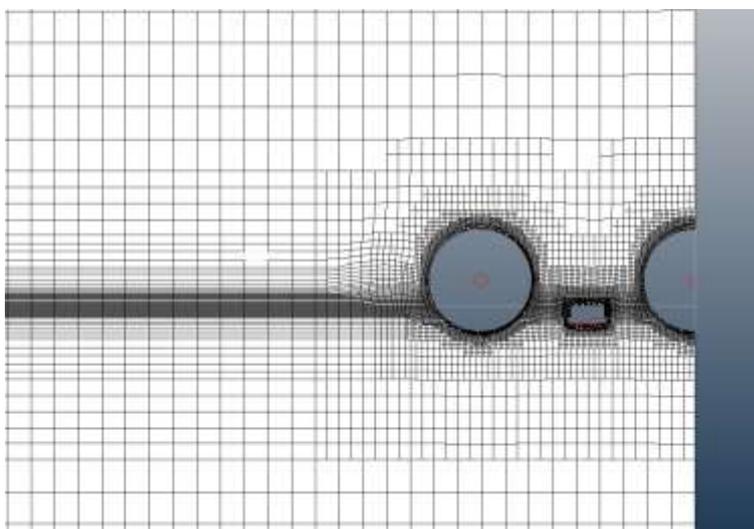
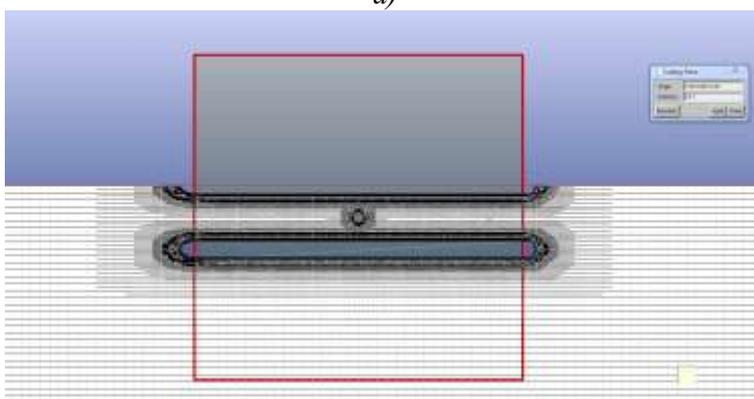


Рис. 4. Твердотельная геометрия тримарана с «шахтным» креплением ADCP (вид в нос)

Для численного моделирования применялась неструктурированная расчетная сетка, построенная в подпрограмме HEXPRESS™. Учет трения в водоизмещающем режиме движения обеспечивался разрешением пограничного слоя – 20-22 при $y^+ = 34,9218$ [14, 15]. Величина y^+ оценивалась с помощью встроенного алгоритма HEXPRESS™. Было выполнено дополнительное измельчение сетки в области между корпусами, волнового сектора, а также на поверхности профилографа. Минимальное количество ячеек составило 7953135, максимальное – 8407065, что обусловлено изменением количества ячеек в зависимости от вида крепления ADCP и его расположения. Вид расчетной сетки показан на рис. 5, параметры расчетной сетки приведены в табл. 2, настройки решателя – в табл. 3. Скорость движения судна изменялась в пределах 1,67 – 2,78 м/с (6-10 км/ч) и обусловлена условиями работы профилографа. Общее количество расчетных вариантов составило 90.



a)



б)

Рис. 5. Корпус катамарана с плоским внутренним бортом

Таблица 2

Характеристики расчетных сеток

№ п/п	Параметр сетки	Сетка 1 (без ADCP)	Сетка 2 («свободное» крепление ADCP)	Сетка 3 («шахтное» крепление ADCP)
1	Начальная сетка (x:y:z):	28:12:12	28:12:12	28:12:12
2	Адаптация:			
2.1	корпуса	7	7	7
2.2	транцы	8	8	8
2.3	носа	8	8	8
2.4	ADCP	-	8	8
3	Свободная поверхность	8, (0,87857 0,87857 0,00686);	8, (0,87857 0,87857 0,00686);	8, (0,87857 0,87857 0,00686);
4	Адаптация волновой поверхности	8 (0,219643 0,219643 0,006863);	8 (0,219643 0,219643 0,006863);	8 (0,219643 0,219643 0,006863);
5	y+	34,9218	34,9218	34,9218
6	Общее количество ячеек	7953135	8019824	8407065

Таблица 3

Параметры расчета

	Параметр	Значение
1.	Количество степеней свободы	1 – движение вперед
2.	Постановка	стационарная задача
3.	Схема дискретизации по времени:	2 порядка назад
4.	Модель турбулентности	K- ω SST модель турбулентности с пристеночными функциями
5.	Разгонный участок	14-28 сек.
6.	Скорость движения судна	1,67 – 2,78 м/с с шагом 0,14 м/с.
7.	Числа Фруда судна (FrL)	0,19 - 0,316
8.	Числа Рейнольдса судна (Re _c)	10779,7 - 17944,6
9.	Числа Рейнольдса ADCP (Re _p)	342 - 570

2. Анализ результатов

С точки зрения гидродинамики, картина течения в пространстве между корпусами тримарана с установленным профилографом, представляет собой сложное взаимодействие потоков, формируемых корпусами судна и прибором. Профилограф в этом случае является вертикальным цилиндром или параллелепипедом конечной длины. Необходимо отметить существенно разные числа Рейнольдса, при которых происходит движение жидкости. в безграничном потоке от, т.е. ламинарный поток.

В первую очередь при моделировании оценивалась величина сопротивления движению тримарана с разными вариантами крепления прибора, т.к. эта величина необходима для определения мощности двигателя, типа и параметров движителя. На

рис. 6 приведены графики сопротивления для «свободного» (рис. 6а) и «шахтного» крепления (рис. 6б). Ожидается установка профилографа приводит к повышению сопротивления во всем диапазоне скоростей, однако величины и характер изменения величины сопротивления существенно отличаются от способа закрепления прибора относительно корпуса.

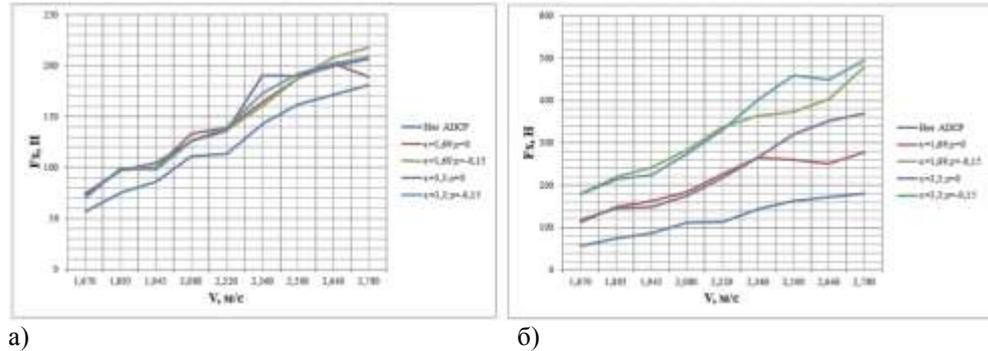


Рис. 6. Зависимость величины сопротивления от скорости судна для различных вариантов расположения профилографа (а – «свободное крепление, б – «шахтное» крепление)

Анализируя графики рис. 6 можно видеть, что для «свободного» крепления кривые сопротивления для различных точек крепления расположены достаточно близко за исключением скорости 2,36 м/с и 2,78 м/с, что может быть связано с меньшим влиянием цилиндрической формы профилографа на поток, в том числе волновым сопротивлением из-за взаимодействия волн, индуцируемых корпусом и прибором. Например, для $x=1,69$ и $z=-0,15$ при повышении скорости прибор может оказываться сначала полностью под поверхностью волны (т.е. минимальное волновое сопротивление, но максимальное трения и формы), далее на склоне волны и в области ее подошвы. Анализ волновых поверхностей между корпусами тримарана (рис.8) показывает, что «свободное» крепление ADCP не оказывает существенного воздействия на волновой поверхности, т.е. преобладает влияние корпусов тримарана.

В то же время для «шахтного» крепления разница в сопротивлении существенно зависит от положения профилографа по вертикали. Максимальные значения сопротивления наблюдаются при заглублении прибора до $z=-0,15$. При одинаковом расположении по длине, заглубление прибора приводит к увеличению величины сопротивления для половины корпуса более чем на 50%.

Еще более заметно влияние профилографа на величину и направление момента M_y , который может приводить к появлению дифферента (рис.7). Характер кривых при «свободном» креплении практически повторяет характер кривой для тримарана без профилографа, изменяется только величина момента. Кривые момента M_y имеют локальные экстремальные точки при скоростях 2,36, 2,64 и 2,78 м/с, что может быть связано с влиянием волн между корпусами тримарана (рис.8). При повышении скорости количество длин волн, а соответственно и распределение силы поддержания по длине судна существенно меняется (рис.8).

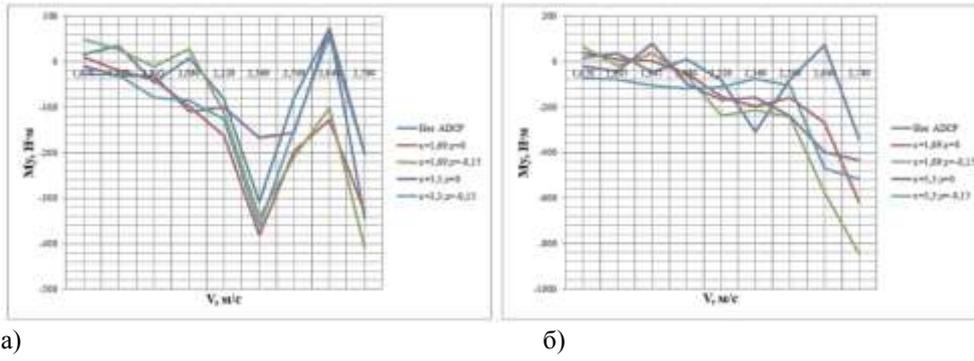


Рис. 7. Зависимость величины момента M_y от скорости судна для различных вариантов расположения профилографа (а – «свободное крепление, б – «шахтное» крепление)

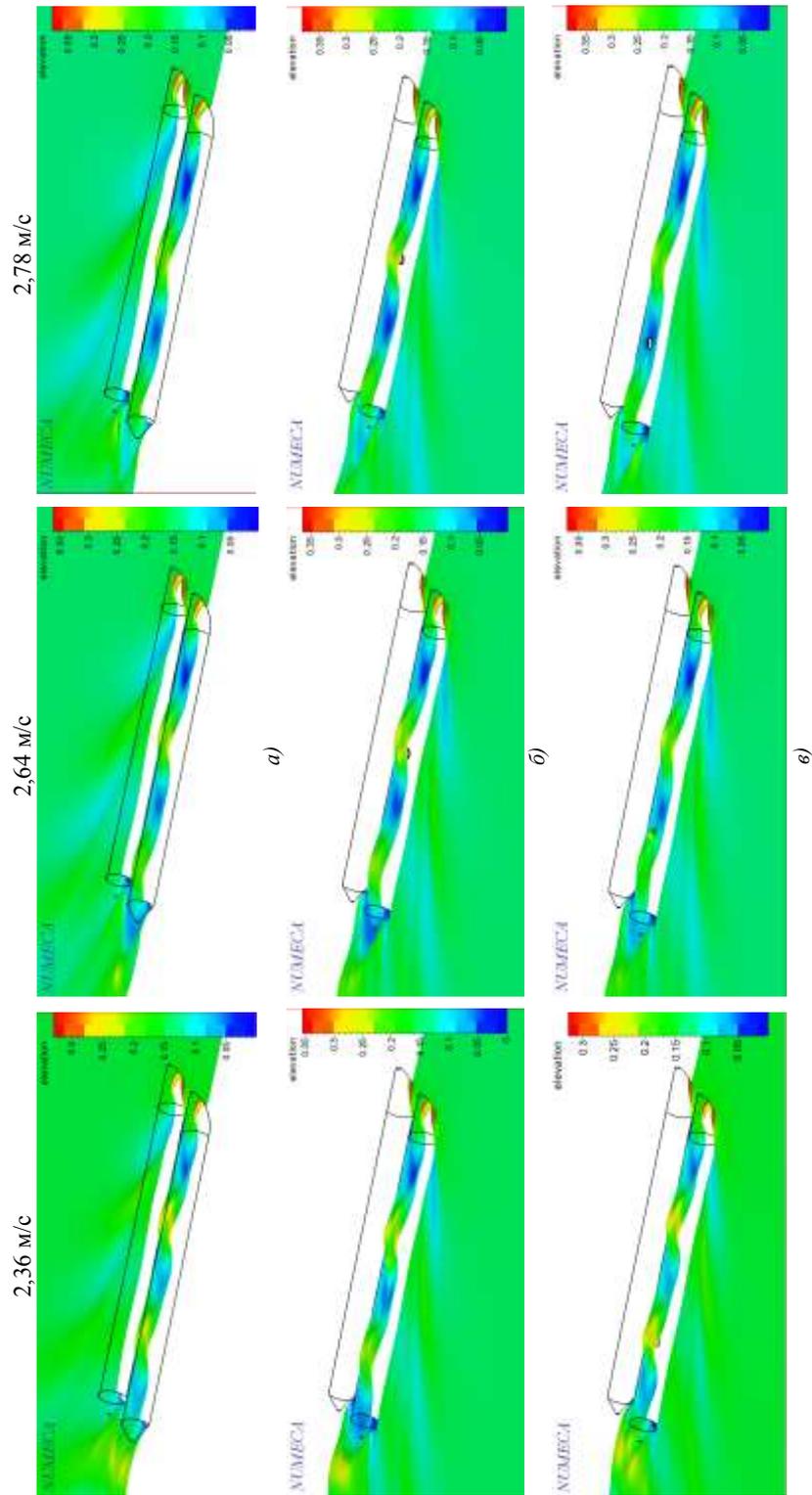


Рис. 8. Волновая поверхность при движении судна для различных вариантов расположения профилографа: а) без ADCP; б) $x=3,3$ м, $y=0$ м; в) $x=1,69$ м; $y=-0,15$ м.

При «шахтном» расположении профилографа его влияние на волновую поверхность, а соответственно на смоченную поверхность и распределение силы поддержания, существеннее (рис. 9), но из-за характера обтекания параллелепипеда, момент M_y направление не меняет и будет с увеличением скорости повышаться, что может приводить к появлению дифферента в нос. Это подтверждается анализом площадей смоченной поверхности (рис. 10-12).

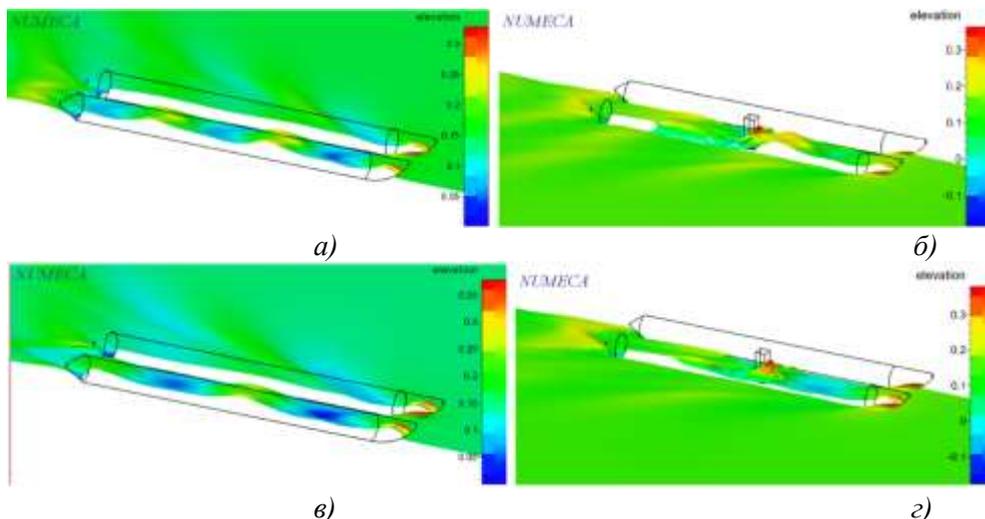


Рис. 9. Волновая поверхность при движении тримарана: а – «свободное крепление 2,36 м/с; б – «шахтное» крепление 2,36 м/с; в – «свободное крепление 2,78 м/с; г – «шахтное» крепление 2,78 м/с

Размещение шахты прибора в районе миделя судна при увеличении скорости приводит к повышению уровня свободной поверхности в кормовой части и снижению в носовой (рис. 9), однако это происходит только при заглоблении прибора ниже днища поплавков судна. Общая площадь смоченной поверхности для «шахтного» крепления уменьшается при скорости 2,78 м/с на $0,7 \text{ м}^2$, что обусловлено понижением уровня свободной поверхности в направлении носовой части, а также некоторым сглаживанием в кормовой (рис. 9б и 9в). При повышении скорости с 2,36 м/с до 2,78 м/с (т.е. на 1,5 км/ч) количество длин волн между корпусами тримарана сокращается с 3 до 2.

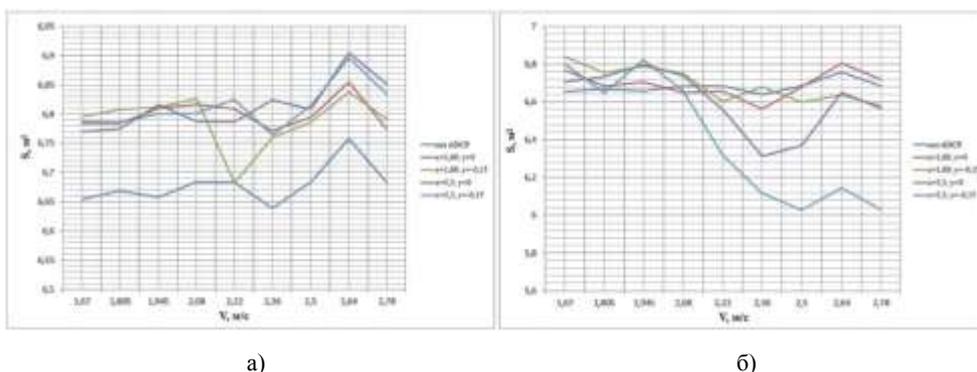


Рис. 10. Изменение площади смоченной поверхности от скорости судна для различных вариантов расположения профилографа (а – «свободное крепление, б – «шахтное» крепление)

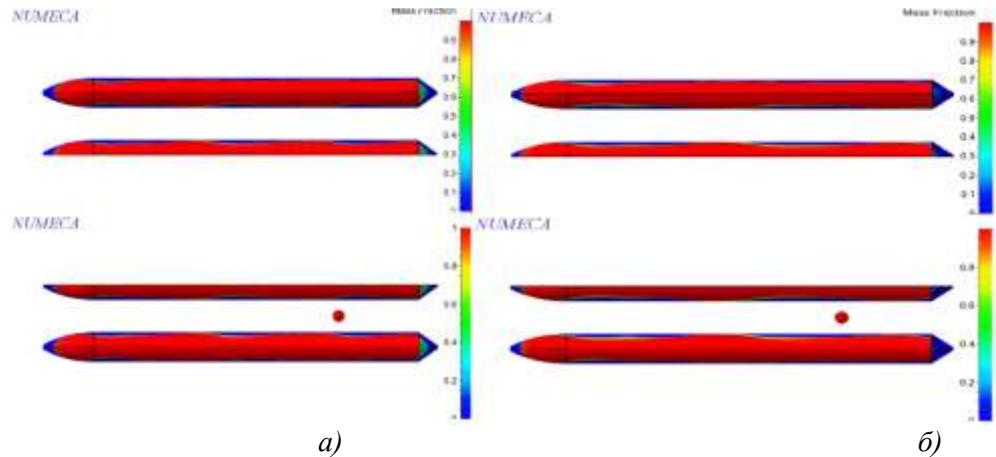


Рис. 11. Вид смоченной поверхности на корпусах судна для судна без ADCP и со «свободным» креплением (а) -2,22 м/с, б) – 2,64 м/с)

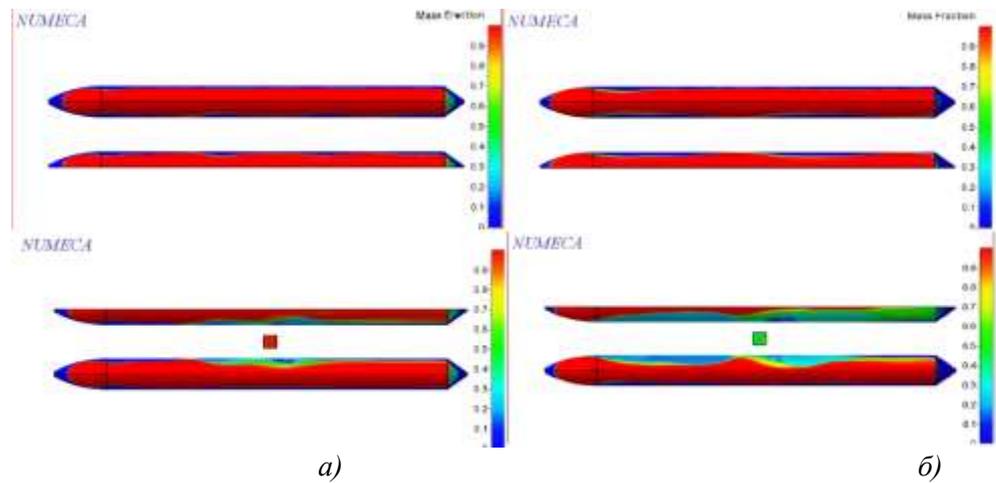


Рис. 12. Вид смоченной поверхности на корпусах судна для судна без ADCP и со «свободным» креплением (а) -1,945 м/с, б) – 2,64 м/с)

Необходимо отметить, что сопротивление и моменты могут существенно измениться, если моделировать движение судна с тремя степенями свободы: всплытие/погружение, дифферент и движение вперед. Существенным может оказаться влияние моментов M_x и M_z , которые могут привести к появлению крена и рысканию судна с установленным ADCP. Однако такие расчеты требуют точных данных по моментам инерции судна. Не моделируемые особенности крепления профилографа, а также конструкция шахты из металлического профиля могут также оказывать влияние на гидродинамику судна, но такое моделирование будет связано с существенно большими затратами машинного времени ввиду необходимости построения более мелкой сетки.

3. Заключение

С помощью пакета вычислительной гидродинамики FineMarine™ выполнено исследование сопротивления и высот волн для большегрузного катамарана с различными формами корпуса: симметричным и корпусом с плоским внутренним бортом. Для сравнения было выполнено аналогичное моделирование для однокорпусного судна с размерениями, соответствующими размерениям большегрузного катамарана. Получено, что высоты волн и сопротивление ниже у катамарана с симметричными корпусами при числах Фруда в диапазоне 0,181-0,3 и относительных клиренсах 0,3-0,55.

Благодарности

Авторы статьи благодарят д.т.н., проректора по научной работе ФГБОУ ВО «СПБГМТУ» Д.В. Никущенко за помощь при выполнении исследований.

Список литературы

1. Войткунский Я.И. Сопротивление движению судов: Учебник – 2е изд., доп. И перераб. Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.: ил. ISBN 5-7355-0032-5. Текст: непосредственный.
2. Salas, Marcos & Tampier B., Gonzalo. (2013). Assessment of appendage effect on forward resistance reduction. *Ciencia y tecnologia de buques*. 7. 37. 10.25043/19098642.82.
3. Hag Soo Jang, Hwa Joon Lee, Young Ryeol Joo, Jung Joong Kim, Ho Hwan Chun. Some practical design aspects of appendages for passenger vessels. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* Volume 1, Issue 1, September 2009, Pages 50-56
4. Arijji, M., Suzuki, S.; Yamakoshi, Y.; Effects of hull appendages on ship performance: Results of resistance tests Technical Report of National Research Institute of Fisheries Engineering. *Fishing Boat and Instrument (Japan)* ISSN : 0388-970X
5. Thu Han Tun and Ye Thet Htun The Experimental and Numerical Study of the Appendage DRAG Influence on Resistance of Ship I *International Journal of Maritime Affairs and Fisheries* Volume 9 Issue 2 December 2017 pp.031-039
6. Shiju John , Kareem Khan , P. C. Praveen , Manu Korulla , P. K. Panigrahi Ship Hull Appendages: A Case Study. *International Journal of Innovative Research and Development*, Volume 1, Issue 10, December (Special Issue) 2012
7. Research on Scale Effect of Ship Appendage Resistance Based on CFD Le Fang; Jiangtao Qin; Lilan Zhou; Ke-qiang Chen Paper presented at the The 29th International Ocean and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, USA, June 2019. Paper Number: ISOPE-I-19-471
8. В.В. Вайнбарг, З.Ф. Черняк Сопротивление выступающих частей быстроходного судна. «Катера и яхты», 1978, №02(072) стр. 52-58.
9. A. Mandru, F. Pacuraru The effect of appendages on ship resistance 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1182 012041
10. О формировании изолированной линзы речного стока круговоротом в Горьковском водохранилище / И. А. Капустин, С. А. Ермаков, М. В. Смирнова [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18. – № 6. – С. 214-221. – DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-6-214-221. – EDN JJIVWX.
11. Alberto Ribotti, Mireno Borghini, Andrea Satta, Paolo Magni. Ship-Mounted Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP): Characteristics and Field Applications to Measure Coastal Hydrodynamics *Encyclopedia of Water* 10.1002/9781119300762.wsts0084 2019, p. 1-11
12. Li, C.; Boswell, K.M. Estimating Water Transport from Short-Term Vessel-Based and Long-Term Bottom-Mounted Acoustic Doppler Current Profiler Measurements in an Arctic Lagoon Connected to the Beaufort Sea. *Sensors* 2022, 22, 68. <https://doi.org/10.3390/s22010068>

13. Mizine I., Karafiath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in Design of Trimaran Ship, FAST 2009, 2009
14. Исследование гидродинамического воздействия глиссирующего маломерного судна на водный объект / Е. А. Лукина, Е. Ю. Чебан, Д. В. Никущенко [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 4-2(54). – С. 129-134. – DOI 10.37220/МИТ.2021.54.4.078. – EDN KJRDVL.
15. Оценка волнообразования большегрузного катамарана с различными формами внутреннего борта / Е. Ю. Чебан, О. В. Мартемьянова, С. Г. Митрошин [и др.] // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 63. – С. 109-120. – DOI 10.37890/jwt.vi63.82. – EDN AXBAQK.
16. Hochkirch, Karsten and Benoit Mallol. “On the Importance of Full-Scale CFD Simulations for Ships.” (2013). 12th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, Cortona, 15-17 April 2013, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2013, ISBN 978-3-89220-663-7 p. 85-96.

References

1. Vojtkunskij Ja.I. Soprotivlenie dvizheniju sudov: Uchebnik – 2e izd., dop. I pererab. L.: Sudostroenie, 1988. – 288 s.: il. ISBN 5-7355-0032-5. Tekst: neposredstvennyj.
2. Salas, Marcos & Tampier B., Gonzalo. (2013). Assessment of appendage effect on forward resistance reduction. *Ciencia y tecnología de buques*. 7. 37. 10.25043/19098642.82.
3. Hag Soo Jang, Hwa Joon Lee, Young Ryeol Joo, Jung Joong Kim, Ho Hwan Chun. Some practical design aspects of appendages for passenger vessels. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* Volume 1, Issue 1, September 2009, Pages 50-56
4. Arijji, M., Suzuki, S.; Yamakoshi, Y.; Effects of hull appendages on ship performance: Results of resistance tests Technical Report of National Research Institute of Fisheries Engineering. *Fishing Boat and Instrument (Japan)* ISSN : 0388-970X
5. Thu Han Tun and Ye Thet Htun The Experimental and Numerical Study of the Appendage DRAG Influence on Resistance of Ship I *International Journal of Maritime Affairs and Fisheries* Volume 9 Issue 2 December 2017 pp.031-039
6. Shiju John , Kareem Khan , P. C. Praveen , Manu Korulla , P. K. Panigrahi Ship Hull Appendages: A Case Study. *International Journal of Innovative Research and Development*, Volume 1, Issue 10, December (Special Issue) 2012
7. Research on Scale Effect of Ship Appendage Resistance Based on CFD Le Fang; Jiangtao Qin; Lilan Zhou; Ke-qiang Chen Paper presented at the The 29th International Ocean and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, USA, June 2019. Paper Number: ISOPE-I-19-471
8. V.V. Vajnbarg, Z.F. Chernjak Soprotivlenie vystupajushhiih chastej bystrohodnogo sudna. «Katera i jahty», 1978, №02(072) str. 52-58.
9. A. Mandru, F. Pacuraru The effect of appendages on ship resistance 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1182 012041
10. Kapustin I.A., Ermakov S.A., Smirnova M.V., Vostryakova D.V., Molkov A.A., Cheban E.YU., LESHCHEV G.V. On the formation of an isolated lens of a river runoff by a whirlpool in the Gorky reservoir. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2021. – T. 18. – № 6. – С. 214-221. – DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-6-214-221. – EDN JJIVWX.
11. Alberto Ribotti, Mireno Borghini, Andrea Satta, Paolo Magni. Ship- Mounted Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP): Characteristics and Field Applications to Measure Coastal Hydrodynamics *Encyclopedia of Water* 10.1002/9781119300762.wsts0084 2019, p. 1-11
12. Li, C.; Boswell, K.M. Estimating Water Transport from Short-Term Vessel-Based and Long-Term Bottom-Mounted Acoustic Doppler Current Profiler Measurements in an Arctic Lagoon Connected to the Beaufort Sea. *Sensors* 2022, 22, 68. <https://doi.org/10.3390/s22010068>
13. Mizine I., Karafiath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in Design of Trimaran Ship, FAST 2009, 2009

14. Lukina Evgeniya A., Cheban Egor YU., Nikushchenko Dmitry V., Samosyuk Alina I., Glukhova Veronika S. Investigation of the hydrodynamic impact of a planing small vessel on a water body. MARINE INTELLIGENT TECHNOLOGIES.– 2021. – № 4-2(54). – С. 129-134. – DOI 10.37220/MIT.2021.54.4.078. – EDN KJRDVL.
15. Cheban Egor Yu., Martemianova Olga V., Mitroshin Sergey G., Zotova Natalia E., Logvinov Alexei V. Estimation of the wave formation for extra-capacity catamaran with various forms of inner sides. RUSSIAN JOURNAL OF WATER TRANSPORT . – 2020. – № 63. – С. 109-120. – DOI 10.37890/jwt.vi63.82. – EDN AXBAQK.
16. Hochkirch, Karsten and Benoit Mallol. “On the Importance of Full-Scale CFD Simulations for Ships.” (2013). 12th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, Cortona, 15-17 April 2013, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2013, ISBN 978-3-89220-663-7 p. 85-96.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Мартемьянова Ольга Владимовна, аспирант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: dovnn@yandex.ru

Olga V. Martmianova, post graduate student of Hydrodynamics, ship theory and ship's ecological safety department, Volga State University of Water Transport 603950, Nizhniy Novgorod, Nesterova, 5, e-mail: dovnn@yandex.ru

Кожевников Артур Игоревич, магистрант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, notlonkot@yandex.ru

Artur I. Kozhevnikov, master student Hydrodynamics, ship theory and ship's ecological safety department, Volga State University of Water Transport 603950, Nizhniy Novgorod, Nesterova, 5, notlonkot@yandex.ru

Мольков Александр Андреевич, Старший научный сотрудник, Лаборатория оптических методов (221), Отдел радиофизических методов в гидрофизике (220), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» 603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46, molkov@ipfran.ru

Aleksandr A. Mol'kov, Senior Researcher, Optical Methods Laboratory (221), Department of Radiophysical Methods in Hydrophysics (220) Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (IAP RAS) 46 Ul'yanov Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russia, molkov@ipfran.ru

Статья поступила в редакцию 18.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022.
Received 18.05.2022; published online 20.09.2022.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

OPERATION OF SHIP POWER EQUIPMENT

УДК 662.994

DOI: 10.37890/jwt.vi72.283

Предварительный натурный эксперимент на опытном образце судового компактного котла-утилизатора

Д.И. Бевза¹

О.П. Шураев¹

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

Аннотация. Статья посвящена предварительному натурному эксперименту на теплоутилизационном стенде, являющемуся начальным этапом натурного исследования судового компактного котла-утилизатора новой конструкции. На данном этапе эксперимент проводится с целью апробации смонтированной системы термометрирования и получения первых данных о распределении температуры в каналах опытного котла-утилизатора. Анализ результатов подтверждает адекватность показаний системы термометрирования, позволяет говорить о ее корректной работе, но, в то же время, указывает на ряд нелогичных показаний, требующих объяснения. В дальнейшем планируется накопление экспериментальных данных и их сопоставление с имеющимися результатами компьютерного моделирования.

Ключевые слова: компактный котел-утилизатор, система измерения температуры, опытный образец, натурный эксперимент, температурное поле.

The preliminary full-scale experiment on the vessel's compact exhaust boiler's prototype

Denis I. Bevza¹

Oleg P. Shurayev¹

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

Abstract. The article is devoted to a preliminary full-scale experiment on a heat recovery stand, which is the initial stage of a full-scale study of the vessel's compact exhaust boiler of a new design. The experiment is carried out in order to test the mounted thermometry system and obtain the first data about the temperature distribution in the channels of an experimental exhaust boiler. The analysis of the results confirms the adequacy of the readings of the thermometry system, allows to talk about its correct operation, but, at the same time, it points to a number of illogical indications that require explanation.

Keywords: compact exhaust boiler, temperature measurement system, prototype, full-scale experiment, temperature field.

Введение

Ограниченность пространства машинного отделения на новых и модернизируемых судах и сокращение численности судового экипажа заставляют

проектанта уделять особое внимание массогабаритным характеристикам подбираемого оборудования. Поэтому развитие в сфере судового теплообменного оборудования по пути улучшения его массогабаритных показателей является одним из приоритетных направлений развития отрасли наряду со стремлением к улучшению энергоэффективности. Приняв это во внимание, специалисты ФГБОУ ВО «ВГУВТ» и ООО «Гидротермаль» разработали судовой котел-утилизатор новой конструкции, выгодно отличающийся от известных аналогов [1, 2, 3, 4]: компактным размещением основных элементов теплоутилизационной установки в едином корпусе, сокращенным числом обслуживаемых элементов и уместной заменой неразъемных соединений разъемными. О технических решениях, примененных в компактном котле-утилизаторе, подробно изложено в ранее опубликованных работах авторов [5, 6].

С целью исследования закономерностей и последствий сложного течения потока горячего теплоносителя (газа) в каналах нового котла-утилизатора созданы: в CAD среде – геометрическая модель нового котла-утилизатора, – и в CFD среде, на основе твердотельной геометрической модели газового пространства разработанного аппарата и предварительного теплового расчета, – компьютерная численная модель движения газа и теплообмена в его полостях.

Теплогидродинамическая картина поведения потока газа в каналах котла-утилизатора описана и проанализирована в ряде работ (см. [5, 6]).

Для верификации результатов численного моделирования и возможности замены множества натуральных экспериментов менее ресурсозатратными компьютерными экспериментами спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд (рис. 1). Стенд состоит из опытного образца разработанного котла-утилизатора, дизеля 2 Ч 10.5/13, газохода, рамы. Контроль параметров работы двигателя и котла-утилизатора осуществляется в автоматизированном режиме спроектированной системой мониторинга. Временные решения по контролю параметров работы стенда, как, например, в работе [7], не подходят, потому как планируется использование стенда для испытаний в различных областях судовой эксплуатационной тематики. К тому же автоматизация испытаний делает их менее ресурсозатратными и снижает вероятность субъективных ошибок [8]. Учитывая многоцелевое назначение стенда, комплекс параметров, контролируемых системой мониторинга, будет включать температуру, давление горячего и холодного теплоносителей, температуру топлива, температуру воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя, расход топлива и холодного теплоносителя, а также частоту вращения коленчатого вала двигателя.

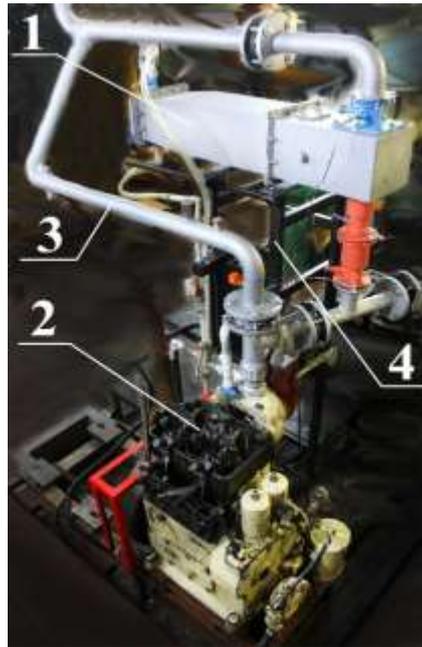


Рис. 1. Экспериментальная теплоутилизационная установка: 1 – котел-утилизатор; 2 - дизель 2 Ч 10.5/13; 3 – газоход; 4 – рама

Возможность измерения температуры газа в наиболее информативных для дальнейшего анализа точках опытного образца котла-утилизатора способна помочь сформировать представление о действительном температурном поле во всем аппарате. Сравнение экспериментальных данных с результатами численного расчета в компьютерной модели в перспективе позволит оценить адекватность полученного численного решения. По этой причине в первую очередь смонтирована система термометрирования газовых полостей котла-утилизатора, состоящая из группы термопар, модуля сбора температурных данных МТ-12 и блока регистрации измерений БРИЗ-Т.

Таким образом, на данном этапе стенд в указанной конфигурации позволяет провести экспериментальные исследования, направленные на верификацию результатов численного моделирования.

Цель и задачи

С целью тестирования установленной системы термометрирования на предмет возможности получения показаний, не противоречащих законам термо- и гидродинамики, а также с целью получения опытных данных было решено провести предварительный натурный эксперимент.

Были поставлены следующие задачи эксперимента: измерение значений температуры в контрольных точках опытного образца котла-утилизатора и визуальная проверка исправности и работоспособности элементов и систем стенда.

Материалы и методы

В процессе эксперимента показания снимались с 12 термопар типа К, размещенных в газовых полостях опытного котла-утилизатора на входе, выходе и в 9-

ти точках диаметрального сечения его теплообменной части (рис. 2). Термопары были предварительно откалиброваны по эталонному термометру ТТЖ-1П №4, при этом максимальная погрешность измерения составила $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Запись данных с термопар на карту памяти осуществлялась в блоке регистрации измерений БРИЗ-Т с интервалом 2 с. С этим же интервалом значения температуры отображались на дисплее этого блока.

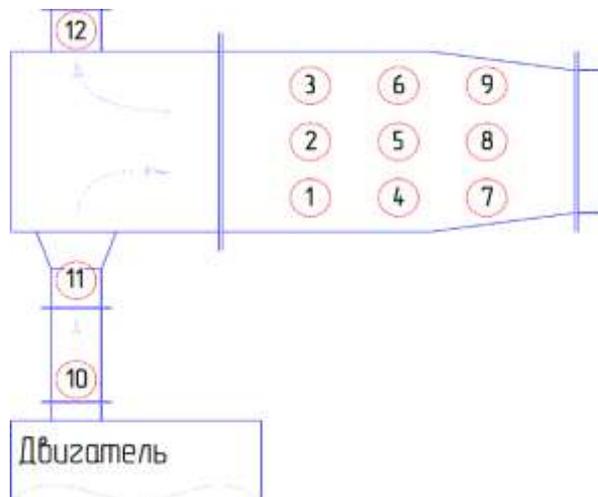


Рис. 2. Распределение контрольных точек в газовых полостях опытного образца котла-утилизатора

Испытания проводились в течение 11 мин, из них 8,5 мин было затрачено на выход системы «двигатель – газоход – котел-утилизатор» на установившийся температурный режим.

Частота вращения коленчатого вала дизеля поддерживалась на уровне 1200 ± 50 об./мин и контролировалась по дисплею электронного тахометра на раме стенда рядом с постом управления.

Результаты и анализ

Из общего массива полученных экспериментальных данных была сделана выборка, состоящая из значений температуры в контрольных точках опытного котла-утилизатора, снятых в период установившегося температурного режима работы двигателя.

Плавность температурных линий графика рисунка 3 свидетельствует об отсутствии значимых колебаний (выбросов) значений температуры в контролируемых областях аппарата, что позволяет говорить об адекватном соотношении «сигнал/шум» в системе термометрирования.

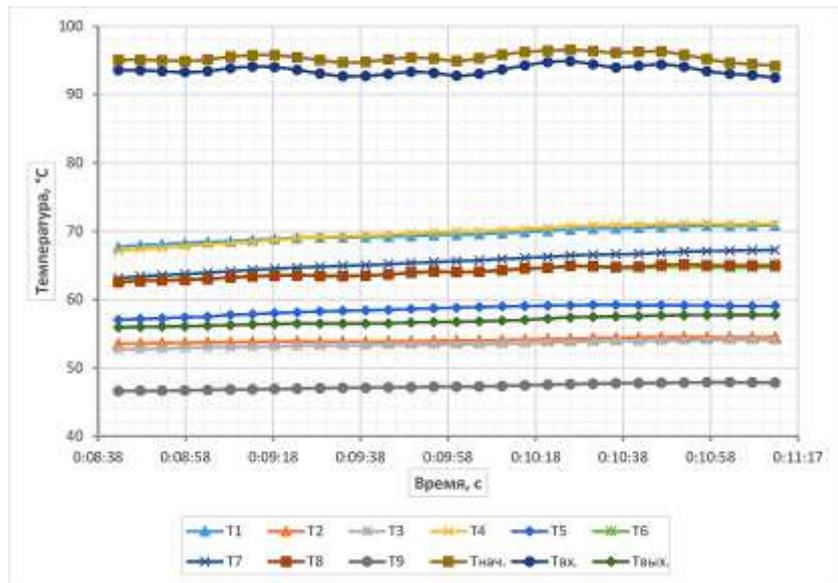


Рис. 3. Изменение температуры в контрольных точках газового пространства опытного котла-утилизатора

Сравнение средних значений температуры газа (таблица 1), полученных в указанных контрольных точках для трех временных интервалов, свидетельствует о незначительном, в пределах 5%, расхождении этих значений. Расхождения связаны с постепенным прогревом котла-утилизатора, продолжающимся даже после того, как, по оценке сотрудников испытательной группы, был достигнут стабильный тепловой режим, характеризующийся отсутствием значимого роста температуры при постоянстве частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Таблица 1

Температура газа (°C) в контрольных точках опытного образца котла-утилизатора

Термопара	Временной интервал			Средние значения
	1	2	3	
Тнач. (Т10)	95.3	95.4	95.6	95
Твх. (Т11)	93.6	93.3	93.8	94
T1	68.5	69.5	70.6	70
T2	53.7	54.0	54.5	54
T3	53.0	53.5	54.0	54
T4	68.2	69.9	71.0	70
T5	57.6	58.7	59.1	59
T6	63.2	64.0	64.7	64
T7	64.0	65.6	66.9	66
T8	63.1	64.0	65.0	64
T9	46.8	47.3	47.8	47
Твых. (Т12)	56.2	56.8	57.6	57

По усредненным значениям температуры за весь контрольный период для каждой контрольной точки опытного котла-утилизатора было сформировано температурное поле в его газовых полостях (рис. 4). Динамика изменения температуры потока газа по мере его прохождения по внутренним каналам аппарата, в целом, качественно соответствует ожидаемой.

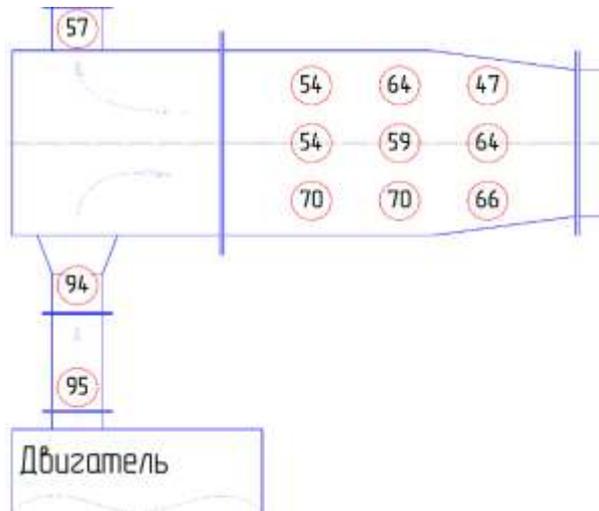


Рис. 4. Распределение средних значений температуры по контрольным точкам газовой полости опытного котла-утилизатора

Качественно схожую с рисунком 4 картину демонстрируют и результаты тепловизионной съемки прибором Fluke Ti 300+ проточной области котла-утилизатора в районе входного и выходного участков аппарата.

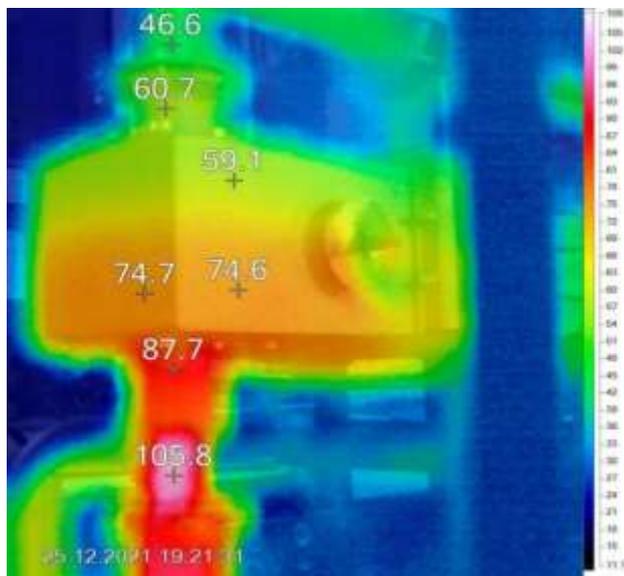


Рис. 5. Температурное поле в районе проточной области котла-утилизатора, снятое тепловизором Fluke Ti 300+

Однако при адекватности общей тепловой картины в каналах опытного образца наблюдаются несостыковки в нескольких контрольных точках его теплообменной области. А именно, выбивается из логичного ряда полученных показаний среднее значение температуры в контрольной точке «б» опытного образца (см. рис. 2 и рис. 4). Данные с контрольных точек «3» и «9», несмотря на видимую правдоподобность, также могут быть поставлены под сомнение. Возможными причинами могут быть установка термопар с неправильным подключением их выводов к модулю термометрирования, касание измерительной частью хвостовика термопары трубного пучка, наличие обводных «паразитных» течений и пр. Накопление статистической информации и реакция на тестовые воздействия способны в дальнейшем прояснить ситуацию.

Заключение

Главным итогом предварительного натурального эксперимента на описанном экспериментальном стенде стало подтверждение в целом корректной работы системы термометрирования газового пространства опытного образца нового котла-утилизатора. Получены первые результаты распределения температуры в контрольных точках опытного котла-утилизатора. Анализ полученных результатов помог определить недочеты в работе системы термометрирования и, после их исправления, позволит продолжить работу по накоплению данных.

Параллельно с решением поставленных задач эксперимента удалось убедиться в исправном состоянии узлов и деталей дизеля, опытного котла-утилизатора, в работоспособном состоянии заново смонтированных или доработанных систем охлаждения, смазывания, топливной, газопуска и их основных элементов, в отсутствие необходимости в значительных ресурсах на доработку стенда.

По завершению работ по дооснащению стенда оставшимися измерительными системами планируется проведение полномасштабного эксперимента для подтверждения достоверности результатов разработанной численной модели нового котла-утилизатора и, возможно, корректировки условий однозначности, задаваемых при подготовке модели.

Список литературы

1. Хряпченков А. С., Судовые вспомогательные и утилизационные котлы: учебное пособие / А. С. Хряпченков // 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 296 с.
2. Енин В. И., Судовые котельные установки: учебное пособие / В. И. Енин, Н. И. Денисенко, И. И. Костылев // М.: Транспорт, 1993. – 216 с.
3. Лысенко В. К., Судовые паровые котлы. Устройство и эксплуатация: учебное пособие / В. К. Лысенко, Б. И. Лубочкин // 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1975. – 320 с.
4. Корнилов Э. В., Вспомогательные и утилизационные котлы морских судов: учебное пособие / Э. В. Корнилов, В. Н. Афанашенко, П. В. Бойко // Одесса: Феникс, 2004. – 167 с.
5. Шураев О. П., Исследование полей скорости и температуры в каналах котла-утилизатора методом численного моделирования / О. П. Шураев, Д. И. Бевза, С. Н. Валиулин // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2016. № 3. С. 49 - 56.
6. Шураев О. П., Результаты численного моделирования движения газа в каналах компактного котла-утилизатора / О. П. Шураев, Д. И. Бевза, С. Н. Валиулин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2017. № 50. С. 268 - 276.
7. Дорохов А. Ф., Обработка информации и управление температурным режимом рабочего цилиндра двигателя внутреннего сгорания судового дизеля / А. Ф. Дорохов, Н. В. Пахомова, Г. А. Попов // Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. 2015. № 2. С. 137 - 150.
8. Безюков О. К., Стенды, программы и методики для испытаний высокооборотных судовых дизелей / О. К. Безюков, Е. В. Макарьев, М. М. Махфуд // Сборник научных

трудов профессорско-преподавательского состава Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова», 2017. – С. 32-40. – EDN ZXDWVZ.

References

1. Hrjapchenkov A. S., Sudovye vspomogatel'nye i utilizacionnye kotly: uchebnoe posobie / A. S. Hrjapchenkov // 2-e izd., pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1988. – 296 s.
2. Enin V. I., Sudovye kotel'nye ustanovki: uchebnoe posobie / V. I. Enin, N. I. Denisenko, I. I. Kostylev // M.: Transport, 1993. – 216 s.
3. Lysenko V. K., Sudovye parovye kotly. Ustrojstvo i jekspluatacija: uchebnoe posobie / V. K. Lysenko, B. I. Lubochkin // 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Transport, 1975. – 320 s.
4. Kornilov Je. V.. Vspomogatel'nye i utilizacionnye kotly morskikh sudov: uchebnoe posobie / Je. V. Kornilov, V. N. Afanashhenko, P.V. Bojko // Odessa: Feniks, 2004. – 167 s.
5. Shurayev O. P., Issledovanie poley skorosti i temperatury v kanalakh kotla-utilizatora metodom chislennogo modelirovaniya [The research of the speed and temperature fields in the flow passages of the exhaust heat boiler by the numerical experiment method] / O. P. Shurayev, D. I. Bevza, S. N. Valiulin // Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2016. № 3. pp. 49-56.
6. Shurayev O. P., Rezul'taty chislennogo modelirovaniya dvizheniya gaza v kanalakh kompakt-nogo kotla-utilizatora [The results of numerical modeling of gas dynamics in the ducts of a compact exhaust boiler] / O. P. Shurayev, D. I. Bevza, S. N. Valiulin // Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transport. 2017. № 50. pp. 268 - 276.
7. Dorohov A. F., Obrabotka informacii i upravlenie temperaturnym rezhimom rabocheho cilindra dvigatelja vnutrennego sgoranija sudovogo dizelja / A. F. Dorohov, N. V. Pahomova, G. A. Popov // Prikaspijskij zhurnal: Upravlenie i vysokie tehnologii. – 2015. – № 2. – S. 137 - 150.
8. Bezyukov, O. K. Stendy, programmy i metodiki dlya ispytaniy vysokooborotnykh sudovykh dizeley [Stands, programs and procedures for testing high-speed marine diesel engines] / O. K. Bezyukov, E. V. Makar'ev, M. M. Makhfud // Sbornik nauchnykh trudov professorsko-prepodavatel'skogo sostava Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. – Sankt-Peterburg: FGBOU VO «Gosudarstvennyy universitet morskogo i rechnogo flota im. admirala S .O. Makarova». 2017. – pp. 32-40. – EDN ZXDWVZ.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Бевза Денис Игоревич, аспирант кафедры ЭСЭУ (Эксплуатации судовых энергетических установок) Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: bvz.denis@yandex.ru

Denis I. Bevza, postgraduate, The Department «Operation of Ship Power Plants», Volga state university of water transport, 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, Russia

Статья поступила в редакцию 29.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022.
Received 29.06.2022; published online 20.09.2022.

УДК 629.4.069

DOI: 10.37890/jwt.vi72.282

Контроль расхода топлива энергетических установок на основе регистрации текущих значений мощности

В.И. Кочергин¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4883-1458>

Е.С. Зинченко¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6284-2786>

¹*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. Среди основных методов повышения энергетической эффективности энергетических установок наиболее значимыми с точки зрения достижения положительных результатов и возможности их реализации являются организационные методы. При выборе методики определения энергетической эффективности судовой энергетической установки необходимо учитывать сочетание следующих необходимых условий: обеспечение контроля с учетом стохастических изменений текущих значений расхода топлива и минимизация затрат на приобретение и использование средств контроля. Решение этих двух задач является взаимосвязанным процессом. Применительно к дизель-генераторным установкам это достигается путем непрерывного дискретного измерения значений силы тока на каждой из трех фаз генератора и напряжения в коротком временном интервале с последующим вычислением текущих значений потребляемой мощности и их аппроксимации в показатели энергетической эффективности. Испытания опытного образца аналитической системы контроля энергетической эффективности, реализующей предлагаемый алгоритм контроля, на транспортном дизеле показали достаточную высокую корреляцию полученных результатов с данными контроля расхода топлива объемным методом, удовлетворительную надежность системы, а также возможность обеспечения экономии топливно-энергетических ресурсов. Дальнейшим развитием предлагаемого подхода к контролю энергетической эффективности может являться использование для этих целей текущих значений крутящего момента и мощности дизеля, полученных путем анализа динамических характеристик крутильно-колебательных систем судовых энергетических установок.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка, дизель-генератор, энергетическая эффективность, технический мониторинг, расход топлива.

Fuel consumption monitoring of power plants based on the recording of current power values

Victor I. Kochergin¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4883-1458>

Evgenii S. Zinchenko¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6284-2786>

¹*Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia*

Abstract. Among the main methods of increasing the energy efficiency of power plants, the most significant in terms of achieving positive results and the possibility of their implementation are organizational methods. When choosing a methodology for determining the energy efficiency of a ship's power plant, it is necessary to take into account a combination of the following necessary conditions: ensuring control taking into account stochastic changes in the current fuel consumption values and minimizing the cost of

purchasing and using control tools. Solving these two problems is an interconnected process. With respect to diesel generator sets, this is achieved by continuously measuring the current values at each of the three phases of the generator and the voltage in a short time interval in a discrete manner, followed by calculating the current power consumption values and approximating them to energy efficiency indicators. Tests of a prototype of an analytical energy efficiency control system implementing the proposed control algorithm on a transport diesel showed a sufficiently high correlation of the obtained results with data on monitoring fuel consumption by a volumetric method, satisfactory reliability of the system, as well as the possibility of saving fuel and energy resources. A further development of the proposed approach to energy efficiency control can be the use for these purposes of the current values of the torque and power of the diesel engine obtained by analyzing the dynamic characteristics of the torsional and oscillatory systems of marine power plants.

Keywords: marine power plant, diesel generator, energy efficiency, technical monitoring, fuel consumption.

Введение

Повышение энергетической эффективности энергетических установок является неизбежным процессом, характеризующим современный уровень развития всех видов транспорта. Низкие показатели энергоэффективности могут служить причиной недостаточной конкурентоспособности предприятий транспортной отрасли, особенно в условиях возможного повышения цен на энергоресурсы. Однако достижение максимально возможных результатов в данной области требует определенного времени, так как это связано с кардинальными конструктивными и технологическими изменениями в судостроении и, следовательно, значительных капитальных вложений [1].

Методы, способствующие обеспечению энергетической эффективности судовых энергетических установок (СЭУ), можно разделить на следующие основные группы: конструктивные, административные и организационные (управленческие). К первой группе конструктивных мероприятий в первую очередь относятся различные направления совершенствования систем и механизмов СЭУ, оптимизация и настройка скоростных, нагрузочных и иных характеристик энергетических установок. Данные методы, как правило, недостаточно эффективны ввиду приближения конструктивных решений эксплуатируемых энергетических установок к пределу совершенствования, в связи с этим на передний план здесь выходит кардинальное изменение принципов работы СЭУ на основе использования альтернативных видов топлива.

В качестве административных методов следует выделить различные методы мотивации персонала и руководящего состава флотов к сбережению энергоресурсов, а также связанную с этими методами систему штрафных санкций и административные меры регламентирования и ограничения расходования энергоресурсов. Эффективность применения данной группы мероприятий в значительной мере зависит от конкретной экономической и производственной обстановки.

Среди указанных основных групп методов повышения показателей энергоэффективности наиболее значимыми с точки зрения достижения положительных результатов и возможности их реализации являются организационные (управленческие) методы, поскольку заключенный в этой группе методов потенциал в настоящее время в недостаточной мере реализуется на практике. Среди основных организационных методов повышения энергетической эффективности можно выделить следующие мероприятия:

- обеспечение эффективности контроля энергоресурсов;
- совершенствование методов нормирования и учета расхода энергоресурсов

- оптимизация режимов работы СЭУ;
- обеспечение качества поставляемого топлива.

Существенное значение среди возможных методов обеспечения энергетической эффективности энергетических установок в данной группе представляют мероприятия по нормированию и учету расхода топлива, непосредственно связанные и с группой административных методов. Применяются экспериментально-расчётные, статистические и расчётно-аналитические методы нормирования расхода топлива СЭУ, но ни один из них не учитывает в полной мере все возможности реализации энергосберегающих факторов [2]. Нормирование уровня потребления топливно-энергетических ресурсов не приносит в полной мере требуемых результатов по причине влияния субъективных факторов организации процессов эксплуатации и стохастического характера процесса расходования топлива. Следовательно, первоочередным следует считать не организацию нормирования, а выбор методов и технических средств контроля фактического расхода топлива.

Стохастический процесс потребления топлива судовыми энергетическими установками обусловлен целым рядом факторов. К примеру, на показатели работы судового дизеля заметное влияние оказывает температура наружного воздуха, в связи с чем расход топлива пропорционально плотности наружного воздуха может быть меньше на 12,7 % или больше на 33 % по сравнению с показателями, определенными при нормальных условиях [3]. Помимо погодных условий, на величину удельного, часового и суточного потребления топлива оказывают влияние сочетание скорости судна, режима работы двигателя и положения органа управления [4, 5].

Кроме того, следует учитывать, что условия производства полезной работы при сгорании топлива в тепловой машине можно отнести к процессам, протекающим в частично диссипативной среде, в которой энергия упорядоченных движений необратимым образом переходит в энергию неупорядоченных (хаотических) движений. Любая разность потенциалов (разность температуры, давления, уровня внешней нагрузки энергетической установки и т.п.) приводит к неравновесности диссипативной системы [6]. Кроме того, энергетическим установкам на основе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), являющихся машинами циклического действия, присуще наличие неравномерности вращения коленчатого вала, возникающей ввиду наличия целого ряда причин. Даже при условии постоянства величины внешней нагрузки работу СЭУ лишь условно можно отнести к работе на установившихся режимах, поскольку частота вращения коленчатого и гребного валов постоянно изменяется по причине цикличности работы двигателя внутреннего сгорания, вызывающей неравномерность во времени крутящего момента и сил инерции первого и второго порядков. Известны исследования, доказывающие, что при обеспечении идентичности протекания рабочих процессов отдельных циклов ДВС эффективная мощность двигателя повышается на величину от 5 до 7 %, а удельный эффективный расход топлива уменьшается на величину от 2 до 4 % [7].

В значительной степени это относится и к нашедшим широкое применение основным, вспомогательным и аварийным судовым дизель-генераторам, постоянное изменение потребляемой электрической мощности которых требует непрерывного поддержания постоянства частоты вращения для обеспечения необходимой частоты вырабатываемого переменного тока.

Методы исследования

При выборе методики определения энергетической эффективности судовой энергетической установки необходимо учитывать сочетание следующих необходимых условий:

- обеспечение контроля с учетом стохастически изменяющихся текущих значений расхода топлива;
- минимизация затрат на приобретение и использование средств контроля.

Решение этих двух поставленных задач является взаимосвязанным процессом, так как требует либо непрерывного, либо дискретного контроля с незначительным интервалом получения информации. Систему контроля следует рассматривать как совокупность объекта контроля и контрольного (измерительного) устройства, процесс взаимодействия которых ведет к обеспечению поставленной цели контроля. Первоочередное значение при этом приобретает выбор среди множества возможных показателей качества одного, наиболее удобного и значимого диагностического параметра, позволяющего, в том числе, осуществлять дистанционный мониторинг топливно-энергетических характеристик.

Ответ на вопрос об эффективности того или иного параметра можно получить известными из практики применения технического мониторинга машин на основе стратегии рискоориентированного обслуживания или же посредством оценки удельных вероятностных затрат на проведение контроля. Рискоориентированный подход к организации контроля основан на определении зоны минимизации сопутствующих процессу контроля затрат и выбора наиболее эффективных механизмов управления рисками возникновения отказов. При неоспоримых преимуществах данной методики она требует выполнения сложного многокритериального факторного анализа, что затрудняет выбор в условиях наличия большого количества разнообразных методов контроля и варьирования реальных условий эксплуатации СЭУ. В связи с этим более предпочтительной является оценка энергетической эффективности путем определения удельных вероятностных затрат на проведение контроля [8].

Важнейшими информационными показателями систем контроля можно считать информативность системы, характеризующую объем получаемой информации; способность системы одновременно обрабатывать определенное количество информации; достоверность полученной информации, определяемую метрологическими показателями средств измерения параметры устойчивости к воздействию помех. Качество технического обеспечения контроля определяется сложностью системы, ее надежностью, оперативностью измерений (длительностью выполнения контроля), мобильностью и стоимостью. В качестве количественного показателя сложности системы может служить, к примеру, число отдельных блоков, элементов или подсистем.

При оценке эффективности систем контроля неизбежно возникает проблема недостаточности одного критерия для выбора метода контроля и его аппаратной реализации. В этом случае необходимо использование множественных или векторных критериев, характеризующих с различных точек зрения степень готовности и приспособленности системы контроля к выполнению поставленных перед нею задач. В некоторых случаях при сравнительной оценке целесообразности выбора того или иного метода контроля это может значительно затруднить решение поставленной задачи или вообще стать непреодолимым препятствием.

Учет всех возможных показателей качества при оптимизации методов и технологических процессов контроля практически неосуществим. Однако использование свойства полного согласованного взаимодействия позволяет получить в достаточной мере оптимальную (рациональную) систему. Для получения оптимальной по заданным критериям эффективности системы контроля и ее отдельных подсистем предлагается использовать обобщенный целевой функционал, описывающий варьирование переменных затрат на осуществление процессов контроля:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i(t)dt = \sum_{i=1}^n \int_0^{T_k} C_u U_i(t) \rightarrow \min u_i \in \{U\} \quad (1)$$

где $Z_i(t)$ – целевой функционал i -й подсистемы контроля; T_k – необходимая продолжительность контроля; $U_i(t)$ – относительные затраты на управление процессом контроля; C_u – стоимость средств контроля; $\{U\}$ – допустимое множество контрольных воздействий.

При выполнении условия (1) необходимо учитывать ряд ограничений, таких, как наличие текущих и планируемых ресурсов; возможность осуществления процесса контроля; возникновение производственных потерь при осуществлении процессов контроля; приспособленность конструкции машины для осуществления выбранного метода контроля. Выбор целевого функционала (критерия качества контроля) для определения максимума эффективности системы контроля или, наоборот, минимума затрат на осуществления контроля, предполагает два этапа его определения: обоснование некоторого обобщенного показателя качества системы или же набора таких показателей и назначение потерь (затрат) на получение выбранных показателей. Анализ затрат при сравнении различных контрольных систем может производиться на основании критерия величины средних затрат на реализацию различных вариантов контроля или же в качестве критерия оптимальности может выступать определенное заданное пороговое значение потерь. Также следует учитывать неизбежность потерь, связанных с неоптимальностью принятых решений, так как никакая система контроля не может быть настолько совершенной, чтобы избежать наличия погрешностей измерения.

Обозначим все виды потерь при организации контроля C_y . В общем виде данный параметр складывается из суммы отдельных составляющих суммарных затрат:

$$C_y = C_k + C_\delta + C_t; \quad (2)$$

где C_y – суммарные затраты на осуществление контроля; C_δ – затраты от погрешностей измерения; C_t – затраты, связанные с простоем машин при проведении контроля.

В формуле (2) затраты C_y определяются выражением:

$$C_k = C_u + C_m + C_p; \quad (3)$$

где C_u – стоимость средств контроля; C_m – стоимость проведения технологических операций контроля; C_p – стоимость обработки результатов контроля; при этом вторая и третья составляющие данного вида затрат могут быть объединены, а вторая составляющая C_m может быть минимизирована путем организации непрерывного контроля без необходимости простоев машин.

Затраты от погрешностей измерения складываются из непосредственных эксплуатационных затрат от неточности результатов контроля и затрат от погрешности принимаемых по результатам измерения решений.

Таким образом, при обеспечении необходимого качества контрольных операций необходимо иметь в виду, что контроль необходимых для учета и планирования показателей энергетической эффективности подвижного состава параметров может оказаться неэффективным по причине высокой стоимости приобретения и обслуживания средств контроля. Кроме того, выбранные технологические и организационные мероприятия не должны приводить к затратам, связанным с невыполнением основных производственных задач.

Повышение точности измерений, широко применяемых объемных методов контроля расхода жидкого или газообразного топлива путем использования современных микрокомпьютерных технологий не способно полностью устранить дестабилизирующее влияние стохастичности рабочих процессов на флуктуацию измеряемых параметров [5].

Наличие неустановившихся режимов работы является характерным для условий эксплуатации энергетических установок специального подвижного состава. Работу дизель-генераторной установки даже при постоянных параметрах внешней нагрузки и угловой скорости коленчатого вала можно считать работой на установившемся режиме лишь условно, поскольку частота вращения коленчатого вала ДВС подвержена постоянным изменениям из-за наличия неравномерности во времени крутящего момента, сил инерции первого и второго порядков, крутильных колебаний валов, колебаний внешней нагрузки и непрерывной работы регулятора частоты вращения. Применительно к оценке энергетической эффективности можно утверждать, что в условиях стохастического изменения внешней нагрузки СЭУ в сочетании с неравномерностью термодинамических процессов теплового двигателя первоочередным техническим мероприятием является регистрация потока энергии, а не массы расходуемых дизелем топлива и воздуха [9].

Наиболее эффективными в условиях эксплуатации представляются методы оценки расхода топлива и эффективной мощности судовых дизелей по частоте вращения коленчатого вала и положения органа топливоподачи [10]. Вместе с тем и эти процедуры должны рассматриваться в динамике, так как внешние и внутренние показатели функционирования энергетической установки непрерывно изменяются в течение времени и оказывают существенное влияние на измеренные значения расхода топлива [11].

Результаты

Для регистрации потока энергии с целью достоверной оценки параметров энергоэффективности и с учетом стохастического характера изменения текущих значений расхода топлива и необходимости минимизации затрат на приобретение и использование средств контроля применительно к дизель-генераторным установкам (ДГУ) предлагается реализация следующего алгоритма (рис. 1).

Алгоритм реализован в опытном образце аналитической системы контроля энергетической эффективности дизель-генератора, состоящей из монтажного шкафа, датчиков силы тока, измерителя напряжения, микроконтроллера для обработки результатов измерений, информационного дисплея, GSM-модуля, модуля сбора и передачи данных и соединяющей аппаратуры (рис. 2).

Реализация предложенного алгоритма позволяет оценивать, сохранять в памяти устройства и передавать по каналам связи удаленным пользователям следующие параметры:

- координаты места текущего измерения;
- частоту вращения коленчатого вала двигателя;
- режим работы дизель-генераторной установки (холостой или рабочий ход);
- время работы дизель-генератора на определенном режиме;
- величину силы тока и напряжение на каждой из трех фаз ДГУ;
- техническое состояние генераторной установки;
- потребляемую электрическую мощность;
- текущие и суммарные значения энергетической эффективности на основе зависимостей расхода топлива от потребляемой мощности.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки энергетической эффективности дизель-генераторной установки



Рис.2. Монтажный блок аналитической системы контроля энергетической эффективности

При необходимости мониторинга технического состояния дизеля возможна установка дополнительных датчиков для контроля параметров работы дизеля, например, датчиков давления масла, температуры охлаждающей жидкости, давления наддувочного воздуха.

Обсуждение

Контроль фактического времени работы энергетической установки на конкретном нагрузочном режиме позволяет высказать предположение о перспективности данного способа для повышения эффективности оценки топливной экономичности энергетических установок. Это может быть достигнуто путем непрерывного дискретного измерения с привязкой ко времени и координатам нахождения судна либо наземной машины значений силы тока на каждой из фаз генератора и напряжения в коротком временном интервале 2 с. Такое решение позволяет исключить влияние переходных процессов на результаты измерений и повысить точность оценки текущих значений мощности дизель-генераторной установки и реальных значений расхода топлива. Потребляемая электрическая мощность дизель-генератора определяется путем вычисления произведения силы тока на напряжение. Для перевода результатов измерения параметров токовой нагрузки в значения расхода топлива используется внешняя скоростная характеристика дизеля и экспериментальные данные тарировки показаний. Обработка и регистрация результатов измерений осуществляется посредством вывода информации на информационный дисплей, записи показаний в табличном виде на карту памяти и, при необходимости, передачи в онлайн-режиме. Примеры записей полученной информации приведены на рисунке 3 [12].

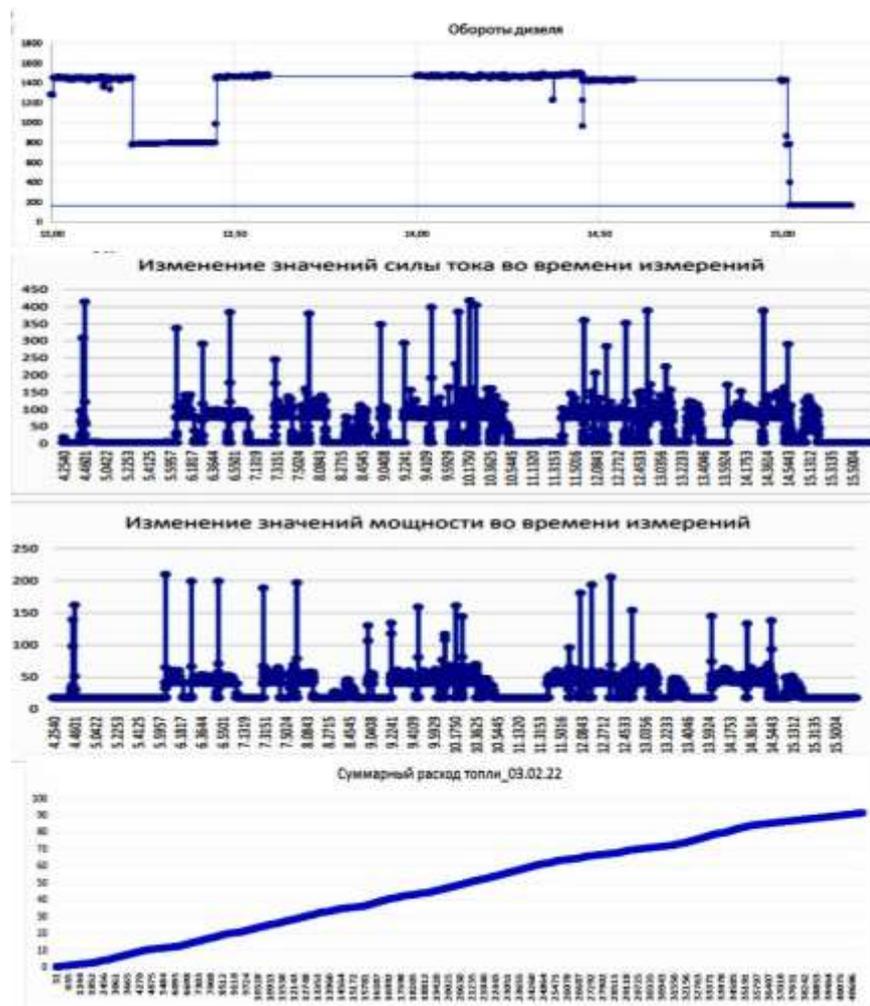


Рис.3. Примеры записей информации

Такое техническое решение способствует обеспечению контроля энергетической эффективности ДГУ, так как в этом случае обеспечиваются обоснованные ранее условия снижения стоимости контроля и учета стохастических процессов изменения во времени текущих значений расхода топлива. Невысокая стоимость и надежность непрерывного технического мониторинга объясняется использованием недорогих датчиков величины силы тока вместо традиционных объемных либо проточных датчиков расхода топлива.

Опытная эксплуатация аналитической системы контроля энергетической эффективности на транспортном дизеле 8ЧН 13/14 показала достаточную высокую корреляцию полученных результатов с данными контроля расхода топлива объемным методом, а также возможность обеспечения экономии топливно-энергетических ресурсов в размере от 4 до 6 %. Испытания, проводимые в течении календарного года, показали удовлетворительную надежность системы, устойчивость к вибрациям и изменению климатических условий.

Дальнейшим развитием предлагаемого подхода к контролю энергетической эффективности может являться использование для этих целей текущих значений

крутящего момента и мощности дизеля, полученных путем анализа динамических характеристик крутильно-колебательных систем валовых линий судовых энергетических установок [13].

Заключение

Контроль расхода топлива энергетических установок на основе регистрации текущих значений мощности обеспечивает выполнение двух обязательных условий эффективности технического мониторинга: учет стохастического характера изменения в условиях реальной эксплуатации текущих значений расхода топлива и минимизация затрат на приобретение и использование средств контроля. Применительно к дизель-генераторам это может быть реализовано посредством непрерывного измерения и фиксации величин силы тока и напряжения на каждой из трех фаз с дальнейшим последовательным вычислением текущих значений потребляемой мощности и их аппроксимации в показатели энергетической эффективности.

Испытания опытного образца системы оперативного контроля энергетической эффективности, использующей предлагаемый алгоритм контроля, показали перспективность массового применения предлагаемого метода. Кроме того, результаты опытной эксплуатации показали возможность использования алгоритма работы системы для диагностирования и дистанционного мониторинга технического состояния энергетических установок.

Благодарности

Авторы благодарят руководство Сибирского государственного университета путей сообщения и руководство Уральской дистанции по эксплуатации путевых машин – структурного подразделения ОАО «Российские железные дороги» за содействие в разработке и проведении эксплуатационных испытаний опытного образца аналитической системы контроля энергетической эффективности энергетических установок.

Список литературы

1. Чазов, А.В. Энергоэффективность в системе инновационной экономики / А.В. Чазов, Т.Ю. Чазова. Екатеринбург: УрФУ. 2020. – 171 с.
2. Кузин, В.С. Показатели загрязнения воздушной среды морским транспортом, их учет и контроль при нормировании расхода топлива / В.С. Кузин, Ф.И. Айкашев, А.Н. Минаев // Труды ДВГТУ. – Владивосток, 2003. – С. 206–211.
3. Соболенко, А.Н. Определение расхода топлива и моторного масла судовыми дизелями с учетом изменения внешних условий эксплуатации / А.Н. Соболенко, Р.Р. Симашов, Д.К. Глазюк, В.В. Маницын // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 3. – С. 62–73. DOI: 1024143/2073-1574-2017-3-62-73.
4. Gershanik, V.I. Fuel consumption and energy flows in marine power plants / V.I. Gershanik, V.P. Shostak // Marine Technical Notes. – November 2011. – No. 6/11. – P. 1–12.
5. Марков, В.А. Метод повышения топливной экономичности дизель-генераторной установки тепловоза в условиях эксплуатации / В.А. Марков, А.Ю. Епишин, С.С. Лобода // Известия высших учебных заведений машиностроения. – 2017. – № 1(682). – С. 55–62. DOI: 10.18698/0536-1044-2017-1-55-62.
6. Косарев, А.В. Динамика эволюции неравновесных диссипативных сред / А.В. Косарев. – Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2001. – 144 с.

7. Федянов, Е.А. Межцикловая неидентичность рабочего процесса в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным зажиганием / Е.А. Федянов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2014. – 111 с.
8. Kochergin, V. Optimization of Technical Monitoring Processes / V. Kochergin, D. Plotnikov, A. Ilinykh, S. Glushkov // TransSiberia 2020 Conference. Transportation Research Procedia 54 (2021). – P. 166–172.
9. Ахметов, Б.С. Обзор методов измерения объемного расхода жидкостей / Б.С. Ахметов, Ф.У. Маликова, П.Т. Харитонов // Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. – 2014. – № 2. – С. 110–117.
10. Фомин, Н.Н. Метод измерения расхода топлива и эффективной мощности судовых двигателей в условиях эксплуатации / Н.Н. Фомин, А.Е. Орлов // Речной транспорт (XXI век). – 2008. – № 2. – С. 79–81.
11. Глушков, С.С. Динамические характеристики ДВС / С.С. Глушков, С.П. Глушков, А.В. Савельев, А.С. Ярославцева // Сибирский научный вестник. – 2007. – № 10. – С. 164–167.
12. Зинченко, Е.С. Оценка энергетической эффективности подвижного состава / Е.С. Зинченко, В.И. Кочергин // Наука и молодежь СГУПС в третьем тысячелетии. – Вып. 11. – Новосибирск: Издательство СГУПС, 2021. – С. 31–37.
13. Глушков, С.П. Анализ динамических характеристик крутильно-колебательных систем судовых энергетических установок / С.П. Глушков, С.С. Глушков, В.И. Кочергин, Б.О. Лебедев // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 2(40). – Т. 2. – С. 59–66.

References

1. Chazov A.V., Chazova T.Yu. *Energoeffektivnost' v sisteme innovatsionnoi ekonomiki* [Energy efficiency in the innovative economy system]. Ekaterinburg: UrFU, 2020. 171 p. (In Russ).
2. Kuzin V.S., Aikashev F.I., Minaev A.N. Pokazateli zagryazneniya vozduшной sredy morskim transportom, ikh uchet i kontrol' pri normirovanii raskhoda topliva [Indicators of air pollution by sea, their accounting and control during fuel consumption rationing] // *Trudy DVG TU. Vladivostok*, 2003, pp. 206–211. (In Russ).
3. Sobolenko A.N., Simashov R.R., Glazyuk D.K., Manitsyn V.V. Opredelenie raskhoda topliva i motornogo masla sudovymi dizelyami s uchetom izmeneniya vneshnikh uslovii ekspluatatsii [Determination of fuel and engine oil consumption by marine diesel engines taking into account changes in external operating conditions] // *Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2017, no. 3, pp. 62–73. (In Russ). DOI: 1024143/2073-1574-2017-3-62-73.
4. Gershanik V.I., Shostak V.P. Fuel consumption and energy flows in marine power plants // *Marine Technical Notes*. November 2011, no. 6/11, pp. 1–12.
5. Markov V.A., Epishin A.Yu., Loboda S.S. Metod povysheniya toplivnoi ekonomichnosti dizel'-generatornoi ustanovki teplovoza v usloviyakh ekspluatatsii [Method of increasing fuel efficiency of diesel generator plant of diesel locomotive under operating conditions] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii mashinostroeniya*. 2017, no. 1(682), pp. 55–62. (In Russ). DOI: 10.18698/0536-1044-2017-1-55-62.
6. Kosarev A.V. *Dinamika evolyutsii neravnovesnykh dissipativnykh sred* [Evolution dynamics of non-equilibrium dissipative media]. Orenburg: ИПК «Gazprompechat» ООО «Orenburggazpromservis», 2001. 144 p. (In Russ).
7. Fedyanov E.A. Meztsiklovaya neidentichnost' rabocheho protsessa v porshnevnykh dvigatelayakh vnutrennego sgoraniya s prinuditel'nym zazhiganiem [Intercycle non-identity of the working process in piston internal combustion engines with forced ignition]. Volgograd: VolgGTU, 2014. 111p. (In Russ).
8. Kochergin V., Plotnikov D, Ilinykh A., Glushkov S. Optimization of Technical Monitoring Processes // TransSiberia 2020 Conference. Transportation Research Procedia 54, 2021, pp. 166–172.

9. Akhmetov B.S., Malikova F.U., Kharitonova P.T. Obzor metodov izmereniya ob'emnogo raskhoda zhidkostei [Overview of methods for measuring volumetric flow rate of liquids] // *Vestnik VKTU im. D. Serikbaeva*. 2014, no. 2, pp. 110–117. (In Russ).
10. Fomin N.N., Orlov A.E. Metod izmereniya raskhoda topliva i effektivnoi moshchnosti sudovykh dvigatelei v usloviyakh ekspluatatsii [Method of measuring fuel consumption and effective power of marine engines under operating conditions] // *Rechnoi transport (XXI vek)*. 2008, no.2, pp. 79–81. (In Russ).
11. Glushkov S.S., Glushkov S.P., Savel'ev A.V., Yaroslavtseva A.S. Dinamicheskie kharakteristiki DVS [Dynamic characteristics of internal combustion engine] // *Sibirskii nauchnyi vestnik*. 2007, no. 10, pp. 164–167. (In Russ).
12. Zinchenko E.S., Kochergin V.I. Otsenka energeticheskoi effektivnosti podvizhnogo sostava [Assessment of rolling stock energy efficiency] // *Nauka i molodezh' SGUPS v tret'em tysyacheletii*. Novosibirsk: Izdatel'stvo SGUPS, 2021, pp. 31–37. (In Russ).
13. Glushkov S.P., Glushkov S.S., Kochergin V.I., Lebedev B.O. Analiz dinamicheskikh kharakteristik krutil'no-kolebatel'nykh system sudovykh energeticheskikh ustanovok [Analysis of dynamic characteristics of torsional-oscillating systems of marine power plants] // *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2018, no. 2(40), vol. 2, pp. 59–66. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кочергин Виктор Иванович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО «СГУПС»), 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, e-mail: vkplus2011@yandex.ru

Victor I. Kochergin, Ph. Dr. Sci. Tech., Head of the Department of Technology of Transport Mechanical Engineering and Operation of Cars, Siberian Transport University, Russia, 191, D. Kovalchuk st, Novosibirsk, 630049, e-mail: vkplus2011@yandex.ru

Зинченко Евгений Сергеевич, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО «СГУПС»), 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, e-mail: askambaskal@mail.ru

Evgenii S. Zinchenko, Graduate Student of Department of Technology of Transport Mechanical Engineering and Operation of Cars, Siberian Transport University, Russia, 191, D. Kovalchuk st, Novosibirsk, 630049, e-mail: askambaskal@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022.
Received 17.06.2022; published online 20.09.2022.

**ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА
ТРАНСПОРТЕ**

ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT

УДК 656.621.2

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi278>

**Методический подход к обоснованию экономической
устойчивости операторов комбинированных пассажирских
перевозок**

А.П. Бафанов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8656-6456>

ГКУ НО Центр развития транспортных систем, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье представлен авторский подход к решению актуальной научно-практической задачи разработки методики обоснования экономической устойчивости оператора пассажирских перевозок, работающего в комбинированной системе на основе взаимодействия со смежными видами транспорта при организации эффективного маршрута. Во введении представлены результаты анализа основных показателей деятельности пассажирского транспорта на внутренних водных путях. Отмечается тенденция увеличения спроса на комбинированные маршруты пассажирских перевозок в региональном и межрегиональном сообщениях. Проанализированы научные исследования по рассматриваемому вопросу и существующие методы определения уровня экономической устойчивости транспортных компаний. На основе авторского анализа разработан подход к обоснованию экономической устойчивости операторов комбинированных пассажирских перевозок в виде дерева свойств модели оценки и ключевых индикаторов и коэффициентов с учетом особенностей работы внутреннего водного транспорта.

Ключевые слова: комбинированные пассажирские перевозки, оператор перевозок, экономическая устойчивость, показатели

**Methodological approach to substantiating the economic
sustainability of combined passenger transport operators**

Artem P. Bafanov

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8656-6456>

Abstract. The article presents the author's approach to determining the actual scientific and practical task of developing a methodology for justifying the economic stability of a passenger transportation operator operating in a combined system based on interaction with adjacent modes of transport when organizing an effective route. The introduction presents the results of the analysis of the main indicators of passenger transport activity on inland waterways. There is a trend of increasing demand for combined passenger transportation routes in regional and interregional communications. Scientific research on the issue under consideration and existing methods for determining the level of economic sustainability of transport companies are analyzed. Based on the author's analysis, an approach has been

developed to substantiate the economic sustainability of combined passenger transport operators in the form of a tree of properties of the evaluation model and key indicators and coefficients, taking into account the peculiarities of the operation of the river transport.

Keywords: combined passenger transportation, transportation operator, economic sustainability, indicators

Введение

Актуальность темы исследования обосновывается необходимостью научно-практических рекомендаций по положениямдополненной Транспортной стратегии РФ на период до 2035 года [1] в части приоритизации формирования единого цифрового транспортного пространства. Кроме того, актуальность данной статьи исходит из современного социального запроса населения по транспортному обслуживанию и запуску пилотных проектов трансформации транспортной сети в регионах России [2]. Основу данной реформы транспортной системы составляют мероприятия по обновлению подвижного состава и модернизации транспортной инфраструктуры, а также разработка перспективных мультимодальных маршрутов.

В рамках трансформации транспортной системы также планируется развитие внутреннего водного транспорта, который будет работать по принципу мультимодальных перевозок и выполнять транспортную корреспонденцию с использованием инновационных скоростных судов.

Таким образом, на внутренних водных путях будет формироваться система маршрутов на основе комбинированных пассажирских перевозок с наличием основного транспортного плеча по реке. Перевозка пассажиров будет организована по единому проездному документу и с единым тарифом.

Для управления подобными транспортными системами функции единого оператора может взять на себя основной перевозчик – эксплуатант маршрутной сети с использованием скоростных судов.

Целью данного исследования является разработка методического подхода к обоснованию экономической устойчивости операторов комбинированных пассажирских перевозок. Для реализации указанной цели были поставлены следующие задачи:

- сформировать статистическую базу исследования в части объемов пассажирских перевозок и перспективных направлений развития комбинированных систем с участием водного транспорта;
- разработать теоретических положений по вопросам экономической устойчивости транспортных систем и транспортных операторов;
- актуализировать существующие методические подходы к обоснованию экономической устойчивости с учетом специфики функционирования операторов комбинированных пассажирских перевозок;
- разработать систему показателей экономической устойчивости оператора комбинированных пассажирских перевозок с учетом особенностей функционирования внутреннего водного транспорта;
- выработать научно-практические рекомендации операторам комбинированных пассажирских перевозок по проблематике их экономической устойчивости.

Объектом исследования является система организации комбинированных пассажирских перевозок на водном и смежных видах транспорта. Предмет исследования –научно-методические положения по обоснованию экономической устойчивости операторов комбинированных пассажирских перевозок.

Современная экономическая теория подразумевает развитие экономических систем на основе тезиса об их экономической устойчивости. Экономическая устойчивость подразумевает способность экономической системы или экономического субъекта возвращаться в состояние равновесия при внешнем негативном воздействии. Такое воздействие на транспортные экономические системы оказывают негативные тенденции в экономике, нерешенные отраслевые проблемы, снижающие эффективность работы транспорта и т.д. При этом состояние равновесия экономического субъекта транспорта характеризуется сохранением производственного, технологического, коммерческого и финансового потенциала. Актуальность данного научного исследования заключается в необходимости решения задачи экономической устойчивости операторов комбинированных пассажирских перевозок с учетом современной экономической ситуации и особенностей эксплуатации инновационного пассажирского флота при отсутствии достаточной научно-методической базы обоснования.

Методы

Информационной базой исследования являются открытые источники информации, научные разработки в данной области, выполненные авторами, а также под их руководством, отчетные и статистические материалы исследований, проведенных в сфере транспортного обслуживания населения и пассажирских перевозок.

Методологическая база исследования: аналитические методы, системный и комплексный подходы к организационно-экономическому формированию региональной и межрегиональной воднотранспортной системы пассажирских перевозок.

Методы и теоретические вопросы проблем управления экономической устойчивостью хозяйствующих субъектов рассмотрены в трудах Л.И. Абалкина, Т.А. Акимовой, Е. Алтмана, А.И. Архипова, У. Бивера, В.В. Ковалева, Р.А. Кожевникова, В.И. Павлова, Н.С. Поповой, Б.А. Райзберга, В.К. Сенчагова, Е.М. Солосиной, А.Е. Суглобова, Л.Л. Терехова, В.В. Шлыкова, М.Е. Цибаревой и других. При этом особый интерес представляют актуальные научные исследования следующих авторов:

Арошидзе А.А. обоснован научный подход к оценке экономической устойчивости организаций железнодорожного транспорта РФ на основе совокупности их экономических характеристик [3].

Ботнарюк М.В. сформированы концептуальные основы и методологические принципы формирования института сетевых партнерских отношений в процессе оказания услуг морским транспортным узлом на основе стратегического альянса и деловой сети [4].

Коришевой О.В. разработаны и обоснованы методические основы управления экономической устойчивостью транспортных компаний в сфере грузовых железнодорожных перевозок с учетом требований экономической устойчивости и безопасности всего транспортного комплекса [5].

Садыковым Э.А. разработана система критериев оценки экономической устойчивости терминальных операторов на морском транспорте с использованием показателей их производственной и финансово-экономической деятельности [6].

Ризакуловым Ш.Ш. сформирован комплексный методический подход к системе управления железнодорожной компанией с учетом параметров экономической устойчивости [7].

Ширко Л.М. разработан методический подход к оценке уровня экономической безопасности в сфере дорожного хозяйства на основе системы сбалансированных показателей экономической безопасности предприятия [8].

Результаты

Обобщив указанные выше теоретические и научно-практические разработки, авторы определяют следующие факторы экономической устойчивости, свойственные операторам комбинированных пассажирских перевозок:

- использование инновационной техники и технологий в своей деятельности;
- информационно-аналитическая поддержка принятия управленческих решений;
- доступ к инвестициям для развития транспортно-логистической деятельности;
- оптимизация бизнес-процессов;
- оптимизация расходов транспортно-логистической деятельности;
- постоянный поиск новых рынков сбыта и увеличение коммерческой привлекательности услуг (маркетинговый аспект);
- повышение конкурентоспособности организации;
- снижение экономических рисков при перевозке пассажиров;
- транспортная безопасность.

Любое транспортное предприятие действует в условиях сложной, изменчивой экономической среды. При реализации стратегии развития следует разрабатывать только те продукты и оказывать только те транспортные услуги, которые отвечают актуальным требованиям потребителей и экономическим интересам самого транспортного оператора.

Для достижения целей исследования авторами были проанализированы статистические данные в сфере пассажирских перевозок [9,10]. Перевозки пассажиров внутренним водным транспортом осуществляются на территории 60 субъектов Российской Федерации. Практически в каждом регионе они имеют свои особенности, связанные с расположением региона, комплексностью его транспортной системы, наличием устойчивых связей с речными и морскими путями и др. Сведения о перевозках пассажиров на внутреннем водном транспорте представлены на рис.1.

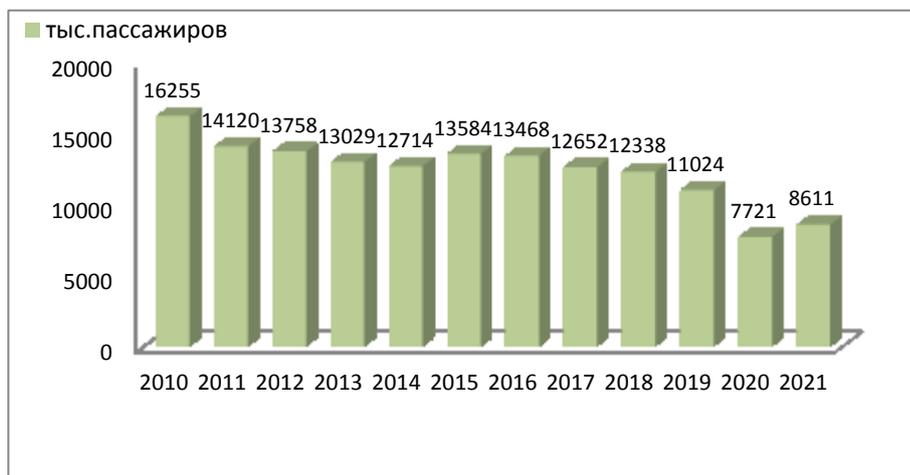


Рис. 1. Объем перевозок пассажиров внутренним водным транспортом РФ

Считается, что одной из главных причин сокращения объемов пассажирских перевозок является их экономическая неэффективность. Текущее состояние флота и инфраструктуры также является причиной, тормозящей развитие внутренних водных перевозок. При этом в последние годы обострилась проблема недостатка глубин для прохождения судов, и судовладельцы не могут гарантировать, что пассажирский транспорт не столкнется с трудностями прохождения сложных участков на реках. Данный фактор негативно влияет на имиджевую составляющую маршрутов. Кроме того, произошло перераспределение спроса на смежные виды транспорта, что позволило авто- и ж.д. перевозчикам более динамично развивать свою маршрутную сеть и качество обслуживания.

Кроме того, перевозки осуществляются в условиях неравномерной инфляции, резкого роста цен на энергоносители, ограниченному доступу к инвестиционным ресурсам, что увеличивает расходы судовладельцев и сокращает возможности обновления основных производственных фондов.

Указанные рассуждения подтверждаются результатами аппроксимации статистических данных по пассажирским перевозкам, представленными на рис. 2-3 по общественному транспорту всех отраслей и по внутреннему водному транспорту соответственно.

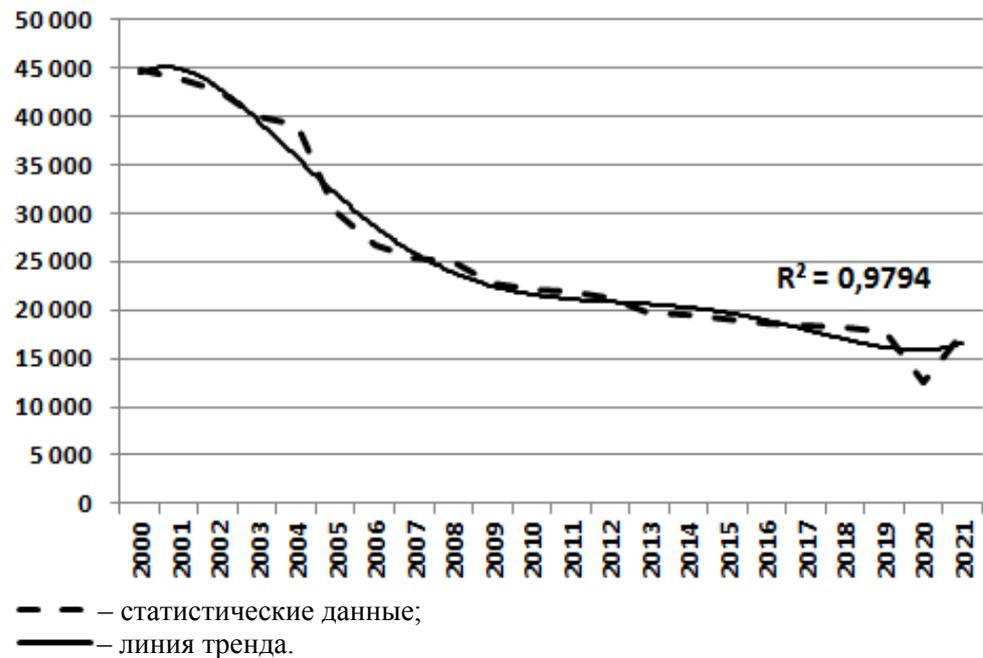


Рис. 2. Динамика перевозок пассажиров на транспорте Российской Федерации в соответствии со статистическими данными и по результатам аппроксимации (млн. чел.)

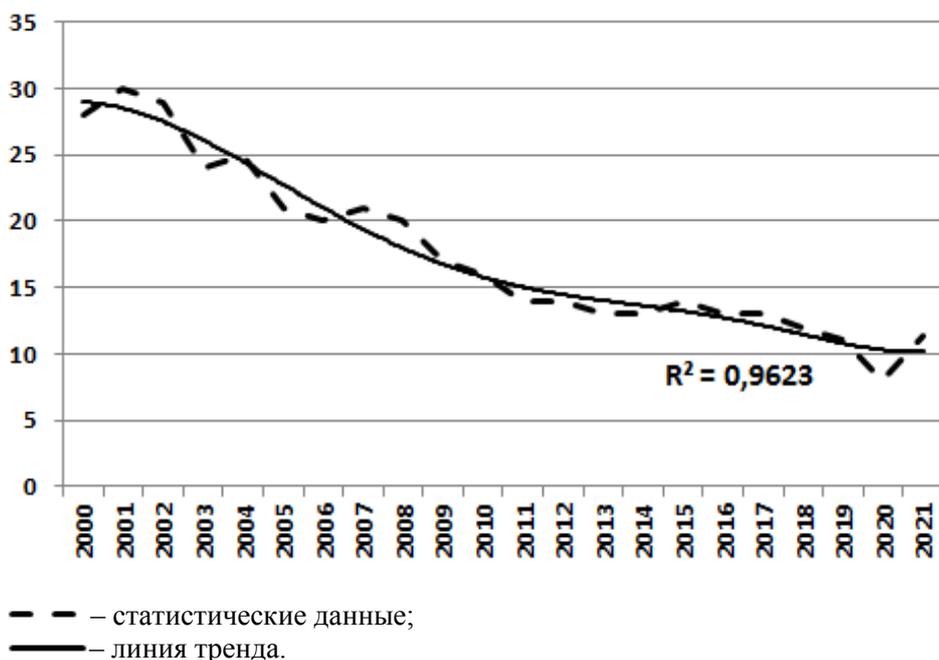


Рис. 3. Динамика перевозок пассажиров на внутреннем водном транспорте Российской Федерации в соответствии со статистическими данными и по результатам аппроксимации (млн. чел.)

В обоих случаях график, соответствующий распределению пассажиропотоков по годам на всех видах транспорта и на речном транспорте, в наибольшей степени имеет сходимость с аппроксимирующей функцией полинома шестой степени (алгебраическое уравнение вида $y(x) = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + fx^2 + gx + n$). При этом анализ графиков аппроксимирующих функций четко показывает, что спад в объемах перевозок был пройден в 2020-2021 годах и наступила фаза роста пассажиропотоков. Полученные и также показанные на рисунках значения критериев сходимости (R^2) подтверждают высокую вероятность данного прогноза (по всему транспорту $R^2 = 0,9794$; по внутреннему водному – $R^2 = 0,9623$).

Таким образом, показатели объема перевозок пассажиров и пассажирооборота на речном транспорте в 2022 года, по авторской оценке, могут показать рост в размере 5-10% за счет влияния санкционной политики зарубежных стран и ограничений международной мобильности населения страны. Вследствие этого фактора обоснованным является и ожидание дополнительного пассажиропотока в виде туристов на внутренних направлениях пассажирских перевозок.

В структуре пассажирских перевозок преобладают региональные и межрегиональные перевозки (рис.4-5), которые как раз и подпадают под категорию перспективных комбинированных пассажирских сообщений.



Рис. 4. Структура речных пассажирских перевозок по видам сообщения



Рис.5. Пассажирооборот по видам сообщения за 2019 г.

Таким образом, формирование развитой маршрутной сети комбинированных пассажирских перевозок будет очень востребовано населением. В связи с этим возникает необходимость научно-методического обоснования устойчивого функционирования транспортных операторов на внутренних водных путях России и проработки системы их экономической безопасности. По мнению авторов, такая система является комплексом организационно-управленческих мер, направленных на защиту стратегических интересов предприятия, минимизацию внешних и внутренних угроз для достижения устойчивого развития. При этом система экономической устойчивости оператора комбинированных пассажирских перевозок должна

основываться на качественном планировании и чёткой реализации таких мероприятий. Таким образом, система обеспечения экономической безопасности транспортного оператора должна являться составной частью стратегии развития предприятия. В рамках данной системы необходимо разрабатывать комплексные показатели экономической устойчивости транспортного оператора. Общий подход к формированию системы экономической устойчивости оператора комбинированных перевозок представлен на рис.6.



Рис. 6. Системы экономической устойчивости оператора комбинированных перевозок

Система комплексных показателей экономической устойчивости должна соответствовать факторам экономической устойчивости и отражать основные негативные воздействия внешней и внутренней среды на оператора комбинированных пассажирских перевозок, основными из которых являются – табл.1:

Таблица 1

Виды негативного воздействия внешней среды на устойчивое развитие оператора комбинированных пассажирских перевозок

Виды негативного воздействия	Негативные факторы
Политико-правовые	- ограничения доступа к инновационной технике и технологиям в результате политической ситуации; - государственная политика в транспортной сфере (сложное законодательство);
Климатические и природные	- сезонность речных пассажирских перевозок;
Технологические	- отсутствие отечественных научно-технических и конструкторских разработок; - ограничения в связи с соблюдением требований транспортной безопасности; - отставание разработок по инфраструктуре
Социально-экономические	- экономическая ситуация в стране (рост цен на ГСМ и запчасти, дорогие кредиты и сокращение гос. поддержки); - сложная рыночная конъюнктура и неточность информации;

	<ul style="list-style-type: none"> - низкая конкурентоспособность коммерческих тарифов на речные пассажирские перевозки по сравнению с тарифами сухопутных видов транспорта; - уровень платежеспособного спроса населения.
--	--

Для минимизации отрицательного воздействия приведенных негативных факторов должны быть разработаны меры защиты устойчивого развития (экономической устойчивости) оператора комбинированных пассажирских перевозок. В их составе авторы предлагают учитывать следующие:

- развитие правовых норм и классификации в сфере комбинированных перевозок;
- организационно-управленческая составляющая (надежность контрактных взаимодействий оператора с контрагентами в виде привлекаемых сторонних перевозчиков, терминальных операторов, администрации регионов; квалификация управленческого персонала и кадровая политика оператора; системы поддержки принятия управленческих решений, в том числе информационные базы знаний);
- надежность работы основных фондов (ресурс транспортных средств и причальных сооружений);
- маркетингово-логистическая составляющая (разработка эффективных маршрутов и тарифов);
- финансовая составляющая (минимизация кредиторской задолженности, доступность субсидий и кредитов);
- составляющая безопасности транспортных процессов (квалификация производственного персонала, стандартизация и сертификация оборудования в пересадочных пунктах, пунктах взаимодействия и связи).

Схематично взаимосвязь системы экономической устойчивости оператора комбинированных пассажирских перевозок представлена на рис. 7.



Рис. 7. Схематичное представление взаимосвязи внешнего возмущающего воздействия системы экономической устойчивости оператора комбинированных пассажирских перевозок

В рамках каждого из контекстов представленных мер воздействия авторами предлагается система сбалансированных показателей экономической устойчивости оператора комбинированных пассажирских перевозок:

- индикатор организационно-управленческой составляющей экономической устойчивости;
- индикатор надежности основных фондов как составляющая экономической устойчивости;
- индикатор финансовой составляющей экономической устойчивости;
- индикатор маркетингово-логистической составляющей экономической устойчивости;
- индикатор безопасности как составляющая экономической устойчивости.

Общий методический подход, выраженный деревом свойств модели оценки экономической устойчивости оператора комбинированных пассажирских перевозок, будет выглядеть следующим образом – рис.8.

Совокупность индикаторов экономической устойчивости оператора комбинированных пассажирских перевозок				
организационно-управленческой составляющей	надежности основных фондов	финансовой составляющей	маркетингово-логистической составляющей	транспортной безопасности
Свойства 2-го уровня (коэффициенты)				
- доля эффективных управленческих решений с учётом транспортного законодательства - кадрового потенциала - уровня зарплаты персонала к среднему значению по региону - доля специалистов с высшим образованием - коэффициент надежности поставщиков - доля разработанных ситуационных решений - коэффициент надежности контрактных взаимодействий (доля смарт-контрактов)	- доля новых транспортных средств - рост пассажиро-оборота - доля несостоявшихся рейсов из-за отказа основных фондов - производительность труда - готовность основных фондов к навигации	- соотношение дебиторской и кредиторской задолженности - рентабельность продаж - рентабельность основных фондов - отношение прибыли к инвестициям - фондоотдача - оборачиваемость оборотных средств	- доля прибыльных маршрутов - доля маршрутов, разработанных на основе маркетинговых методов - тарифная политика - доля цифровизации бизнес-процессов - доступность удаленного заказа услуги	- доля несостоявшихся рейсов из-за аварий и нештатных ситуаций - коэффициент безопасности и надежности связи - доля персонала, прошедшего повышение квалификации - доля застрахованных рисков - коэффициент безопасности и надежности транспортных процессов

Рис. 8. Дерево свойств модели оценки экономической устойчивости оператора

С учетом вышеописанной системы индикаторов экономической устойчивости может быть определена в виде весовых коэффициентов, определённых экспертным путем.

Обсуждение

Таким образом, на основе исследования стратегических задач развития транспортной отрасли, теоретических положений по вопросам экономической устойчивости транспортных систем и транспортных операторов, научно-методических подходов к обоснованию системы управления экономической устойчивости был развит методический подход к обоснованию экономической устойчивости оператора комбинированных пассажирских перевозок с учетом особенностей функционирования внутреннего водного транспорта на основе предложенной системы показателей.

В качестве рекомендаций можно заключить, что сделанные научно-практические изыскания позволят операторам комбинированных пассажирских перевозок решить часть проблем, связанных с их экономической устойчивостью.

Заключение

В заключение авторы хотели бы отметить, что практическая ценность результатов исследования состоит в реальной оценке современного состояния пассажирских перевозок с участием инновационного скоростного флота, перспектив его развития, обоснования экономических и организационных условий формирования комбинированной системы пассажирских перевозок. Это позволит на уровне отраслевых компаний, а также региональных властей более четко определиться с направлениями и мерами по развитию скоростных пассажирских перевозок с участием водного транспорта, транспортно-логистической инфраструктуры региона.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года №3363-р "Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года". Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577>.
2. *Бафанов, А.П.* Анализ современного состояния и направлений развития пассажирского транспорта до 2035 г. *Научные проблемы водного транспорта.* Номер 70. 2022. С.98-109. DOI: 10.37890/jwt.vi70.242
3. *Арошидзе, А.А.* Оценка экономической устойчивости организаций железнодорожного транспорта Российской Федерации. *Экономические науки.* Номер 115. 2014. С. 30-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23000973>
4. *Ботнарюк, М.В.* Повышение конкурентоспособности отечественных морских портов через взаимодействие бизнеса и власти / М.В. Ботнарюк, Р.В. Мисник // *Вестник транспорта Поволжья.* Самара: Самарский государственный университет путей сообщения. – № 4 (28). – 2011. – С. 14-20.
5. *Коришева, О.В.* Элементы системы управления экономической устойчивостью грузовых железнодорожных транспортных компаний. *Транспортное дело России.* Номер 1. 2014. С. 218-220. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21561783>
6. *Садыков, Э.А.* Диагностика экономической устойчивости морских портовых операторов (на материалах предприятий Азово-Черноморского бассейна) / Э.А. Садыков // *Транспортное дело России.* 2021. №1. – С. 5-11

7. Ризакулов, Ш.Ш. Методический подход к моделированию экономической устойчивости железнодорожной компании / Ш.Ш. Ризакулов // Наукоеведение. – 2017. – №3 (40), май-июнь. – С. 18–27.
8. Ширко, Л.М. Система показателей оценки экономической безопасности предприятия в сфере дорожного хозяйства. Экономика, предпринимательство и право. Том 10. Номер 12. 2020, С. 3286-3295. DOI: 10.18334/epp.10.12.111326
9. Информационно-статистический бюллетень «Транспорт России» 2021. Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/ministry/results/180/documents>
10. Перевозки пассажиров по видам транспорта общего пользования по Российской Федерации годы (с 2000 г.) Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>

References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 27 noyabrya 2021 goda №3363-r "Ob utverzhdenii Transportnoj strategii Rossijskoj Federacii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda". Rezhim dostupa: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577>.
2. Bafanov, A.P. Analiz sovremennogo sostoyaniya i napravlenij razvitiya passazhirskogo transporta do 2035 g. Nauchnye problemy vodnogo transporta. Nomer 70. 2022. S.98-109. DOI: 10.37890/jwt.vi70.242
3. Aroshidze, A.A. Ocenka ekonomicheskoy ustojchivosti organizacij zheleznodorozhnogo transporta Rossijskoj Federacii. Ekonomicheskie nauki. Nomer 115. 2014. S. 30-34. Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23000973>
4. Botnaryuk, M.V. Povyshenie konkurentosposobnosti otechestvennyh morskikh portov cherez vzaimodejstvie biznesa i vlasti / M.V. Botnaryuk, R.V. Misnik // Vestnik transporta Povolzh'ya. Samara: Samarskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya. – № 4 (28). – 2011. – С. 14-20.
5. Korisheva, O.V. Elementy sistemy upravleniya ekonomicheskoy ustojchivost'yu gruzovyh zheleznodorozhnyh transportnyh kompanij. Transportnoe delo Rossii. Nomer 1. 2014. S. 218-220. Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21561783>
6. Sadykov, E.A. Diagnostika ekonomicheskoy ustojchivosti morskikh portovyh operatorov (na materialah predpriyatij Azovo-CHernomorskogo bassejna) / E.A. Sadykov // Transportnoe delo Rossii. 2021. №1. – С. 5-11
7. Rizakulov, SH.SH. Metodicheskij podhod k modelirovaniyu ekonomicheskoy ustojchivosti zheleznodorozhnoj kompanii / SH.SH. Rizakulov // Naукоеведение. – 2017. – №3 (40), maj-iyun'. – С. 18–27.
8. SHirko, L.M. Sistema pokazatelej ocenki ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatiya v sfere dorozhnogo hozyajstva. Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo. Tom 10. Nomer 12. 2020, S. 3286-3295. DOI: 10.18334/epp.10.12.111326
9. Informacionno-statisticheskij byulleten' «Transport Rossii» 2021. Rezhim dostupa: <https://mintrans.gov.ru/ministry/results/180/documents>
10. Perevozki passazhirov po vidam transporta obshchego pol'zovaniya po Rossijskoj Federacii gody (s 2000 g.) Rezhim dostupa: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бафанов Артем Павлович, директор Центра развития транспортных систем, г. Нижний Новгород, ул. Ошарская 63, 603115, e-mail: kafedra-lim@yandex.ru

Artem P. Bafanov, Director of the *Center for the Development of Transport Systems*, Nizhny Novgorod, 63 Osharskaya str., 603115, e-mail: kafedra-lim@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 31.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 31.05.2022; published online 20.09.2022.

УДК 338.27: 656.62
<https://doi.org/10.37890/jwt.v72.287>

Прогнозирование объемов перевозок пассажиров внутренним водным транспортом

О.Л. Домнина¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9098-313X>

Ж.Ю. Шалаева¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5452-2216>

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

Аннотация. В статье рассмотрены применяемые в настоящее время методы прогнозирования объемов пассажирских перевозок. Авторами были рассмотрены как статистические методы прогнозирования, основанные на основе построения линий тренда, так и методы, учитывающие кроме трендовых значений показателей объемов перевозок иные факторы, оказывающие влияние на прогнозные значения работы пассажирского транспорта. На примере водного транспорта были рассчитаны прогнозные значения объемов перевозок различными методами, а также проведен анализ полученных результатов расчетов.

Ключевые слова: внутренний водный транспорт; прогноз; математические модели; прогнозирование объемов; перевозка пассажиров; методы экстраполяции; факторный анализ

Forecasting the volume of passenger transportation by inland water transport

Olga L. Domnina¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9098-313X>

Zhanna Yu. Shalaeva¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5452-2216>

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

Abstract. The article discusses the currently used methods of forecasting passenger traffic volumes. The authors considered both statistical forecasting methods based on the construction of trend lines, and methods that take into account, apart from the trend values of traffic volume indicators, other factors that affect the forecast values of passenger transport. On the example of water transport, the forecast values of traffic volumes were calculated by various methods, and the analysis of the calculation results was carried out.

Keywords: inland water transport; program; mathematical models; volume forecasting; transportation of passengers; extrapolation methods; factor analysis

Введение

Задача прогнозирования объемов перевозки пассажиров является важной для деятельности транспортных предприятий. Она помогает компаниям принимать оптимальные управленческие решения, удовлетворять спрос на услуги, повышать качество транспортного обслуживания клиентов. Зная прогнозируемые объемы перевозок, туристические и пассажирские предприятия могут выбирать оптимальные

транспортные средства и их количество, оптимизировать свои маршруты, строить свою тарифную и инвестиционную политику.

Причем компании должны иметь инструмент такого прогнозирования для регулярного пересмотра своей политики вследствие изменения потребностей клиентов из-за изменения факторов, влияющих на работу транспорта. Так, например, некоторые разделы Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [1] уже потеряли свою актуальность в связи с изменившейся политической ситуацией и потребностями настоящего времени.

Вопросам прогнозирования пассажиропотоков занимались Бутыркин А.Я, Куликова Е.Б., Вакуленко С.П., Копылова Е.В. и другие авторы [2-9]. Но в основном они опирались только на анализ динамических рядов. Методы анализа динамических рядов используются в различных отраслях и сферах деятельности. Данные методы являются достаточно универсальными, особенно при наличии обширной статистической базы за продолжительный период времени. При неразвитости указанной выше статистической базы или ее дискретности (например, отсутствие значений показателей за различные периоды или их несопоставимость вследствие изменений методов сбора, обработки и анализа данных) динамический ряд не позволяет получить достаточно объективный прогноз.

Кроме того, использование исключительно методов аппроксимации снижает точность прогноза, в том числе потому, что такие методы опираются только на сложившиеся в прошлом тенденции. Вместе с тем, с одной стороны, пассажирский транспорт за предыдущее десятилетие претерпел значительные изменения. Традиционные виды пассажирского транспорта за эти годы изменились. Появились регулярные скоростные поезда, возрождается скоростной флот. С другой стороны, под воздействием пандемии и изменяющейся политической ситуации в мире, меняются реальные доходы и потребности населения, что не может не сказываться на прогнозируемом спросе на перевозки. Кроме того, на объемы перевозок конкретным видом транспорта оказывает влияние и ситуация с перевозками пассажиров другими видами транспорта.

Целью данной работы является совершенствование метода прогнозирования объемов перевозок пассажиров внутренним водным транспортом.

Для реализации этой цели были поставлены следующие задачи:

- рассмотрение методов прогнозирования пассажирооборота на транспорте с использованием статистики;
- выявление факторов, влияющих на объемы перевозок пассажиров;
- прогноз объемов перевозок пассажиров на внутреннем водном транспорте.

Материалы и методы

В работе авторами были рассмотрены сначала статистические методы прогнозирования на основе построения линий тренда: линейная, логарифмическая, полиномиальная, степенная, экспоненциальная. Расчет был выполнен с использованием программы Microsoft Excel. Выбор линии тренда был выполнен на основании величины достоверности аппроксимации.

Прогноз объемов перевозок был дополнен методом средней взвешенной и методом скользящей средней.

Суть сглаживания с помощью скользящей средней состоит в вычислении среднего арифметического числа на основании трех значений фактических объемов, выполняется по формуле:

$$Q_t^c = \frac{\sum_{i=t-1}^{t+1} Q_i}{n} \quad (1)$$

где Q_t^c - значение скользящей средней в год t ;

Q_i – фактические значения объемов перевозок за годы из диапазона i ;

n – число уровней сглаживания (в нашем случае принимаем $n=3$).

Вычисление скользящего среднего начинается со второго значения фактического объема. Прогнозируемое значение объема с помощью метода скользящей средней находится по формуле:

$$Q_{N+j}^{np} = Q_{N+j-2}^c + \frac{1}{n} \cdot (Q_{N+j-1} - Q_{N+j-2}) \quad (2)$$

Здесь N – количество лет за который анализируются фактические объемы перевозок;

j – количество лет вперед для прогнозирования.

Метод экспоненциально взвешенных средних может быть использован для краткосрочного и среднесрочного прогнозирования. Его суть заключается в расчете для каждого года экспоненциально взвешенных средних значений по формуле:

$$Q_1^{эвс} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N} \quad (3)$$

$$Q_{t+1}^{эвс} = Q_t \cdot \alpha + (1 - \alpha) \cdot Q_t^{эвс} \quad (4)$$

где $Q_t^{эвс}$ – значение экспоненциально взвешенной средней в год t ;

Q_t – фактические значения объемов перевозок в год t ;

α – параметр сглаживания, который находится как:

$$\alpha = \frac{2}{N + 1} \quad (5)$$

На основании указанных методов был получен итоговый прогноз, основанный на указанных методах прогнозирования динамического ряда.

Далее экспертным путем были выявлены факторы, влияющие на объем перевозок пассажиров. По выявленным факторам была собрана статистика их изменений. Прогнозирование объемов перевозок было выполнено с помощью модифицированной модели Фишера [10]:

$$Q_{п} = Q_{тр} \cdot [(1 + T_q) \cdot (1 + T_f)] / (1 + T_{фo}) \quad (6)$$

где $Q_{п}$ — прогнозируемая величина объемов перевозок, учитывающая влияние факторов и статистических расчетов;

$Q_{тр}$ — величина объема перевозок за период, предшествующий прогнозируемому, то есть за базисный период;

T_q — темп прироста объемов в прогнозируемом периоде, выраженный десятичной дробью;

T_f — сумма произведений удельного веса вида пассажирских перевозок на сумму прогнозируемых темпов прироста соответствующих факторов влияния, выраженная десятичной дробью;

$T_{фo}$ — сумма произведений удельного веса вида пассажирских перевозок на сумму прогнозируемых темпов прироста соответствующих факторов обратно пропорционального влияния, выраженная десятичной дробью.

Результаты

Статистические данные по объемам перевозок пассажиров водным транспортом были взяты авторами на основании официальной статистики Росстата (табл. 1).

Таблица 1

Динамика объемов перевозок пассажиров водным транспортом за 2015-2021 годы, млн. чел. [11]

Вид транспорта	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
внутренний водный транспорт	14	13	13	12	11	8	8,9

Обработка данных с помощью программы Microsoft Excel позволила построить следующие линии трендов (табл. 2).

Таблица 2

Построение линий трендов изменения объемов перевозок

№	Линия тренда	Уравнение	R ²
1	Линейная зависимость	$y = -0,975x + 15,314$	0,8811
2	Логарифмическая зависимость	$y = -2,852\ln(x) + 14,887$	0,7574
3	Полиномиальная, степенная зависимость	$y = -0,0655x^2 - 0,4512x + 14,529$	0,893
4	Экспоненциальная зависимость	$y = 16,014e^{-0,089x}$	0,8393
5	Степенная зависимость	$y = 15,332x^{-0,257}$	0,7013

Из табл. 2 видно, что наибольшую точность прогнозирования имеет построение линии тренда полиномиальной степенной зависимости второго порядка зависимости и линейной зависимостей. Прогнозирование по ним показано на рис. 1.

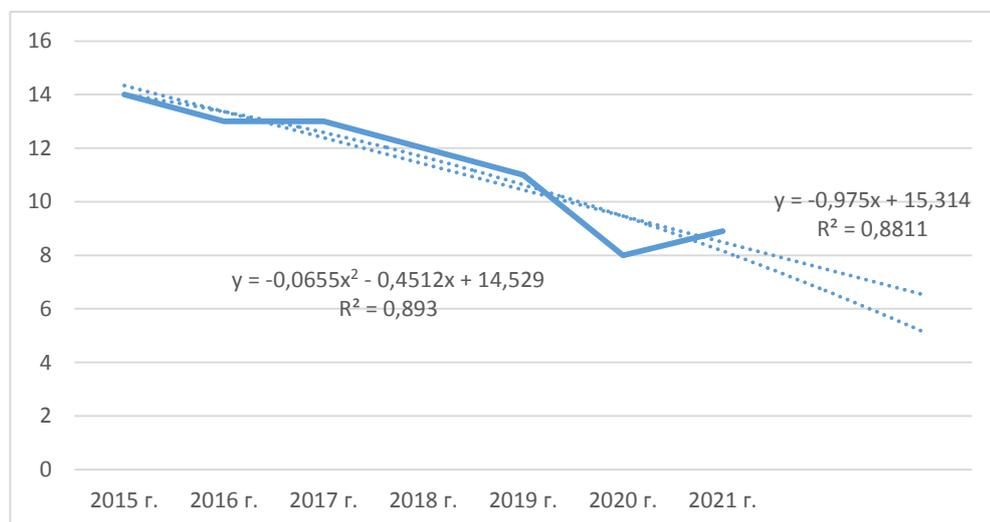


Рис 1. Прогноз объемов пассажирских перевозок на внутреннем водном транспорте (линейная и полиномиальная зависимости)

Прогнозирование объемов перевозок методом скользящей средней и средней взвешенной сведен в табл. 3, а итоговый прогноз в табл. 4.

Таблица 3

Прогнозирование объемов перевозок пассажиров методом скользящей средней

Год	Объем перевозок пассажиров, млн. чел.	Скользящее среднее значение третьего порядка, млн. чел.	Экспоненциально взвешенная средняя, млн. чел.
2015	14	-	11,41
2016	13	13,33	12,06
2017	13	12,67	12,30
2018	12	12,00	12,47
2019	11	10,33	12,35
2020	8	9,30	12,02
2021	8,9	-	11,01

Таблица 4

Итоговое прогнозирование объемов перевозок пассажиров с учетом методов экстраполяции

Метод прогнозирования	2022 (прогноз)	2023 (прогноз)
Линия тренда (линейная)	7,5	6,5
Линия тренда (полиномиальная)	6,7	5,2
Скользящей средней третьего порядка	9,6	9,1
Экспоненциально взвешенной средней	10,5	10,3
Итоговый прогноз методами экстраполирования	8,6	7,8

Как видно из табл. 4 все методы экстраполирования дают достаточно существенно различающийся прогноз. При этом все указанные методы дают прогноз снижения объемов перевозок пассажиров в 2023 году по сравнению с 2022.

Вместе с тем, нельзя опираться в прогнозе исключительно на сложившиеся в прошлом тенденции. События последних лет (пандемия, введение санкций в отношении России) показывают необходимость учета изменяющихся факторов, оказывающих влияние на объем перевозок.

Как показывают исследования авторов, на объемы перевозок пассажиров влияют такие макроэкономические факторы как: реальные доходы населения, численность населения страны и тенденции ее изменения; динамика внутреннего валового продукта (далее ВВП); индекс изменения потребительских цен на товары и услуги; а также сравнительное качество предоставляемых услуг на внутреннем водном транспорте по сравнению с другими видами транспорта (количество отправок и их интервал, время перевозки, количество альтернативных вариантов перевозок, надежность перевозок и др.). И если макроэкономические показатели влияют на объемы перевозок пассажиров в целом, то факторы качества перевозок – на объемы перевозок по отдельным направлениям.

Проанализировав перечень различных факторов, влияющих на развитие пассажирских перевозок, перейдем к рассмотрению динамики данных факторов и их прогнозу на 2022 год (табл. 5).

Таблица 5

Динамика и прогноз изменения факторов [11, 12]

№	Наименование фактора	Ед. измерения	2020	2021	2022 (прогноз)
Факторы прямого влияния					
1	Темпы изменения ВВП	%	-3	4,6	-8,0
2	Темпы изменения величины реальных располагаемых доходов населения	%	-2,8	3,1	-12
3	Темпы прироста оборота розничной торговли	%	-3,2	7,5	-8
4	Темпы изменения численности населения РФ	%	144,1	145,5	145,6
5	Индекс изменения потребительских цен	%	103,38	106,69	118
Факторы обратно-пропорционального влияния					
6	Темпы изменения выездного туризма	%	-72,7%	55,3	-50
7	Темпы изменения авиаперевозок	%	-45,8	60,3	-30
8	Темпы изменения железнодорожных перевозок	%	-27,1	20,9	2,5
9	Темпы изменения автоперевозок	%	-27,6	9,9	0,5

Результат прогнозирования объемов перевозок внутренним водным транспортом в целом по РФ, основанный на модифицированной модели Фишера с учетом влияния динамики факторов, составил 13,6 млн. чел.

Обсуждение

Результаты расчетов показывают, что использование только методов, основанных на построении линий трендов не дают высокой точности прогнозов и требуют корректировки путем учета факторов социально-экономического уровня развития. При этом ключевыми вопросами становятся:

1. Выявление факторов, как макроэкономического уровня, так и уровня регионов, оказывающих влияние на прогнозные значения объемов пассажирских перевозок. Необходимо учитывать как прямые факторы, определяющие изменения в транспортной отрасли и диктующие спрос на транспортные услуги, так и косвенные факторы, эффект которых требует выявления более глубоких связей между показателями.
2. Изменчивая динамика социально-экономического развития вследствие непрогнозируемых событий (2020-распространение коронавирусной инфекции, 2022-изменения в экономике страны в связи с санкционными ограничениями) ставит задачу по постоянной корректировке ожидаемых значений факторов влияния на объемы перевозок. Так последний прогноз социально-экономического развития РФ на 2022 год и на плановый 2023 и 2024 годов был опубликован Министерством экономического развития РФ 30 сентября 2021 года. Даже консервативный сценарий указанного прогноза не мог учитывать те изменения, которые произошли в 2022 году. Так, уровень инфляции в 18-23%, который прогнозировался Банком России в конце апреля 2022 года, уже предполагает корректировку прогнозируемых значений показателей работы всего транспортного комплекса.

Заключение

Таким образом, авторами в данной работе были получены следующие результаты:

- проведен анализ методов прогнозирования объемов перевозок;
- определены линии тренда на основании фактических объемов перевозок пассажиров за период 2015-2021 годы и по достоверности аппроксимации выбраны линии, наиболее отражающие динамику изменений объемов;
- выполнен прогноз объемов перевозок методом скользящей средней и средней взвешенной;
- выявлены макроэкономические факторы, оказывающие влияние на объем перевозок пассажиров;
- проведен факторный анализ изменения показателей, получен прогнозируемый объем перевозок под влиянием факторов;
- проведен анализ полученных результатов.

Проведенные исследования могут быть базой для прогнозирования пассажиропотока на конкретной линии или в регионе, что будет являться предметом дальнейшего исследования авторов. Опираясь на полученные результаты, судоходные компании смогут подбирать маршруты для перевозок, строить свою тарифную и инвестиционную политику.

Список литературы

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2020 года с прогнозом на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ т 27 ноября 2021 г. No 3363-р// <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf>
2. Сергеева Е.А. Факторы, влияющие на привлечение пассажиров на железнодорожный транспорт, и их анализ// Труды РГУПС. 2015. № 4. – с. 94-98
3. Пастухов С.С. Изучение влияния параметров транспортного сервиса на уровень удовлетворенности пассажиров на основе моделирования методами порядковой логистической регрессии// Вестник ВНИИЖТ. 2016. Т. 75. № 2. С. 108 – 115
4. Домнина О.Л., Ситнов А.Н., Липатов И.В. Основные проблемы транспортного комплекса России и пути их решения// Речной транспорт (XXI век). 2019. № 3 (91). С. 23-25
5. Вакуленко С.П., Куликова Е.Б., Яцкевич К.О. Лицом к пассажиру, или как переломить отрицательную динамику снижения объемов пассажирских перевозок в международном сообщении// Наука и техника транспорта. 2018. №3. С. 72-76
6. Бутыркин А.Я., Куликова Е.Б. Модели прогнозирования пассажирских перевозок на железнодорожном и авиационном транспорте// Наука и техника транспорта. 2021. №1. С.19-27
7. Григорьева А. С. О проблемах математического моделирования прогнозирования пассажиропотоков для высокоскоростных магистралей / А. С. Григорьева, В. А. Анисимов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 230–239. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).230-239
8. Домнина О.Л., Иванов М.В., Митрошин С.Г., Исанин К.А. Обоснование организации высокоскоростных водных перевозок пассажиров в Приволжском федеральном округе// Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2018. № 57. С. 191-199.
9. Домнина О.Л., Шалаева Ж.Ю. Анализ состояния и проблем перевозок пассажиров в Российской Федерации// В сборнике: Экономическая безопасность: проблемы, перспективы, тенденции развития. Материалы V Международной научно-практической конференции. 2019. С. 356-362.
10. Tsekeris Th. Demand Forecasting in Transport: Overview and Modeling Advances / Theodore Tsekeris & Charalambos Tsekeris // Economic Research-Ekonomiska Istraživanja. – 2011 – 24:1. – 82-94 p. – DOI: 10.1080/1331677X.2011.11517446

11. Данные Федеральной службы государственной статистики <https://rosstat.gov.ru/>
12. Российско-украинский конфликт обернется миллиардными потерями для мирового туризма/ Данные Ассоциации туроператоров России// <https://www.atorus.ru/news/press-centre/new/59379.html?>

References

1. The Transport strategy of the Russian Federation until 2020 with a forecast for the period up to 2035, approved by the Decree of the Government of the Russian Federation on November 27, 2021 No. 3363-р// <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf>
2. Sergeeva E.A. Factors influencing the attraction of passengers to railway transport, and their analysis// Proceedings of the RSUPS. 2015. No. 4. – pp. 94-98
3. Pastukhov S.S. Studying the influence of transport service parameters on the level of passenger satisfaction based on modeling by ordinal logistic regression methods// Bulletin of VNIIZhT. 2016. Vol. 75. No. 2. pp. 108 – 115
4. Domnina O.L., Sitnov A.N., Lipatov I.V. The main problems of the transport complex of Russia and ways to solve them// River transport (XXI century). 2019. No. 3 (91). pp. 23-25
5. Vakulenko S.P., Kulikova E.B., Yatskevich K.O. Face to the passenger, or how to reverse the negative dynamics of the decline in passenger traffic in international traffic// Science and technology of transport. 2018. No.3. pp. 72-76
6. Butyrkin A.Ya., Kulikova E.B. Models of passenger transportation forecasting on railway and aviation transport// Science and technology of transport. 2021. No.1. pp.19-27
7. Grigorieva A. S. On the problems of mathematical modeling of passenger traffic forecasting for high-speed highways / A. S. Grigorieva, V. A. Anisimov // Modern technologies. System analysis. Modeling. – 2020. –№ 4 (68). – Pp. 230-239. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).230-239
8. Domnina O.L., Ivanov M.V., Mitroshin S.G., Isanin K.A. Justification of the organization of high-speed water transportation of passengers in the Volga Federal District// Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. 2018. No. 57. pp. 191-199.
9. Domnina O.L., Shalaeva Zh.Yu. Analysis of the state and problems of passenger transportation in the Russian Federation// In the collection: Economic security: problems, prospects, development trends. Materials of the V International Scientific and Practical Conference. 2019. pp. 356-362.
10. Tsekeris Th. Demand Forecasting in Transport: Overview and Modeling Advances / Theodore Tsekeris & Charalambos Tsekeris // Economic Research-Ekonomska Istraživanja. – 2011 – 24:1. – 82-94 p. – DOI: 10.1080/1331677X.2011.11517446
11. Data of the Federal State Statistics Service <https://rosstat.gov.ru/>
12. The Russian-Ukrainian conflict will result in billions of losses for world tourism/ Data of the Association of Tour Operators of Russia// <https://www.atorus.ru/news/press-centre/new/59379.html?>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Домнина Ольга Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: o-domnina@yandex.ru

Olga L. Domnina, Ph.D.(Eng), assistant professor, Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterovast., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: o-domnina@yandex.ru

Шалаева Жанна Юрьевна, аспирант,
Волжский государственный университет
водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: shalaeva@vsawt.com

Zhanna Yu. Shalaeva, graduate student,
Volga State University of Water Transport,
Nesterova st., 5, N. Novgorod, 603950,
Russian Federation, e-mail:
shalaeva@vsawt.com

Статья поступила в редакцию 22.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 22.05.2022; published online 20.09.2022.

УДК 351.791; 656.621/.626

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.289>

Формирование инфраструктурного комплекса внутреннего водного транспорта

Коршунов Д.А.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9908-4026>

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

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования по перспективам формирования единого инфраструктурного комплекса внутреннего водного транспорта. Целью исследования является выявление предпосылок развития контейнерных перевозок по внутренним водным путям России и обоснование характеристик инфраструктурного каркаса внутреннего водного транспорта. Задачами исследования являлись анализа положений проекта Транспортной стратегии до 2035 года (далее – Стратегия), анализ зарубежного опыта развития и проблем функционирования зарубежных воднотранспортных систем, выявление проблем и актуальных задач развития перевозок с участием внутреннего водного транспорта. В статье предложены актуальные для отечественной воднотранспортной системы направления научных разработок в рамках общей тематики исследования, связанные с обновлением инфраструктуры для развития комбинированных и мультимодальных перевозок по внутренним водным путям России, рассмотрением эффективных мультимодальных схем и контейнерных линий на участках река-море, моделированием типовых (стандартизированных) мультимодальных речных терминалов, формированием цифровых платформ для организации грузоперевозок грузов в контейнерах по речным маршрутам страны, а также формированием системы нормативных актов, регулирующих прямые смешанные и мультимодальные перевозки грузов. В качестве результатов исследования стандартизация параметров которого позволит формировать на его основе каркас мультимодальной системы доставки сухогрузов в контейнерах с участием внутреннего водного транспорта.

Ключевые слова: инфраструктура, транспортный комплекс, внутренний водный транспорт, стратегия развития, контейнерные перевозки

Formation of the infrastructure complex inland water transport

Dmitry A. Korshunov

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9908-4026>

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article presents the results of a study on the prospects for the formation of a single infrastructure complex of inland waterway transport. The purpose of the study is to identify the prerequisites for the development of container transportation by inland waterways of Russia and substantiate the characteristics of the infrastructure framework of the inland waterway transport. The objectives of the study were the analysis of the provisions of the draft Transport Strategy until 2035, the analysis of foreign experience in the development and problems of functioning of foreign water transport systems, the identification of problems and urgent tasks of the development of transportation involving inland waterway transport. The article suggests the directions of scientific developments relevant to the domestic water transport system within the framework of the general research topic related to the renewal of infrastructure for the development of combined and multimodal transportation on the inland waterways of Russia, the justification of the

parameters and characteristics of container ships, the justification of effective multi-modal schemes and container lines on the river-sea sections, modeling of typical (standardized) multimodal river terminals, the formation of digital platforms for the organization of cargo transportation in containers along the river routes of the country, as well as the formation of a system of regulations governing direct mixed and multimodal cargo transportation. As the results of the study, the standardization of the parameters of which will allow forming on its basis the framework of a multimodal system for the delivery of bulk carriers in containers with the participation of inland waterway transport.

Keywords: infrastructure, transport complex, inland water transport port, development strategy, container transportation

Введение

Адаптация существующей воднотранспортной системы страны к современным реалиям функционирования транспортной логистики является актуальной практической задачей с точки зрения государственного управления развитием страны. Актуальность статьи заключается в необходимости обоснования эффективной транспортной инфраструктуры, связанной с обслуживанием контейнеропотока в рамках международных транспортных коридоров, проходящих через территорию России. В этой связи адаптация инфраструктурного комплекса в целом и отдельных речных терминалов в увязке с целями и задачами проекта транспортной стратегии России до 2035 года видится весьма своевременной.

Таким образом, целью данного исследования является выявление предпосылок развития контейнерных перевозок по внутренним водным путям России и обоснование характеристик инфраструктурного каркаса внутреннего водного транспорта. Задачами исследования являлись анализа положений проекта Транспортной стратегии до 2035 года, анализ зарубежного опыта развития и проблем функционирования зарубежных воднотранспортных систем, выявление проблем и актуальных задач развития перевозок с участием внутреннего водного транспорта.

В числе показателей достижения целей проекта Транспортной стратегии на период до 2035 года наблюдается существенный перевес показателей для автотранспорта и железных дорог при отсутствии тщательно проработанных показателей для внутреннего водного транспорта. Однако, именно водный транспорт с точки зрения технологической и экологической безопасности является одним из лидеров транспортной отрасли.

Поэтому необходимо увеличивать его роль в транспортной системе страны, при этом необходимо добавить показатели достижения целей Стратегии, включив по водному транспорту:

- Формирование **сети опорных комбинированных терминалов на пересечении с международными транспортными коридорами**, проходящей через РФ (Единая глубоководная система). В показателях достижения целей Стратегии [1] указана ед. измерения (мощность) в тоннах. Также необходимо иметь в виду и количество опорных центров, т.е. проектировать и строить типовые (стандартизированные) мультимодальные центры (терминалы) в ключевых пунктах. И здесь как раз подойдут упоминающие в Стратегии технологии компьютерного моделирования.
- Для развития перевозок по Северному морскому пути рационально формировать **национальные транспортные коридоры** с включением внутренних водных путей, что позволит на основе преимуществ участвующих в таких транспортных схемах видов транспорта (авто-жд.-речной-морской) быстрее достичь названных в проекте Стратегии целей и задач.

- В Стратегии указывается на необходимость развития портовых промышленных зон без указания, что такие зоны также можно **формировать и на речных путях для последующей доставки продукции судами смешанного плавания** (при значительных объемах перевозки это будет эффективно).
- В части развития кадрового потенциала отрасли назрела необходимость **целевого распределения студентов транспортных вузов по местам практик, где используются передовые технологии** (проектно-конструкторские, строительные и кораблестроительные, транспортно-логистические, цифровые и т.д.).

В целом в Стратегии виды транспорта рассматриваются отдельно без взаимной увязки в рамках единой транспортной системы при том, что даже рыночные механизмы позволяют создавать эффективные схемы смешанных перевозок с участием внутреннего водного транспорта.

Формирование обновленной инфраструктуры внутреннего водного транспорта должно идти во взаимосвязи с ростом перевозок грузов и пассажиров по речным маршрутам. При этом возникает предложение сформировать систему госзаказа на речные перевозки согласно стратегическим задачам развития транспортной системы страны. То есть не только отдать все на откуп частным инициативам, но и вкладывать деньги в инфраструктуру, которая точно будет востребована и государством. Для этого необходимо законодательно стимулировать рост доли речных перевозок в общей структуре грузооборота.

При формировании цели 3 нет упоминания развития речных пассажирских перевозок, которые в отдельных регионах страны просто не имеют альтернативы

При формулировании цели 4 нет упоминания развития смешанных перевозок с участием внутреннего водного транспорта, как одного из механизмов формирования эффективных международных транспортно-логистических схем

Также необходимо проектировать речные суда в привязке их грузоподъемности (габаритов) к рациональным размерам партий грузов (здесь учесть общую рыночную тенденцию к снижению объемов партий отправки). Кроме того, требуется создание речных судов и судов смешанного плавания типа ро-ро для перевозки накатной техники между речными и морскими портами (как отечественными, так и иностранными).

Вышеизложенное показывает актуальность данного исследования и необходимость комплексного и системного подходов к формированию и дальнейшему развитию инфраструктурного комплекса внутреннего водного транспорта при реализации Транспортной стратегии РФ до 2035 года. Кроме того, не следует забывать о целях предыдущих Стратегий (2020 и 2030), так как не все они достигнуты, а соответствующие задачи не решены до сих пор. Например, из проекта Транспортной стратегии РФ до 2035 года исчезло упоминание о строительстве низконапорной плотины на Волге в Нижегородской области (Городецкий район) и ряд других задач.

Материалы и методы

Если обратиться к отечественному и иностранному опыту исследований проблем и перспектив развития внутреннего водного транспорта [1-10], то напрашиваются следующие выводы:

- внутренний водный транспорт считается экологически чистым видом транспорта;
- речные перевозки являются экономически выгодными из-за низких тарифов;

- внутренний водный транспорт должен быть тесно и синхронно взаимосвязан с морскими портами и участвовать в системе распределения грузопотоков;
- рост отправок грузов в контейнерах и обоснованная необходимость передачи данных грузопотоков с морского на внутренний водный транспорт через систему мультимодальных терминалов;
- отмечается возможность переключения грузопотоков с сухопутных видов транспорта на речной, что способствует сокращению потерь времени в пути из-за пробок и заторов, а в итоге нормализации дорожной обстановки;
- в некоторых странах также отсутствует четкая стратегия развития внутреннего водного транспорта;
- высокие инвестиционные затраты на содержание и развитие инфраструктуры внутреннего водного транспорта;
- плохая связь речных портов с внутренними грузообразующими районами стран;
- необходимость последовательной государственной поддержки, изменения мышления заинтересованных сторон, решительное отношение к процессу развития внутренних водных путей на долгосрочную перспективу.

Также автор отмечает высокую заинтересованность государства в развитии перевозок грузов по Северному морскому пути (СМП), однако развитие СМП не согласовано с необходимостью взаимодействия при передаче контейнерных грузов на внутренние водные пути. Отмечается необходимость выстраивания единого транспортного комплекса в связке «морской порт - речной порт», где роль речного порта заключается в консолидации мелких отправок в судовую контейнерную партию. Большое значение при этом имеют регулярные контейнерные линии, например, Нижний Новгород-Ярославль-Санкт-Петербург и Нижний Новгород-Саратов-Волгоград-Ростов-на-Дону. Для реализации такого инфраструктурного комплекса внутреннего водного транспорта потребуется разработка следующих проектов:

1. Обновление инфраструктуры для развития комбинированных и мультимодальных перевозок по внутренним водным путям России. Включение внутренних водных путей и речных портов России в систему международных транспортных коридоров является важным фактором для привлечения больших международных грузопотоков на российские порты. За счет обновления перегрузочной техники, переспециализации и реконструкции причалов, строительства и модернизации транспортных терминалов, увеличения складских помещений, улучшения технологии обработки грузов и организации обслуживания флота, применения грузовой единицы и создания здоровой конкуренции могут быть повышены мощности речных портов. Обеспечение высокой пропускной способности водных путей путем модернизации и реконструкции путевой инфраструктуры приведет к эффективному развитию воднотранспортного комплекса страны.
2. Обоснование эффективных мультимодальных схем и контейнерных линий на участках река-море. В рамках данного направления будут разработаны типичные транспортно-логистические схемы доставки экспортно-импортных сухогрузов «Западная Европа – Россия – Азия», с возможным использованием в ряде из них речного транспорта России. Перспективными направления перевозки с точки зрения автора здесь являются: 1) Через Северный морской путь или железнодорожный транспорт России (Альтернатива – через Гибралтар и Суэцкий канал); 2) Международный транспортный коридор (МТК) «Север-Юг»; 3) «Западная Европа – Россия» -

перевозки экспортно-импортных сухогрузов, когда они начинаются или заканчиваются в регионах России.

3. Обоснование параметров и характеристик судов-контейнеровозов (новый флот). В настоящее время обоснование новых проектов судов-контейнеровозов направлено преимущественно на морские суда и суда типа река-море в формате танкер-контейнеровоз при полном отсутствии современных разработок и проектов речных судов-контейнеровозов. Можно отметить отдельные исследования по обоснованию создания мультимодального транспорта для перевозки автотрейлеров на участках рек, проходящих вдоль загруженных автомагистралей, в результате которого был разработан проект речного судна ро-ро.
4. Моделирование типовых (стандартизированных) мультимодальных терминалов на речной сети с учётом оптимальных партий отправки.
5. Создание цифровых платформ для формирования загрузки контейнерных и комбинированных транспортных линий с участием внутреннего водного транспорта. Перспективой развития морских и речных портов, не только у нас в стране, но и за рубежом, можно смело назвать создание единой цифровой среды для поиска грузопотоков и организации перевозок, это позволит привлечь дополнительный грузооборот на внутренний водный транспорт, увеличить эффективность деятельности как отдельных портовых структур, так и всей транспортной системы страны. Развитие данных направлений приведет к созданию новой логистики. Для эффективного функционирования системы контейнерных перевозок необходимо цифровое взаимодействие морских и речных портов с другими субъектами транспортного рынка (автомобильные, железнодорожные и речные перевозчики) ради обеспечения синхронизации их деятельности в разных аспектах: кадровых, безопасности, организационных, технологических, правовых, финансовых и других. Создание маркетплейса, объединяющего услуги предоставляемыми современными портами, способно значительно упростить кооперацию участников логистических систем, связанных морскими перевозками, а также предоставить облегченный выбор потребителям.
6. Формирование системы нормативных актов, регулирующих прямые смешанные и мультимодальные перевозки в части упрощения процедур документального оформления таких перевозок, включая таможенные процедуры.
7. Разработка тарифной политики перевозок грузов в контейнерах по внутренним водным маршрутам.

Дальнейшая научно-методическая проработка перечисленных проектов будет стимулировать практическое решение стратегических задач развития инфраструктурного комплекса внутреннего водного транспорта, многие из которых давно уже назрели.

В данной статье приводится методология и расчет оптимальных параметров мультимодальных терминалов на речной сети с учётом оптимальных партий отправки. В качестве исходных данных были приняты данные об объемах отправки контейнеров всего лишь одной транспортно-экспедиторской компанией в Нижнем Новгороде. Расчетный контейнеропоток терминала за навигацию составит 30000 контейнеров. Для обслуживания перспективного грузопотока было обосновано создание мультимодального речного терминала вблизи Нижнего Новгорода на р. Оке.

Рядом располагается международный аэропорт Стригино и проходит железная дорога. Оптимальное месторасположение данного терминала было определено методом центра тяжести грузопотоков с учётом ряда особенностей (например, терминал должен формироваться в зоне действия крупного транспортного узла, вблизи развитой транспортной инфраструктуры, т.е. вблизи авто- и железнодорожных магистралей, а также иметь возможность подключения к коммуникациям). Для эффективного функционирования терминала приём и переработка контейнеров не ограничивается только грузами для выбранного региона (в котором он расположен), но и для соседних территориальных единиц, так как расстояния (транспортные плечи) в пределах одного региона в европейской части страны невелики.

В ходе исследования были рассмотрены несколько вариантов компоновки терминала:

- 1) с использованием порталного крана и ричстакеров,
- 2) с использованием контейнерного перегружателя и ричстакеров,
- 3) с использованием контейнерного перегружателя и козловых кранов.

В результате аналитического моделирования был выбран третий вариант компоновки терминала, что позволяет уменьшить объем инвестиций в его создание и техническое оснащение.

Общий объем инвестиций ($I_0=836$ млн.руб.) складывается из следующих компонент:

$$I_0 = I_{\text{опк}} + I_{\text{пм}} + I_{\text{кп}} + I_{\text{пп}} + I_{\text{ск}} + I_3 + I_{\text{тпф}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{опк}}$ - инвестиции в общестроительные объекты перегрузочного комплекса, млн. руб.

$I_{\text{пм}}$ - Инвестиции в перегрузочные машины и оборудование, млн. руб.

$I_{\text{кп}}$ - Инвестиции в подкрановые пути, млн. руб.

$I_{\text{пп}}$ - Инвестиции в подъездные пути к терминалу (авто и ж.д.), млн. руб.

$I_{\text{ск}}$ - Инвестиции в асфальтное покрытие контейнерной площадки, млн. руб.

I_3 - Инвестиции в строительство электроподстанции, млн. руб.

$I_{\text{тпф}}$ - Инвестиции в создание зоны отстоя и тылового перегрузочного фронта, млн. руб.

Доходы от деятельности терминала ($D_0=129$ млн.руб.) рассчитывались по формуле, руб.:

$$D_0 = (Q * d_{\text{тс}}) + (Q * d_{\text{прр}}), \quad (2)$$

где Q – годовой грузооборот склада, т;

$d_{\text{погр}}$ – тариф на погрузо-разгрузочные работы (приняты равным 2000), руб/TEU [18];

$d_{\text{тс}}$ – тариф на терминальный сбор (принимается равным 300), руб/TEU;

$D = (30000 * 2000 * 2) + (30000 * 300) = 129$ млн.руб.

Сумма эксплуатационных расходов ($E_0=57,1$ млн.руб.) складывалась из: расходов на оплату труда докеров-механизаторов, страховых отчислений, амортизационных отчислений, расходов на энергоресурсы, отчислений в ремонтный фонд по портовым инженерным сооружениям и перегрузочной технике, расходов по управлению и обслуживанию производства и прочих расходов.

Результаты

Одним из результатов проведенного автором исследования является обоснование технологических параметров мультимодального речного терминала, стандартизация

параметров которого позволит формировать на его основе каркас мультимодальной системы доставки сухогрузов в контейнерах с участием внутреннего водного транспорта.

Эффективность создания мультимодального терминала определялась методом дисконтирования денежных потоков. Величина ставки дисконта получена экспертным методом. Расчетный период был определен в 20 лет. Срок окупаемости терминала при таких параметрах исходных данных составит около 15 лет, что считается приемлемым для подобных проектов. Кроме того, при использовании механизма государственно-частного партнерства эффективность будет еще выше, так как федеральный и местные бюджеты получают дополнительные отчисления в виде налогов и сборов от смежных сфер деятельности и могут быть заинтересованы в подобном участии.

В результате аналитического моделирования был выбран третий вариант компоновки терминала с использованием контейнерного перегружателя и козловых кранов, что позволяет уменьшить объем инвестиций в его создание и техническое оснащение.

Таким образом, подобный типовой мультимодальный речной терминал может стать основой международной и межрегиональной транспортно-логистической системы (инфраструктурного комплекса) страны. Ведь при схожих параметрах грузопотока, тарифов, расходов и функционируя на основе применения современных логистических технологий и цифровизации организационных аспектов грузоперевозок сеть таких терминалов составит инфраструктурный каркас национальных и международных транспортных коридоров.

Обсуждение

Отправка грузов в контейнерах сегодня вошла в логистическую практику предприятий разного уровня. Следует отметить, что перевозка контейнеров речным транспортом не осуществляется, хотя даже грубые расчеты показывают экономическую целесообразность открытия контейнерных линий на внутренних водных путях. При этом основополагающим фактором их успешности является включение речных терминалов в единую систему грузодвижения с морскими портами. Техническое и технологическое взаимодействие участников таких перевозок должно строиться на мультимодальных технологиях, это позволит внутреннему водному транспорту быть востребованным в международных транспортно-логистических схемах.

Исследования, проведенные автором, показывают, что в крупных волжских городах имеются достаточные контейнеропотоки, в настоящее время обслуживаемые сухопутными видами транспорта (железная дорога, автотранспорт), но тяготеющие к водной перевозке. При этом существует реальная возможность переключения части из них на речной транспорт посредством организации регулярной судовой контейнерной линии с дозагрузкой и выгрузкой в мультимодальных речных терминалах. Намеченный сегмент контейнерных перевозок должен базироваться на экспортно-импортных грузах в контейнерах или грузах, перевозку которых возможно осуществлять мультимодальным способом. Статистические данные по корреспонденции грузопотоков подтверждают наличие отправок контейнерных и контейнероориентированных грузов из приречных городов (Ярославль, Нижний Новгород, Рыбинск и др.) в направлении Москвы, Санкт-Петербурга, Новороссийска, равно как и обратные перевозки, которые выполняются в основном железнодорожными и автоперевозчиками.

В части обоснования мультимодальных транспортно-логистических схем и контейнерных линий на участках река-море можно предложить инфраструктурный

каркас и маршруты Северо-Западного и Волго-Камского бассейнов с местами размещения мультимодальных речных терминалов (рис.1) [12].



Рис. 1. Инфраструктурный каркас мультимодальной транспортно-логистической системы в рамках единой глубоководной системы Центральной России
Обозначения на рис.:

- Мультимодальные речные терминалы
- Маршруты контейнерных линий по ВВП

Кроме того, актуальной задачей является включение внутреннего водного транспорта в транспортно-логистическую систему Северного морского пути [11].

Выводы

Таким образом можно отметить, что поставленная цель исследования достигнута. Показаны объективные предпосылки развития контейнерных перевозок по внутренним водным путям России. Анализ проекта Транспортной стратегии до 2035 года и зарубежного опыта функционирования воднотранспортных систем показал актуальность и востребованность развития контейнерных перевозок с участием внутреннего водного транспорта. Для реализации этого потенциала необходимо формировать инфраструктурный каркас водного транспорта во взаимосвязи с морскими портами и международными транспортными коридорами, такими как Северный морской путь. Приведенные результаты моделирования мультимодального

речного терминала показывают рациональность создания таких структур в отдельных регионах Волго-Камского бассейна.

Реализация приведенных в статье актуальных направлений научных разработок в рамках общей тематики исследования, связанных с обновлением инфраструктуры для развития комбинированных и мультимодальных перевозок по внутренним водным путям России, обоснованием параметров и характеристик судов-контейнеровозов, обоснованием эффективных мультимодальных схем и контейнерных линий на участках река-море, моделированием типовых (стандартизированных) мультимодальных речных терминалов, формированием цифровых платформ для организации грузоперевозок грузов в контейнерах по речным маршрутам страны, а также формированием системы нормативных актов, регулирующих прямые смешанные и мультимодальные перевозки грузов позволит существенно обновить инфраструктуру внутреннего водного транспорта и дать толчок к её развитию. При этом требуется комплексный и системный подход при формировании и дальнейшей реализации указанных проектов развития инфраструктурного комплекса внутреннего водного транспорта.

Список литературы

1. Дрейбанд, Д.В. Программно-целевые задачи формирования и логистического развития объектов береговой инфраструктуры на внутреннем водном транспорте / Дрейбанд Д.В., Коршунов Д.А. / Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 67. С. 53-64.
2. Костров, В.Н. Государственное регулирование и развитие портовой инфраструктуры: Российский и Европейский опыт / Костров, В.Н., Коршунов Д.А., Ничипорук А.О., Курбагова Е.С., Глотова И.В. / Экономика и общество. 2019. № 9 (13). С. 16-27.
3. Мустакаева, Е.А. Обоснование пространственной локализации территориальной инфраструктуры внутреннего водного транспорта. Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2015. № 9 (81). С. 26.
4. Телегин, А.И. Концепция и алгоритм обоснования транспортно-логистических схем доставки экспортно-импортных сухогрузов с участием речного транспорта России / Телегин А.И., Милославская С.В., Коршунов Д.А., Наседкина Е.С. / Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 68. С. 163-171.
5. V. Roso, C. Vural, A. Abrahamsson, M. Engström, S. Rogerson, V. Santén. Drivers and Barriers for Inland Waterway Transportation. DOI: <http://doi.org/10.31387/oscm0430280>
6. J. Williamsson, S. Rogerson, V. Santén. Business models for dedicated container freight on Swedish inland waterways. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100466>
7. B. Behdani, B. Wiegmans, Y. Fan. Inland waterway transport and inland ports: an overview of synchromodal concepts, drivers, and success cases in the IWW Sector. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10486-5>
8. E. Kurtuluş, İ. Bilge Çetin. Analysis of modal shift potential towards intermodal transportation in short-distance inland container transport. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.01.017>
9. N.U. IbneHOSSAIN, S. ElAmrania, R. Jaradata, M. Marufuzzamana, R. Buchananb, C. Rinaudob, M. Hamiltona. Modeling and assessing interdependencies between critical infrastructures using Bayesian network: A case study of inland waterway port and surrounding supply chain network. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.106898>
10. T. Notteboom, Dong Yang, H. Xu. Container barge network development in inland rivers: A comparison between the Yangtze River and the Rhine River. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.10.014>
11. Григорьев, М.Н. Развитие транзитного потенциала Северного морского пути. DOI: 10.23932/2542-0240-2019-12-5-109-129
12. <https://travelask.ru/questions/113294-v-bassejne-kakih-rek-raspologalsya-tsentr-rossiyskogo-gosuda>

References

1. Dreiband, D.V. Programmno-tselevye zadachi formirovaniya i logisticheskogo razvitiya ob"ektov beregovoï infrastruktury na vnutrennem vodnom transporte / Dreiband D.V., Korshunov D.A. / Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2021. № 67. S. 53-64.
2. Kostrov, V.N. Gosudarstvennoe regulirovanie i razvitie portovoi infrastruktury: Rossiiskii i Evropeiskii opyt / Kostrov, V.N., Korshunov D.A., Nichiporuk A.O., Kurbato-va E.S., Glotova I.V. / Ehkonomika i obshchestvo. 2019. № 9 (13). S. 16-27.
3. Mustakaeva, E.A. Obosnovanie prostranstvennoi lokalizatsii territorial'noi in-frastruktury vnutrennego vodnogo transporta. Upravlenie ehkonomicheskimi sistemami: ehlektronnyi nauchnyi zhurnal. 2015. № 9 (81). S. 26.
4. Telegin, A.I. Kontseptsiya i algoritm obosnovaniya transportno-logisticheskikh skhem dostavki ehksportno-importnykh sukhogruzov s uchastiem rechnogo transporta Rossii / Telegin A.I., Miloslavskaya S.V., Korshunov D.A., Nasedkina E.S. / Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2021. № 68. S. 163-171.
5. V. Roso, C. Vural, A. Abrahamsson, M. Engström, S. Rogerson, V. Santén. Drivers and Barriers for In-land Waterway Transportation. DOI: <http://doi.org/10.31387/oscm0430280>
6. J. Williamsson, S. Rogerson, V. Santén. Business models for dedicated container freight on Swedish inland waterways. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100466>
7. B. Behdani, B. Wiegman, Y. Fan. Inland waterway transport and inland ports: an overview of synchomodal concepts, drivers, and success cases in the IWW Sector. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10486-5>
8. E. Kurtuluş, İ. Bilge Çetin. Analysis of modal shift potential towards intermodal transportation in short-distance inland container transport. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.01.017>
9. N.U. IbneHOSSAIN, S. ElAmrania, R. Jaradata, M. Marufuzzamana, R. Buchananb, C. Rinaudob, M. Hamiltona. Modeling and assessing interdependencies between critical infrastructures using Bayesian network: A case study of inland waterway port and surrounding supply chain net-work. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106898>
10. T. Notteboom, Dong Yang, H. Xu. Container barge network development in inland rivers: A comparison between the Yangtze River and the Rhine River. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.10.014>
11. Grigor'ev, M.N. Razvitie tranzitnogo potentsiala Severnogo morskogo puti. DOI: 10.23932/2542-0240-2019-12-5-109-129
12. <https://travelask.ru/questions/113294-v-basseyne-kakih-rek-raspolagalsya-tsentr-rossiyskogo-gosuda>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Коршунов Дмитрий Александрович, к.э.н.,
доцент, доцент кафедры логистики и
маркетинга, Волжский государственный
университет водного транспорта (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603950, г.Нижний Новгород,
ул.Нестерова, 5, e-mail: voi82@yandex.ru

Dmitry A. Korshunov, Ph.D. in Economic
Science, Associate professor of the Department
of Logistics and Marketing, Volga State
University of Water transport, 5, Nesterovst.
Nizhny Novgorod, 603950, e-mail:
voi82@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 31.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 31.05.2022; published online 20.09.2022.

УДК 338.242.2

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.290>

Перспективы развития транспорта Каспийского региона в эпоху перемен

В.И. Минеев¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5079-7922>

В.М. Иванов¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0195-934X>

М.В. Карташов²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9580-3006>

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

²*Каспийский институт морского и речного транспорта, г. Астрахань, Россия*

Аннотация. В общем объеме грузооборота российских морских портов доля Каспия составляет около 1% и с точки зрения статистики практически не оказывает влияние на общую эффективность их деятельности. Однако геополитическое и экономическое значение этого региона трудно переоценить. Он является своеобразным перекрестком международных широтных и меридиональных транспортных коридоров «ТРАСЕКА» и «Север-Юг». Сегодня потенциал сотрудничества в Каспийском регионе используется недостаточно, в частности, слабо реализован потенциал роста производства агропромышленной и промышленной продукции, который может быть направлен на удовлетворение растущих потребностей постсоветских прикаспийских стран, Ирана, Индии и стран Персидского залива. Перспективы Каспийского региона неразрывно связаны с развитием перевозок, что определяет необходимость оценки имеющейся перспективной грузовой базы. Конечной целью такого анализа является разработка программ развития существующих и создания новых транспортных маршрутов, основанных на принципах синхромодальности, включающей распределение грузовой базы между транспортными средствами и организацию их движения по наиболее выгодным маршрутам.

Ключевые слова: Каспийский регион, транспорт, грузовая база, прикаспийские страны, порты, транспортные маршруты, влияние санкций.

Prospects for the development of transport in the Caspian region in the era of change

Valery I. Mineev¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5079-7922>

Valery M. Ivanov¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0195-934X>

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

Maxim V. Kartashov²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9580-3006>

²*Caspian Institute of sea and river transport, Astrakhan, Russia*

Abstract In the total volume of cargo turnover of Russian seaports, the share of the Caspian Sea is about 1% and, from the point of view of statistics, it has practically no effect on the overall efficiency of their activities. However, the geopolitical and economic significance of this region can hardly be overestimated. It is a kind of crossroads of the international

latitudinal and meridional transport corridors "TRACECA" and "North-South". Today, the potential for cooperation in the Caspian region is not used enough, in particular, the potential for growth in the production of agro-industrial and industrial products, which can be directed to meet the growing needs of the post-Soviet Caspian countries, Iran, India and the Persian Gulf countries, is poorly realized. The prospects of the Caspian region are inextricably linked with the development of transportation, which determines the need to assess the existing promising cargo base. The ultimate goal of such an analysis is to develop programs for the development of existing and creation of new transport routes based on the principles of synchromodality, including the distribution of the cargo base between vehicles and the organization of their movement along the most profitable routes.

Keywords. The Caspian region, transport, cargo base, Caspian countries, ports, transport routes, the impact of sanctions.

Введение

Стратегическое значение Каспийского региона обусловлено не только его расположением на перекрестке основных держав Евразии – России, Турции и Ирана. но также из-за его расположения на различных транзитных коридорах, соединяющих Европу и Центральную Азию. Этим объясняются ожидания доходов от транзитных сборов за счет эффективного использования функционирующих здесь транспортных маршрутов. Вот почему сегодня большое количество инвестиции в инфраструктуру осуществляются с целью привлечения международных грузов в Среднюю Азию и Каспийское море. [1]

Для создания устойчивой транспортной инфраструктуры потребуются усиление регионального сотрудничества между правительствами, промышленностью и научными кругами в различных областях, включая образование рабочую силу, создание общих спецификаций, техническое сотрудничество, финансовое сотрудничество и т. д. в рамках ФТА (Соглашение о свободной торговле). [2]

Китайская народная республика обозначила свой вклад в инфраструктурные проекты программы «Один пояс, один путь» в размере до 1 триллиона долларов, тем самым обеспечивая транспортные связи с более чем 70 странами мира, на долю которых приходится половина мирового населения и четверть мирового валового внутреннего продукта. [3] Ключевая роль при этом отводится морским и речным портам, которые все чаще воспринимаются как интегрированные и неотделимые узлы в цепочках поставок своих клиентов. [4,5]

Транспортные узлы подвержены различным возмущениям, например, сбоям инфраструктуры и временным закрытиям из-за экстремальных погодных условий (засуха, сильный снегопад, сильный ветер). Поэтому развивающиеся в последние годы транспортные сообщения на принципах мультимодальности переходят в фазу синхромодальности, включающую централизованное управление маршрутами и распределением грузовой базы по видам транспортных средств. [6,7] По предложению Голландского института продвинутой логистики, синхронная транспортировка влечет за собой то, что «Грузоотправитель соглашается с оператором службы по доставке продукции по указанной цене, качеству и устойчивости, но дает оператору услуги свободу решить, как доставить в соответствии с этими спецификациями». [8]

С учетом вышесказанного становится очевидной актуальность стратегического анализа грузовой базы и состояния портов Каспийского воднотранспортного узла.

Методы

Стратегическое значение Каспия определяется его географическим положением при осуществлении трансконтинентальных перевозок в коридорах «Восток-Запад» и «Север-Юг». Его выгодное положение как связующего звена между Северным Кавказом и Югом России, Казахстаном и Средней Азией, Россией и Ираном является базой для торгово-экономического сотрудничества с прикаспийскими государствами. Транскаспийский маршрут из Центральной России через Каспийское море с задействованием портов Оля и Астрахань до Иранского порта Амирабад может дать толчок к развитию внутреннего водного транспорта России, в чем он так нуждается в последние тридцать лет [9-11].

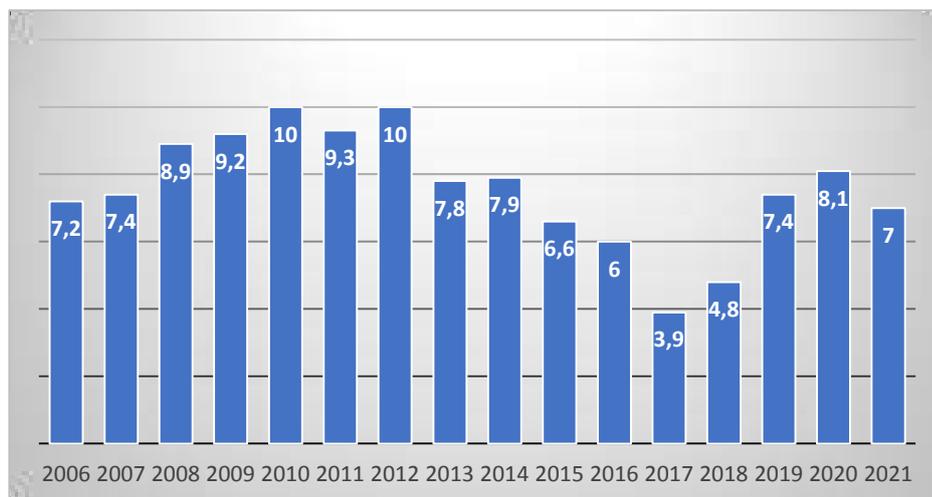


Рис. 1. Грузооборот российских портов Каспийского бассейна, млн. т.
Источник: Росстат России

Для понимания направлений развития перевозок на Каспии принципиально важно определиться с грузовой базой и ее перспективами. При проведении исследований в данном направлении использовались элементы комплексного, компаративного и логистического исследования экономико-статистической информации, использование методов обобщения, анализа, синтеза и группировки.

Результаты

Анализ динамики грузооборота российских портов региона свидетельствует о том, что она существенным образом зависит от экономических процессов в прикаспийских странах – Иране, Казахстане, Туркменистане, а также Азербайджане. Оценивая перспективы роста грузооборота, необходимо также учитывать развитие торговли с Индией и странами Персидского залива.

После затяжного падения грузооборота портов Каспийского бассейна с 2012 по 2017 годы (более, чем в 2,5 раза) наметилась положительная тенденция (Рис.1). С 2017 по 2020 годы грузооборот Каспийских портов увеличился в два раза и составил 8,1 млн. т. Согласно статистике, основными перерабатываемыми грузами являются наливные, идущие через порт Махачкала, насыпные (зерно) и генеральные грузы (черные металлы) [12]. Сырьевой характер грузооборота портов делает его зависимым от рыночной конъюнктуры (Табл.1).

Таблица 1

Структура грузооборота каспийских портов в 2019 г.

Всего, % в том числе	наливные грузы		сухогрузы					
	Сырая нефть и нефтепродукты	Пищевые наливом	Насыпные грузы	ген грузы	лесные	навалочные	грузы в контейнерах	накатные грузы
100	56,3	6,0	22,0	8,9	5,5	0,7	0,5	0,1
	62,3		37,7					

Так, в 2019-2020 годах в порт Махачкала осуществлялись поставки туркменской нефти, что и обеспечивало рост перевалки грузов. Однако в 2021 году существенная часть туркменской нефти пошла по трубопроводу Баку-Тбилиси-Джейхан. Кроме того, развитие Ираном собственной черной металлургии снижает перевозки черных металлов.

Внешнеторговый оборот России с прикаспийскими странами за период с 1995 по 2020 годы увеличился более, чем в четыре раза (Рис.2). При этом наибольшие темпы роста за этот период наблюдаются в торговых отношениях с Ираном и Азербайджаном [13].

Основным торговым партнером России из прикаспийских государств является Казахстан (Рис.2). На его долю приходится более 75% внешнеторгового оборота России с этими странами. Казахстан, используя выгоды своего географического положения на перекрестке евразийских дорог, участвует в трех направлениях Евразийского трансконтинентального коридора : Китай – Казахстан – Россия – Европа, с выходом к Балтийскому морю; Китай – Казахстан – Азербайджан – Грузия – Турция – Европа, в рамках международной программы TRACECA, с выходом к Черному и Средиземному морям; Китай – Казахстан – Туркменистан – Иран – Пакистан, с выходом к Персидскому заливу и Индийскому океану.



Рис. 2. Внешнеторговый оборот России с прикаспийскими странами, млн. долл. США
 Источник: По данным сайта Внешняя торговля России на основе данных Федеральной таможенной службы России

По данным Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики **Казахстан**, внешнеторговый оборот за 2021 год составил 101,5 млрд. долл. США, превысив показатели предыдущего года на 17,4%. При этом экспорт увеличился на 26,9%, а импорт на 5,8%. В структуре регионального товарооборота Россия занимает лидирующее положение с удельным весом 21,4% от общего товарооборота, далее следует Китай – 18,1%, Италия – 8,9%, Южная Корея – 6,9%, Нидерланды – 4%, Турция – 3,6%, Узбекистан – 3,4%, Франция – 3,3%, Индия – 2,8%, Германия – 2,4% [14].

Сгруппировав экспортные товары в две категории: промышленные товары и сельскохозяйственные товары можно отметить, что более 70% промышленных товаров приходится на долю сырьевого экспорта и менее 30% – на долю несырьевого. Чуть лучше обстоят дела с экспортом сельскохозяйственной продукции, сырьевой экспорт превалирует и там. В структуре импорта машины, оборудование, транспорт и прочее оборудование составляют 40,6%, продукция химической промышленности – 16,2%, продукты – 11,8% [12]. Необходимо отметить, что транзит через территорию Казахстана грузов в контейнерах в 2020 году из Китая в Европу составил 517,5 тыс. ДФЭ, что на 65 % больше показателя 2019 года

В 2021 году товарооборот России с Казахстаном составил 25,6 млрд. долл. США, увеличившись почти на 35% к уровню предыдущего года, при этом экспорт из России увеличился на 31,7%, а импорт – на 41,9%. Россия является главным торговым партнером Казахстана, занимая в общем объеме торговли последнего более 20%.

В связи с антироссийскими санкциями, введенными после того, как Россия приступила к специальной военной операции на Украине, Казахстан, Азербайджан и Грузия планируют создать совместное предприятие с целью развития Транскаспийского международного транспортного маршрута. Предполагается, что путь через Каспий позволит этим странам решить возникшие логистические проблемы. Однако уровень их экономик не в состоянии обеспечить необходимые объемы перевозок по данному маршруту. Думается, что главным грузоотправителем здесь должен стать Китай.

Попытки Казахстана обойти Россию стороной в экспорте своих товаров не приводят к желаемому результату. Экспорт через другие страны приводит к увеличению тарифов на перевозку и, следовательно, к увеличению стоимости самих товаров, что снижает их конкурентоспособность на рынке. Из всех возможных маршрутов можно рассматривать два – через Китай и Транскаспийский маршрут. Первый маршрут получается слишком длинным и дорогим, второй в сложившейся ситуации является едва ли не единственным, но логистика этого маршрута крайне сложная по сравнению с российской.

По итогам 2021 года внешнеторговый оборот **Азербайджана** увеличился на 32,8%. При этом объем экспорта увеличился на 48,4%, а его доля во внешнеторговом обороте увеличилась по отношению к предыдущему году на 8,1% и составила 65,5%. Импорт в годовом исчислении вырос на 7,5%, а доля его соответственно снизилась и составила во внешнеторговом обороте 34,5% [13].

В структуре экспорта основное место занимает продукция нефтегазового сектора, доля которого по итогам 2021 года составила 88,1%. В импорте преобладает продовольственная продукция (16,3%), машины, механизмы, электроаппараты, оборудование и запчасти (23,7%), транспортные средства и запчасти к ним (11,4%).

В страновом разрезе основными экспортёрами Азербайджана являются Италия (12,8%), Турция (12,8%), Россия (4,1%), Израиль (4%), Хорватия (3,8%). Среди значимых импортеров выступают Россия (17,8%), Турция (15,9%), Китай (14%), Германия (5,5%).

Внешнеторговый оборот России и Азербайджана за последние годы увеличился почти в три раза и составил в 2021 году 3,35 млрд. долл. США. Экспорт из России в 2021 году увеличился на 11,9%, а импорт на 26,8% по сравнению с 2020 годом. В структуре экспорта России в Азербайджан основная доля поставок приходится на продовольственные товары и сельскохозяйственное сырьё (32,77%), машины, оборудование и транспортные средства (22,8%), древесина и целлюлозно-бумажные изделия (15,3%), металлы и изделия из них (11,0%), продукция химической промышленности (10,8%). В структуре импорта России из Азербайджана основная доля поставок приходится на продовольственные товары и сельскохозяйственное сырьё (61,1%), продукцию химической промышленности (22,1%), минеральные продукты (9,61%).

Необходимо отметить, что в 2020 году после четырехлетнего перерыва Азербайджан возобновил перевозки нефти судовыми партиями. До этого основной объем азербайджанского дизтоплива вывозился по железной дороге в Грузию. В период навигации через Волго-Донской судоходный канал российскими танкерами осуществлялись перевозки нефтепродуктов в Турцию и в Азербайджан из Румынии и Болгарии. Кроме того, танкерами из Баку осуществлялась поставка авиакеросина в туркменский порт Окарем.

По свидетельству перевозчиков, стоимость доставки топлива в Азербайджан в судах оказалась не выше, чем при железнодорожных поставках через Грузию. Использование маршрута через ВДСК способствовало снижению потерь и скопления цистерн в районе терминалов.

Вместе с тем перевозки карбамида через ВДСК в 2020 году не осуществлялись в связи с ограниченным объемом его производства, при том, что в 2019 году из Баку было отправлено не менее 17 судовых партий общим объемом более 60 тыс. тонн [12].

Внешнеторговый оборот *Туркменистана* в 2021 году увеличился на 20,5% по отношению к уровню предыдущего года. При этом экспорт увеличился на 33,9%, а импорт всего лишь на 5,5%. В Россию в 2021 году было экспортировано больше на 85,9%, в Грузию – на 73,5%, Китай – на 24,1%, Турцию – на 44,8% по отношению к показателям 2020 года. Увеличению экспорта способствовало увеличение объема поставок газа на 34,8%, сырой нефти на 32,6%, нефтепродуктов на 28,5%, серы более, чем в 2,3 раза. Увеличился импорт в страну на 12,6% технологического оборудования и механизмов, на 2% потребительских товаров. Снизился импорт сырья и материалов на 5,5%, уменьшился так же объем закупок черных металлов и изделий из них [13].

В 2021 году товарооборот России и Туркменистана уменьшился на 10,8% по сравнению с предыдущим годам. При этом экспорт увеличился на 11,7%, а импорт сократился на 56,4%. Основная доля поставок в структуре экспорта приходится на машины, оборудование и транспортные средства (44,3%), продовольственные товары и сельскохозяйственное сырьё (17,8%), продукцию химической промышленности (16,7%), металлы и изделия из них (14,3%). В структуре импорта России из Туркменистана приходится на текстиль и обувь (42,8%), продовольственные товары и сельскохозяйственное сырьё (33%), продукцию химической промышленности (23,8%).

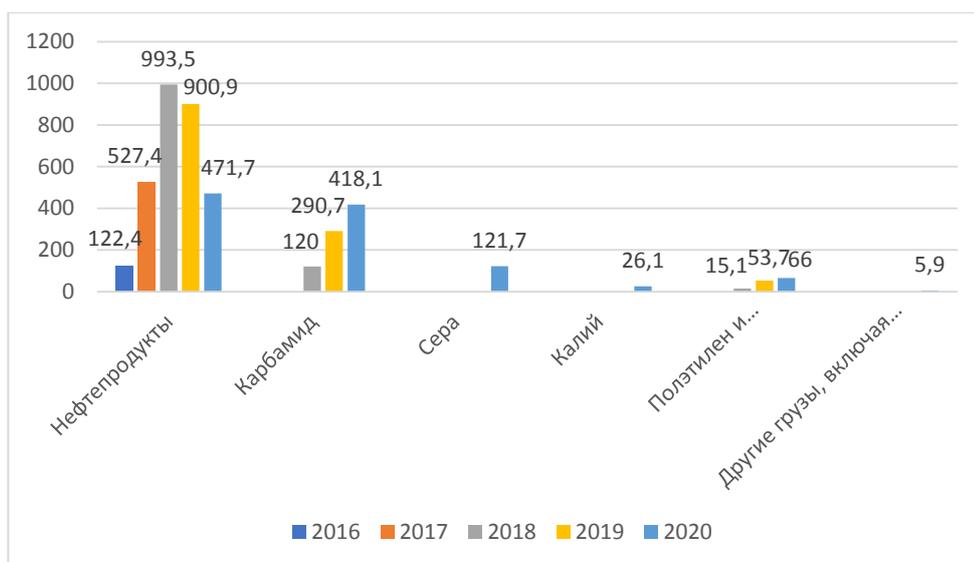


Рис. 3. Перевозки через Волго-Донской судоходный канал из Туркмении, тыс. т.
Источник: Агус Транспорт Каспия

Объем транзита из Туркменистана по Волго-Донскому судоходному каналу составил в 2020 году 1,1 млн. тонн (на 11% меньше 2019 года), из них 42,5% приходилось на нефтепродукты и 51% на минеральные удобрения (Рис.3). Необходимо отметить, что в 2020 году значительно на 47,7% упали перевозки нефтепродуктов, которые отгружались в основном в Средиземноморский регион, Украину и накопители в Керченском проливе. Транзит топлива в Афганистан через ВДСК практически не использовался в 2020 году из-за карантинных мер в туркменских портах. Через Окаремский терминал были отправлены всего две партии топлива объемом 7 тыс. т. В навигацию же 2019 года через порт Окарем было отправлено 67,8 тыс. т. В то же время транзит минеральных удобрений через ВДСК увеличился почти в два раза за счет роста поставок карбамида и перевозок серы и калия, которые начались в 2020 году. Основной объем туркменских удобрений в российских судах направлялся в порты Черного и Мраморного морей и страны Северной Африки [12].

Иран является четвертым партнером России по Каспийскому региону. Оценивая его внешнеэкономические связи, необходимо иметь в виду, что Иран долгое время находится под внешними санкциями, что определенным образом сказалось на его внешней торговле. При этом анализ внешнеэкономической деятельности сопряжен с определенными трудностями, связанными с доступностью и корректностью статистических данных.

Анализ показал, что внешнеторговый оборот Ирана имеет ярко выраженный сырьевой характер – в стоимостном выражении нефтепродукты составляют 69% в экспорте 2018 года. Другими относительно значимыми позициями в экспорте страны являются пластмассы (6%), органическая химия (4%) и черные металлы (4%).

Импорт Ирана ориентирован в основном на ввоз товаров и комплектующих, не производимых в стране. В структуре импорта преобладает различное оборудование (19%), злаки (10%), электроника (9%), фармацевтика (4%), средства наземного транспорта (4%).

Основными экспортными направлениями Ирана являются КНР (9,5%), Ирак (9,3%), ОАЭ (6,2), Афганистан (3%), Корея (2,7%), Турция (2,5%) и Индия (2,15). Доля России в экспорте Ирана невелика и составляет всего 0,3%.

В импорте также лидирующее место занимает Китай с долей 25% от всего импорта Ирана. Из Китая завозится оборудование, электроника, потребительские товары. За Китаем следуют ОАЭ (14%), Индия (6%), Турция (6%), Германия (6%) и на восьмом месте Россия с долей импорта 3,3%. Структура импорта из ОАЭ, Индии, Турции и Германии аналогичная китайскому импорту.

В отличие от указанных стран торговля Ирана с Россией имеет иной характер. Основную долю экспорта России представляют продовольственные товары и продукция сельского хозяйства (80%), машины и оборудование (8%), древесина и целлюлозно-бумажная продукция (7%). Необходимо отметить, что при сокращении экспорта черных металлов перевалка российского зерна, сухогрузов и продовольствия 2020 г. через порт Энзели увеличилась более чем на 38% по сравнению с предыдущим годом. С марта по ноябрь 2020 года количество судозаходов составило 403, что на 34% больше аналогичного периода предыдущего года. Этому способствовало увеличение мощности порта Энзели. По данным Организации портов и морского судоходства (РМО) в порту был введен в эксплуатацию новый причал для наливных грузов и два причала для перевалки генеральных грузов и зерна. Также было построено новое зернохранилище мощностью 50 тыс. тонн и склад для генеральных грузов.

Импорт России из Ирана также является в основном сырьевым и отличается от экспорта Ирана в другие страны-партнеры. На продовольственные товары и сельское хозяйство приходится порядка 78% импорта, на продукцию химической промышленности -9%, на металлы - 3%.

Из Иранского порта Неки в 2020 году осуществлялись перевозки небольших партий нефтепродуктов через ВДСК в порты Черноморского региона.

Несмотря на то, что экспорт и импорт России в торговле с Ираном имеют схожую структуру, развитие контейнерных перевозок ограничивается их сырьевым характером, делая торговлю между странами зависящей от рыночной конъюнктуры, а следовательно, непредсказуемой.

Анализ показал, что внешняя торговля Ирана носит специфический характер как по товарной номенклатуре, так и по странам-партнерам. Существенное влияние на экономику страны оказывают действующие санкции, что приводит к преобладанию сырьевых товаров низкого передела в экспорте и к обратной картине в импорте, основу которого составляют товары высокого передела. Данная ситуация чревата непостоянством грузопотоков как по объёму, так и по направлениям перевозок.

Драйвером развития новых евразийских транспортных маршрутов являются растущие объёмы экспорта двух ведущих экономик мира – Китая и Индии.

На сегодняшний день **Индия** представляется одним из самых перспективных рынков. Этому способствуют огромное население, которое в 2019 г. достигло 1,36 млрд., при среднем возрасте населения 28,5 лет и ВВП на душу населения в 7200 дол. США. Несмотря на существующие проблемы, отмеченное выше делает Индию страной с огромным потенциалом.

В отличие от Китая, который развивает широтные маршруты доставки экспорта в Европу, Индия рассматривает меридиональные маршруты. Согласно статистическим данным Индия за последние 10 лет удвоила экспорт в Европу [15]. Вместе с тем, в экспорте продолжает доминировать США с долей более 17% от общего экспорта Индии. Китай вышел на второе место, потеснив ОАЭ. В импорте лидерство принадлежит Китаю, который занимает 16,5% в общем объёме (рис.4).

Оценивая распределение экспорта по регионам, необходимо отметить устойчивый рост экспорта в Северную Америку (4,4%) за последние пять лет и снижение экспорта в страны Азии на 2%. Возможно, Индия отказывается от торговых отношений на востоке в пользу малоизученных рынков на западе.

Внешнеторговый оборот Индии имеет свою специфику в силу ограниченности природных ресурсов. Основными статьями экспорта являются минеральное топливо (в том числе нефть) (9,2%), драгоценные камни и металлы (8,9%), фармацевтические препараты (6,6%), механическое оборудование (6,5%), органические химикаты (6,2%). Минеральное топливо, драгоценные камни и металлы остаются основными импортируемыми товарами – на их долю приходится 39,1%.

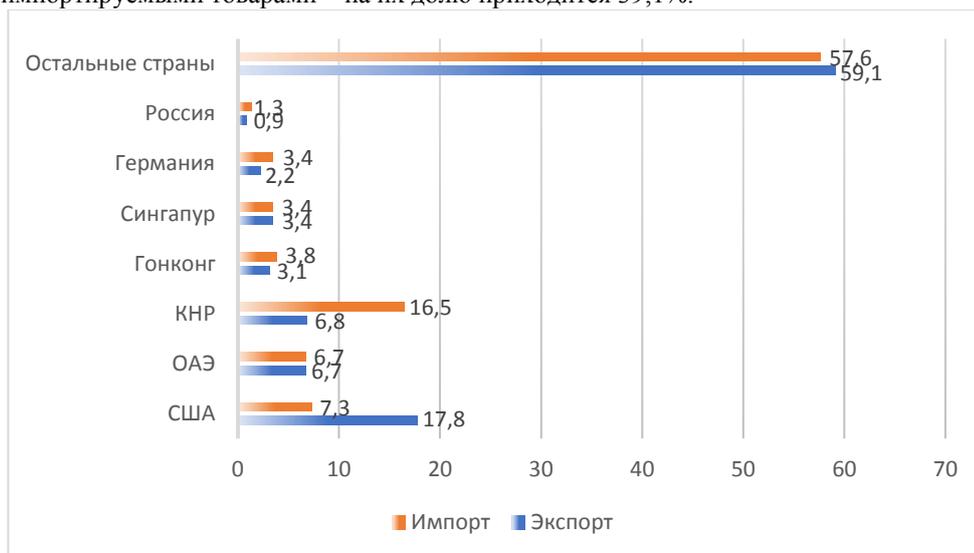


Рис. 4. Региональный аспект внешнеторгового оборота Индии в 2021 г., %
 Источник: По данным сайта Внешняя торговля России на основе данных Федеральной таможенной службы России.

В 2021 г. взаимная торговля России и Индии достигла 13,5 млрд. долл. США, увеличившись за последние пять лет на 33,7%. При этом экспорт Индии увеличился за этот период более чем в два раза, а импорт, преодолев тенденцию к снижению, длившуюся с 2018 г., увеличился на 13,7%.

Номенклатура экспорта Индии в Россию в основном совпадает со структурой торговли страны в целом. Двумя основными позициями экспорта в Россию являются продукция химической промышленности (37,5%) и машины, оборудование и транспортные средства (29,9%). Кроме того, экспорт представлен также продовольственными товарами, металлами и изделиями из них и текстилем.

В структуре импорта Индии из России основная доля приходится на минеральные продукты (31,8%), машины, оборудование и транспортные средства (19,9%), драгоценные металлы и камни (18,4%) и продукцию химической промышленности (16,1%).

Анализ внешнеторгового оборота Индии свидетельствует о том, что перспективной номенклатурой товаров для транзитных контейнерных перевозок является продукция фармацевтики, пищевой промышленности и текстиль. Обратный же грузопоток представлен в основном наливными грузами, что является большой проблемой.

Заключение

Анализ грузовой базы стран Каспийского региона свидетельствует о том, что несмотря на ограничения, обусловленные covid 19, показатели внешнеторгового оборота этих стран имеют положительную тенденцию.

Внешнеторговый оборот России с прикаспийскими странами за период с 1995 по 2020 годы увеличился более, чем в четыре раза. Наибольшие темпы роста за этот период наблюдаются в торговых отношениях с Ираном и Азербайджаном. Россия в этом регионе тяготеет к перевозкам по транскаспийскому маршруту, проходящему через порты Ирана напрямую в Россию. В этой связи напрашивается организация хаба в районе Астрахани или Оля. По всей видимости, в ближайшее время наиболее рациональным представляется маршрут перевозки в рамках единого экономического пространства ЕАЭС – через Каспийское море в порты Казахстана, Азербайджана и Туркменистана. Вероятнее всего, возрастет в транзите роль Ирана. В этом случае Россия может получить возможность прямого выхода к Индийскому океану и в Южную Азию, оставляя в стороне Черное море и проливы, контролируемые Турцией. Антироссийские санкции приводят к необходимости поиска альтернативных транспортных маршрутов по направлению Европа – Азия. Одним из таких является маршрут Европа-Турция-Азербайджан-Дагестан взамен маршрута доставки грузов в Россию через Прибалтику и Польшу-Белоруссию.

Индийские грузопотоки идут преимущественно в широтном направлении. При этом грузопотоки из Индии представлены товарами высокой степени переработки, обратный же грузопоток носит сырьевой характер. Несмотря на то, что за последние годы Индия удвоила экспорт в Европу, это направление является для нее вторичным. Основным экспортным регионом для Индии является Азия, занимающая 46,5% от общего экспорта Индии. Из европейских стран важнейшими для Индии являются исторические связи с Великобританией, осуществляемые морским путем. Незначительная доля в индийской торговле принадлежит Германии, Польше и Скандинавии. Доля России в индийском экспорте и импорте крайне невелика.

Специальная военная операция на Украине и последовавшие за этим санкции вызвали кардинальные изменения в транспортной связи России с остальным миром. Западные санкции практически заблокировали авиасообщение с так называемыми «недружественными странами» ударили по морским и автомобильным перевозкам. Прекращение перевозок на Украину и через Украину сказываются и на работе железных дорог.

«РЖД Бизнес Актив» отмечает, что в начале текущего года распределение перевозок по направлениям запад/восток/юг составляло 60%/35%/5%. После введения санкций соотношение составило 46%/50%/4% и имеются серьезные основания полагать, что южное направление перевозок будет расти.

Серьезнейшим образом текущая политическая ситуация затронула отрасль водных перевозок. Количество судозаходов в российские порты резко сократилось вследствие отказа судовладельцев заходить в российские порты опасаясь ответных санкций. В этой ситуации экспортеры изучают новые рынки и маршруты через «дружественные» страны. Эмбарго на морские перевозки российскими судами толкает грузовладельцев к использованию судов под иностранным флагом, оставляя российские суда без работы при высоких ставках фрахта.

Экспортеры вынуждены искать новые рынки сбыта и выстраивать соответствующие логистические схемы доставки грузов. Не исключено, что на судоходном рынке могут появиться совместные предприятия с партнёрами из «дружественных» стран для организации морских перевозок только российских грузов.

Антироссийские санкции создали немало проблем на всем постсоветском пространстве. Сегодня ЕАЭС проходит проверку на прочность. В частности, казахстанские бизнесмены неоднократно высказывались о нецелесообразности такого объединения. Сегодня эти голоса звучат все громче, призывая пересмотреть распределение таможенных платежей при импорте из третьих стран. Неслучайно Казахстан, Азербайджан и Грузия планируют создать совместное предприятие с целью развития Транскаспийского международного транспортного маршрута в обход России. Агентство «Синьхуа» сообщило, что из Сианя уже отправлен первый состав в обход России новым сухопутно-морским путем через Каспийское и Черное моря назначением в Германию через Казахстан, Азербайджан, Румынию, Венгрию, Словакию и Чехию. Все это ведет к потере российского транзита на этих направлениях.

Список литературы

1. Acar A.Z., Gürol P. An innovative solution for transportation among Caspian region // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 229, 19, 2016, pp. 78-87.
2. Tyagi R., Bansal A., Kaul V., De D. India-ASEAN FTA: Analysis of Cooperation in Transportation Sector // *Procedia Computer Science*, Volume 122, 2017, pp. 759-766.
3. Bersenev A., Chikilevskaya M., Rusinov I. Silk Road Rail Corridors Outlook and Future Perspectives of Development // *Procedia Computer Science*, Volume 167, 2020, pp. 1080-1087.
4. Yeo H-j. Competitiveness of Asian Container Terminals // *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Volume 26, Number 2, 2010, pp. 225-246.
5. Yeo, G.T., Thai, V.V., Roh, S.Y. An Analysis of Port Service Quality and Customer Satisfaction: The Case of Korean Container Ports // *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Volume 31, Issue 4, 2015, pp. 437-447.
6. Zhang M, Pel AJ. Synchromodal hinterland freight transport: Model study for the port of Rotterdam // *Journal of Transport Geography*, Elsevier, vol. 52(C), 2016, pages 1-10.
7. Giusti, R. Synchromodal logistics: An overview of critical success factors, enabling technologies, and open research issues/ R.Giusti, D.Manerba, G.Bruno, R.Tadei//*Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.Volume 129.-September 2019.-p.92-110.
8. Arturo E. Pérez Rivera, Martijn R. K. Mes Integrated scheduling of drayage and long-haul operations in synchromodal transport//*Flexible Services and Manufacturing Journal* volume 31, 2019, pages 763–806.
9. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период 2035 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. N 3363-р.
10. Егоров Г.В., Анисимов К.О. Анализ и перспективы международных железнодорожных и автомобильных паромных линий Каспийского бассейна. Труды Крыловского государственного научного центра. 2020; Специальный выпуск 2: с.199–204.
11. Калачев, В.К., Карташов М.В. Интермодальные технологии перевозок грузов на паромках: современный аспект. Научные проблемы водного транспорта, выпуск 64, 2020 г. с.134-143.
12. Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. Январь-декабрь 2021г. 25 декабря 2020, выпуск VII, No 24. 37 с. [Электронный ресурс]: <https://www.argusmedia.com/-/media/Files/sample-reports/argus-caspian-transportation-2020-12-25.ashx?la=en&hash=F958123549CACDC14A3D13C68071AE1E98ADA349&ysclid=l4motvlqt1197335267>
13. Торговля между Россией и Казахстаном, Азербайджаном и Туркменистаном. Отчет о внешней торговле в 2021 году: товарооборот, экспорт, импорт, структура, динамика. Подготовлен сайтом Внешняя торговля России на основе данных Федеральной

- службы России, февраль 2022 г. [Электронный ресурс]: <https://russian-trade.com/reports-and-reviews/2022-02/>
14. Внешняя торговля Республики Казахстан: экспорт, импорт и точки роста, #FCBAnalytics, аналитический дайджест, февраль 2022 г. 67с. [Электронный ресурс]: <https://www.1cb.kz/api/v1/images?doc=true&main=true&name=7b963f5948a927bae0afc34dce361395fullFileRU.pdf&ysclid=14mpfbscr6897503549>
 15. Export-Import Data Bank. Department of Commerce, Ministry of Commerce and Industry of India. [Электронный ресурс]: <https://tradestat.commerce.gov.in/eidb/icntq.asp>

References

1. Acar A.Z., Gürol P. An innovative solution for transportation among Caspian region // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 229, 19, 2016, pp. 78-87.
2. Tyagi R., Bansal A., Kaul V., De D. India-ASEAN FTA: Analysis of Cooperation in Transportation Sector // *Procedia Computer Science*, Volume 122, 2017, pp. 759-766.
3. Bersenev A., Chikilevskay M., Rusinov I. Silk Road Rail Corridors Outlook and Future Perspectives of Development // *Procedia Computer Science*, Volume 167, 2020, pp. 1080-1087.
4. Yeo H-j. Competitiveness of Asian Container Terminals // *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Volume 26, Number 2, 2010, pp. 225-246.
5. Yeo, G.T., Thai, V.V., Roh, S.Y. An Analysis of Port Service Quality and Customer Satisfaction: The Case of Korean Container Ports // *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Volume 31, Issue 4, 2015, pp. 437-447.
6. Zhang M, Pel AJ. Synchromodal hinterland freight transport: Model study for the port of Rotterdam // *Journal of Transport Geography*, Elsevier, vol. 52(C), 2016, pages 1-10.
7. Giusti, R. Synchromodal logistics: An overview of critical success factors, enabling technologies, and open research issues/ R.Giusti, D.Manerba, G.Bruno, R.Tadei//*Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.Volume 129.-September 2019.-p.92-110.
8. Arturo E. Pérez Rivera, Martijn R. K. Mes Integrated scheduling of drayage and long-haul operations in synchromodal transport//*Flexible Services and Manufacturing Journal* volume 31, 2019, pages 763–806.
9. The transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period of 2035, approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021, N 3363-R.
10. Egorov G.V., Anisimov K.O. Analysis and prospects of international railway and automobile ferry lines of the Caspian basin. *Proceedings of the Krylov State Scientific Center*. 2020; Special Issue 2: pp.199–204.
11. Kalachev, V.K., Kartashov M.V. Intermodal technologies of cargo transportation by ferries: a modern aspect. *Scientific Problems of water transport*, issue 64, 2020, pp.134-143.
12. Transport of Russia. Information and statistical bulletin. January-December 2021. December 25, 2020, issue VII, No. 24. 37 p. [Electronic resource]: <https://www.argusmedia.com/-/media/Files/sample-reports/argus-caspian-transportation-2020-12-25.ashx?la=en&hash=F958123549CACDC14A3D13C68071AE1E98ADA349&ysclid=14motvltl197335267>
13. Trade between Russia and Kazakhstan, Azerbaijan and Turkmenistan. Report on foreign trade in 2021: trade turnover, export, import, structure, dynamics. Prepared by the website Foreign Trade of Russia based on data from the Federal Service of Russia, February 2022 [Electronic resource]: <https://russian-trade.com/reports-and-reviews/2022-02/>
14. Foreign trade of the Republic of Kazakhstan: export, import and growth points, #FCBAnalytics, analytical digest, February 2022 67с. [Electronic resource]: <https://www.1cb.kz/api/v1/images?doc=true&main=true&name=7b963f5948a927bae0afc34dce361395fullFileRU.pdf&ysclid=14mpfbscr6897503549>
15. Export-Import Data Bank. Department of Commerce, Ministry of Commerce, and Industry of India. [Electronic resource]: <https://tradestat.commerce.gov.in/eidb/icntq.asp>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Минеев Валерий Иванович, д.э.н., профессор, главный научный сотрудник кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: mineev.vi@vsuwt.ru

Valery I. Mineev, Doctor of Economics, Professor, Chief Scientific Officer of the Department of Economics and management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Иванов Валерий Михайлович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: i52nn@mail.ru

Valery M. Ivanov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Economics and management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Карташов Максим Вячеславович, заместитель директора по учебной работе, Каспийский институт морского и речного транспорта, (филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 414024, г. Астрахань, ул. Б. Хмельницкого 3, e-mail: mwkart@gmail.com

Maxim V. Kartashov, Deputy Director for academic Affairs, Caspian Institute of sea and river transport, 3, B. Khmel'nitsky st., Astrakhan, 414024

Статья поступила в редакцию 29.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 29.06.2022; published online 20.09.2022.

УДК: 656.621.626
DOI: 10.37890/jwt.vi72.292

Перспективы внутреннего водного транспорта при освоении континентального шельфа Российской Федерации

М.Г. Синицын¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3975-5198>

Т.В. Глоденис¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9014-5374>

С.Н. Масленников¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8419-7749>

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

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы разработки методических основ при исследовании возможности вовлечения вновь осваиваемых участков в единую транспортную сеть страны. Синергетический подход использования методов и алгоритмов нелинейной динамики позволяет изучать функционирование транспортных систем в условиях возможных рисков и потерь, находить бифуркационные значения, определяющие структурную неустойчивость динамических транспортных систем. Авторами определены районы тяготения нефтегазоконденсатных месторождений, за которыми были закреплены базовые порты обслуживания, входящие в систему международного транспортного коридора «Северный морской путь». Рассмотрена транспортная инфраструктура каждого базового порта и выявлено, что при их обслуживании важную роль здесь имеет внутренний водный транспорт, без участия которого функционирование рассматриваемых районов тяготения будет затруднительно или практически невозможно. Предложены три схемы завоза грузов в базовые пункты обслуживания месторождений. На заключительном этапе исследования выявлена значимость внутреннего водного транспорта при освоении континентального шельфа Российской Федерации, а также рассмотрены перспективы его использования на основе изученных авторами стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации и стратегии развития рассматриваемых регионов, входящих в рассматриваемые районы тяготения.

Ключевые слова: внутренний водный транспорт, континентальный шельф, Северный морской путь, транспортный флот, морской транспорт, экономико-математические модели, шельфовое месторождение.

Prospects of inland water transport in the development of the continental shelf of the Russian Federation

Mikhail G. Sinitsyn¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3975-5198>

Tatiana V. Glodenis¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9014-5374>

Sergey N. Maslennikov¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8419-7749>

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

Abstract. The article considers the issues of developing methodological foundations in the study of the possibility of involving newly developed areas in a single transport network of the country. The synergetic approach to the usage of methods and algorithms of nonlinear dynamics allows studying the functioning of transport systems in conditions of possible risks and losses, finding bifurcation values that determine the structural instability of dynamic transport systems. The authors defined the areas of gravity of oil and gas condensate fields, which were assigned to the base ports of service included in the system of the international transport corridor "Northern Sea Route". The transport infrastructure of each base port has been considered, and it's been revealed that the internal water transport plays an important role in their maintenance, without it the functioning of the considered areas of gravity will be difficult or practically impossible. Three schemes of cargo delivery to the basic service points of deposits are proposed. At the final stage of the study, the importance of inland water transport in the development of the continental shelf of the Russian Federation is revealed, and the prospects for its use on the basis of the strategies of the development of inland water transport of the Russian Federation studied by the authors and the development strategies of the regions under consideration included in the areas of gravity are considered.

Keywords: inland water transport, continental shelf, Northern Sea Route, transport fleet, marine transport, economic and mathematical models, offshore field.

Введение

Ориентируясь на современную ситуацию, рассматривая возможные перспективы развития, руководителям транспортных предприятий (и, в частности, воднотранспортных) необходимо уделять серьезное внимание перспективам развития Восточных регионов России, осуществлять активизацию решения проблем, стоящих в стране, благодаря использованию внутреннего потенциала. Важное значение будет иметь транспортное обеспечение при освоении углеводородных ископаемых районов шельфовой зоны арктических морей и Дальнего Востока [1]. В бассейнах Тихого и Северного Ледовитого океанов необходимо строительство современных портовых сооружений и судов ледового класса, создание новых типов транспортных, технологических и перегрузочных средств, новых технологий доставки грузов – использование лихтеровозных систем, судов на воздушной подушке, перевозка крупногабаритных сборных блоков и конструкций к местам их установки, создание водоизмещающих судов, способных работать в условиях мелководья, строительство ледовых причалов и многое другое. В качестве примера на рисунке 1 показана ледостойкая нефтедобывающая платформа.

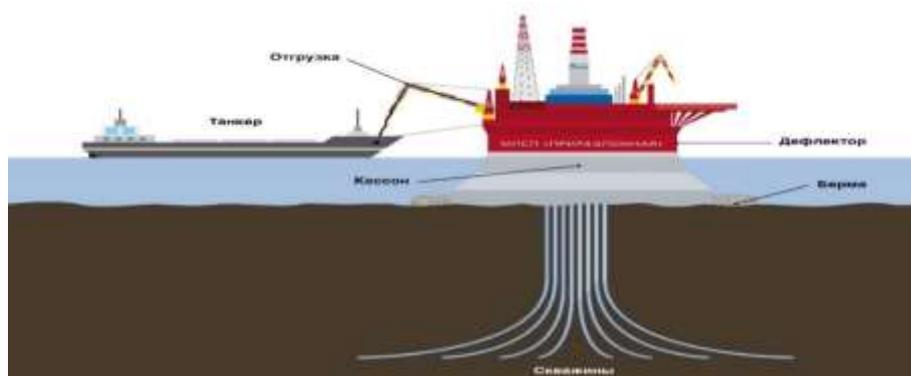


Рис. 1. Морская ледостойкая нефтедобывающая платформа (Источник:Газпром)

Материалы и методы

Характер динамизма и сложности среды, в которой осуществляется транспортное освоение, оказывает влияние на выбор методов исследования. В этой ситуации дивергентный поиск позволяет обеспечивать необходимую информационную базу. В синергетической экономике рассматриваются нелинейные взаимодействия между независимыми переменными и взаимодействия под влиянием внешней среды. Нелинейная динамическая структура, а в некоторых случаях и хаотичность могут создать в определенных условиях ситуации, находящиеся за пределами нашего предвидения и условия для мощного развития производственных структур в будущем. Серьезное внимание уделяется вопросам получения достоверной информации о перспективах развития осваиваемых областей, процессу прогнозирования целей; при этом возможно базирование в исследованиях на современном математическом аппарате, вероятностно-статистических методах, анализе интервальных данных, теории нечеткости.

Для решения задач транспортного обеспечения вновь осваиваемых районов в возникающих условиях неопределенности важное значение приобретает решение задач прогнозирования функционирования сложных систем в неблагоприятных условиях. Для решения подобных задач, начиная с двадцатого века, широко используется системный анализ с его формальными и неформальными методами. На современном этапе научных исследований необходимо обращать внимание на создание технологий изучения и апробаций на основе нескольких дисциплин, приемов, принятых в синергетике. Особого внимания в изучении деятельности многих систем, в том числе и транспортных, заслуживают условия риска и рассмотрения вариантов дальнейших действий предприятий в нестандартных ситуациях. Масштабы возникающих проблем растут, так как за последние тридцать лет число природных бедствий и техногенных катастроф с большим экономическим ущербом увеличилось по сравнению с предшествующим уровнем вчетверо. Выстраивая стратегию действий, в усложняющихся условиях необходимо уделять внимание определению перспектив развития на основе подходов нелинейной динамики (создание теории, моделей, формализованного аппарата). Современная теория устойчивости определяет при функционировании любой динамической системы такое ее свойство, которое при малом внешнем воздействии отвечает малым же изменением результата, то есть устойчивость это воспроизводимость при наличии шума некоторого свойства систем. Данные вопросы серьезно рассматриваются в работах Ляпунова А.М. и Лагранжа Э. Ориентируясь на проблему транспортного освоения районов шельфовой зоны, необходимо определять – сохранение каких свойств системы наиболее важно при решении проблем сегодня, в будущем; возмущение каких параметров можно считать допустимым. Возможность развития систем в этих идеальных условиях, конечно, существует, однако, на современном этапе развития динамических систем основными ориентирами являются сложные режимы их функционирования в условиях качественных изменений с учетом бифуркационных процессов. Очень важно оценивать возможные риски и потери, находить правильные решения в условиях неопределенности. Предприятия внутреннего водного транспорта подвержены воздействию многих неблагоприятных факторов. Это и неопределенность структуры перевозок, нестабильность грузопотоков, серьезная конкуренция на рынке транспортных услуг, а также условия судоходства, которые обусловлены вероятностным характером гидрологических процессов на внутренних водных путях, закономерности изменения которых сложно прогнозировать. Различного вида природно-климатические факторы воздействия в последние годы серьезно ухудшают условия судоходства. Транспортные предприятия

вырабатывают современную систему функционирования и в условиях риска, и в условиях неопределенности. Это использование ситуационного планирования, уровневого прогнозирования, использование неформальных методов системного анализа, методов эвристического прогнозирования, другие варианты.

При решении задач стратегического планирования перевозок во вновь осваиваемых районах необходимо уделять внимание современному синергетическому подходу, использованию методов и алгоритмов нелинейной динамики. Определение бифуркационных значений, точек бифуркации, рассматривающих структурную неустойчивость динамических систем и нахождение их локальной или глобальной устойчивости является очень важным при решении задач построения перспектив развития транспортных систем. При этом необходимо для решения этих проблем серьезное изучение планов развития региональных и федеральных производственных предприятий, синергетический взгляд на решение стоящих перед обществом проблем.

Результаты

Освоение любой новой территории, внедрение инновационных разработок должны начинаться с научных исследований, проведения анализа по проверки их целесообразности, возможных последствий реализации стратегических планов. Сотрудниками Сибирского государственного университета водного транспорта и, в частности, авторами статьи проводились исследования, связанные с вовлечением вновь осваиваемых участков рек в единую транспортную сеть страны с целью обеспечения глубинных районов необходимыми грузами. Участие предприятий внутреннего водного транспорта в решении вопросов транспортного обеспечения районов Арктической зоны необходимо исследовать, рассмотреть существующие возможности и разрабатывать стратегию вовлечения их в решение поставленных проблем. Обслуживание месторождений и обустройство новых происходит через крупные морские порты. Разделим шельфовые месторождения по району тяготения на группы, каждая из которых закреплена за крупным морским портом, а тот, в свою очередь, за воднотранспортным бассейном; результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Разделение шельфовых месторождений по району тяготения

Район тяготения	Порт	
Обь-Иртышский	Сабетта	Приразломное, Варандей-море, Медынское-море, Северо-Гуляевское, Салекаптское, Юрхаровское, Ленинградское, Русановское, Антипаютинское, Семаковское, Тота-Яхинское, Каменномыское-море, Северо-Каменномыское, Гугорьяхинское, Обское, Восточно-Приновоземельское
Северо-Двинский	Мурманск	Штокмановское, Поморское, Ледовое, Северо-Кильдинское, Мурманское, Лудловское
Владивостокский	Владивосток	Одопту-море, Северный купол, Пильтун-Астохское, Одопту-море, Аркутун-Дагинское, Чайво, Лунское, Кириновское, Вениновское
Ленский	Тикси	Усть-Оленекский, Усть-Ленский, Анисинско-Новосибирский, Хатангский
Енисейский	Диксон	Притаймырский
Чукотский	Певек	Северо-Врангелевские-1, Северо-Врангелевские-2, Южно-Чукотский, Восточно-Сибирский-1

Внимания заслуживает изучение вопросов определения зон обслуживания различными видами транспорта районов нового освоения. Возникающие зоны

транспортного тяготения морского, речного, автомобильного (перевозки по автозимникам) видов транспорта необходимо внимательно рассматривать [2]. Серьезную оценку транспортного обеспечения можно проводить, базируясь на методах теории информации и, в частности, используя такой параметр, как энтропия. Во вновь осваиваемых районах определение зоны транспортного тяготения может быть представлено в различных модификациях [3]. Интерес представляет такой параметр, как интегральная транспортная доступность, который может оценивать конфигурацию транспортной сети с учетом технико-экономических особенностей каждого вида транспорта [4]. Используя этот показатель, можно производить планирование территориального развития транспортных сетей вновь осваиваемых областей. Базовыми пунктами концентрации грузовых потоков для освоения углеводородных месторождений на российском континентальном шельфе будут крупные морские порты, такие как Мурманск, Сабетта, Дудинка, Диксон, Хатанга, Тикси, Певек, Петропавловск – Камчатский, Владивосток [5]. Все они входят в систему международного транспортного коридора «Северный морской путь» по которому организовано круглогодичное движение. Возможность доставки грузов по видам транспорта в каждый из этих портов представлена на рисунке 1.

Из рассмотренных портов на рисунке 2 видно, что практически в каждый из них возможна доставка грузов внутренним водным транспортом, а железнодорожный, автомобильный и трубопроводный присутствует только в двух. Доставка грузов авиационным транспортом доступна практически во всех пункты, но не является целесообразной из-за его дороговизны. В структуре грузооборота преобладают массовые грузы, для перевозки которых идеально подходит внутренний водный транспорт как по экономическим, так и по техническим показателям.

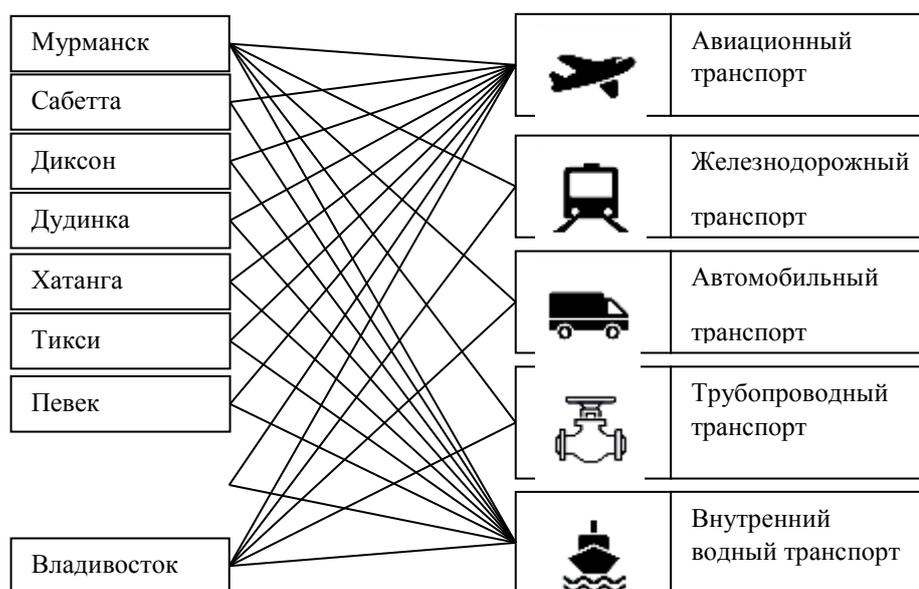


Рис. 2. Виды транспорта доставляющие грузы в базовые порты Северного морского пути

При доставке грузов речным транспортом важное значение имеет обоснование периода эксплуатации участков водных путей. В общую формулу транспортных затрат на доставку грузов необходимо включать слагаемые, учитывающие расходы на задержки судов по условиям плавания. Изменение количества перевозок грузов носит

вероятностных характер, для их учета к предлагается использовать стохастические модели [6]. В частности, в модель расстановки флота по участкам работы вводится фактор времени, который позволяет обосновывать оптимальный период эксплуатации каждой линии с учетом колебания грузопотоков вследствие задержек по объективным причинам, вызывающим неполное освоение ожидаемых объемов перевозок.

Введенный в стохастическую модель фактор времени учитывает водность года, а также географическое расположение водного пути. При использовании устьевых и баровых участков водных путей необходимо предусматривать проведение дноуглубительных работ.

Исходя из возможных схем завоза грузов морские порты, необходима оптимизация вариантов использования флота [7]. При этом необходимо учитывать ряд ограничений, таких как путевые условия, сроки физической навигации, ограничение по флоту [8]. Для обеспечения плана перевозок грузов в эти пункты рекомендуется использовать следующую экономико-математическую модель:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Theta_{ij} [X_{ij} \pm (r' \pm r'')\Delta X_{ij}] \rightarrow \min \quad (1)$$

ограничение по грузообороту:

$$\sum_{i=1}^m \Theta_{ij} [X_{ij} \pm (r' \pm r'')\Delta X_{ij}] = A_j \pm \Delta A_j \quad (2)$$

ограничение по флоту:

$$\sum_{j=1}^n \Pi_{ij} [X_{ij} \pm (r' \pm r'')\Delta X_{ij}] \leq \Phi_i \quad (3)$$

$$X_{ij} \geq 0;$$

$$i = 1, m;$$

$$j = 1, n;$$

$$\Delta X_{ij} \geq 0$$

Изменение параметра r' в зависимости от количества флота:

$$r' = 1 \text{ при } t^\Phi = t_{рсч}^{пл} \quad (4)$$

$$r' \leq 1 \text{ при } t^\Phi > t_{рсч}^{пл} \quad (5)$$

Изменение параметра r'' в зависимости от условий плавания:

$$r'' = 0 \text{ при } t^\Phi = t_{рсч}^{пл} \quad (6)$$

$$0 \leq r'' \leq 1 \text{ при } t^\Phi \neq t_{рсч}^{пл} \quad (7)$$

r', r'' - коэффициенты учитывающие колебания путевых условий, периода завоза, количества флота;

A_j – грузооборот на j -ом участке;

m – количество типов судов и составов;

n - число участков работы;

j - признак участка работы;

i – признак типа флота;

Θ_{ij} – эксплуатационные расходы i – го типа флота на j – ом участке работы;

X_{ij} - количество i – го типа флота на j -ом участке работы;

Π_{ij} – провозная способность i – го типа флота на j – ом участке работы;

Φ_i – количество единиц i – го типа флота на j – ом участке работы;

t^Φ – фактическое время работы;

$t_{р\text{сч}}^{\text{пл}}$ – планируемое расчетное время работы;

При завозе грузов флотом внутреннего водного транспорта в пункты относимые к морскому району плавания используют различные разновидности маршрутных и немаршрутных схем. Выбор которых осуществляется в зависимости от различных факторов, но основной из них это общие издержки на доставку груза. Возможные схемы завоза представлены на рисунке 3.

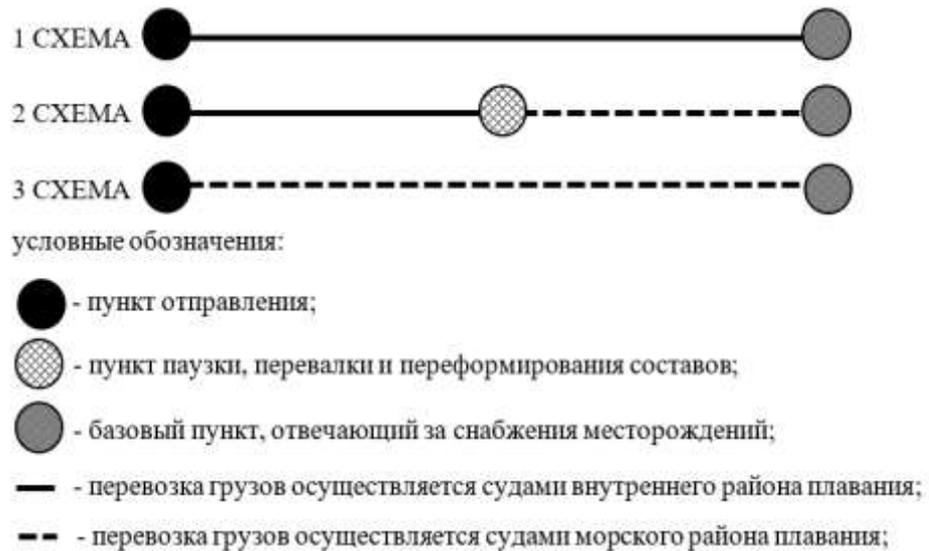


Рис. 3. Схемы завоза грузов в базовые пункты обслуживания месторождений

Потребность в перевозках во многом зависит от конечной стоимости перевозимого груза, поэтому при построении логистической цепочки необходимо учитывать все звенья, участвующие в транспортном процессе, так как транспортная составляющая занимает около 50% от стоимости продукции [9]. Логистическая схема обслуживания базовых портов представлена на рисунке 4.



Рис. 4. Логистическая схема обслуживания базовых портов

Обсуждение

На основе изученных и проанализированных материалов видно, что транспортная инфраструктура северных территорий российской Федерации не особо развита и ограничена в обслуживании двумя – тремя видами транспорта. Основополагающее место при обслуживании данных территорий занимает внутренний водный транспорт.

Завоз грузов в пункты международного транспортного коридора «Северный морской путь» является важнейшей стратегической задачей для внутреннего водного транспорта [10]. Эксплуатационные условия в границах каждого порта разные и имеют свои особенности по использованию флота и схем работы; условно их можно разделить на две группы: маршрутная и немаршрутная. Принципиальная особенность заключается в возможности использования судов речного класса при доставке грузов в данные пункты.

Предприятия, осуществляющие перевозки по внутренним водным путям, имеют множество рисков, которые могут появиться от воздействия различных факторов:

- неопределенность структуры перевозок;
- конкуренция;
- резко изменяющиеся условия судоходства;
- природно-климатические условия.

Учитывая все вышеперечисленные факторы, рекомендуется предприятиям внутреннего водного транспорта использовать методы ситуационного анализа, эвристического прогнозирования и другие варианты.

Выводы

Внутренний водный транспорт имеет важное значение при освоении континентального шельфа Российской Федерации и выполняет вспомогательную роль [14], [15]. Отсутствие инфраструктуры других видов транспорта дает речникам преимущество, и в перспективе возможен рост перевозок в связи открытием и освоением новых месторождений, которые дадут толчок к усовершенствованию уже имеющейся портовой инфраструктуры и строительству новой.

Список литературы

1. *Sinitsyn M., Buneev V., Domina O., Tsverov V.* Formation of the shipping company's technical policy, Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 403 LNNS. С. 688-697. DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_76
2. *Ничиторук 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).
3. *Ничиторук А. О.* Эволюция номенклатуры показателей качества перевозок грузов на различных видах транспорта // Вестник ВГАВТ. 2017. № 52. С. 157-165. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v52.pdf. (дата обращения 19.05.2022).
4. *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
5. *Синицын М.Г.,* Оценка транспортной инфраструктуры енисейского бассейна как важного звена развития северного морского пути / В сборнике: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции». «Речной Форум 2019». Министерство транспорта Российской Федерации Федеральное агентство морского и речного транспорта, Омский институт водного транспорта - филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта». 2019. С. 248-253.

6. Синицын М.Г., Определение вероятностных сроков работы судов на притоках магистральных рек / Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 1. С. 15-18.
7. 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>.
8. Pokrovskaya, O. D., Panychev, A. Y., Khramtsova, E. R. Digitalizatsiya of the transport industry in Russia: trends, drivers, potencial. 18th International Scientific Conference "Problems of Enterprise Development: Theory and Practice". EpSBS - Volume 82 - PEDTR 2019. doi: 10.15405/epsbs.2020.04.44
9. Cariou Pierre, Faurly Olivier, 2015, «Relevance of the Northern Sea Route (NSR) for bulk shipping». Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 78, August 2015, Pages 337-346., DOI:10.1016/j.tra.2015.05.020
10. Sung-Woo Lee, Ju-Mi Song, 2014, «Economic Possibilities of Shipping through Northern Sea Route». The Asian Journal of Shipping and Logistics, Volume 30, Issue 3, December 2014, Pages 415-430., DOI:10.1016/j.ajsl.2014.12.009

References

1. Sinitsyn M., Buneev V., Domina O., Tsverov V. Formation of the shipping company's technical policy, Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. T. 403 LNNS. S. 688-697. DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_76
2. 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).
3. Nichiporuk A. O. Ehvolyuetsiya nomenklatury pokazatelej kachestva perevozok gruzov na razlichnykh vidakh transporta // Vestnik VGAVT. 2017. № 52. S. 157-165. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v52.pdf. (data obrashcheniya 19.05.2022).
4. 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
5. Sinitsyn M.G., Ocenka transportnoj infrastruktury enisejskogo bassejna kak vazhnogo zvena razvitiya severnogo morskogo puti / V sbornike: Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennye nauchnye issledovaniya: aktual'nye problemy i tendencii». «Rechnoj Forum 2019». Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii Federal'noe agentstvo morskogo i rechnogo transporta, Omskij institut vodnogo transporta - filial FGBOU VO «Sibirskij gosudarstvennyj universitet vodnogo transporta». 2019. S. 248-253.
6. Sinitsyn M.G., Opreделение veroyatnostnykh srokov raboty sudov na pritokakh magistral'nykh rek / Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2013. № 1. S. 15-18.
7. 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>.
8. Pokrovskaya, O. D., Panychev, A. Y., Khramtsova, E. R. Digitalizatsiya of the transport industry in Russia: trends, drivers, potencial. 18th International Scientific Conference "Problems of Enterprise Development: Theory and Practice". EpSBS - Volume 82 - PEDTR 2019. doi: 10.15405/epsbs.2020.04.44
9. Cariou Pierre, Faurly Olivier, 2015, «Relevance of the Northern Sea Route (NSR) for bulk shipping». Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 78, August 2015, Pages 337-346., DOI:10.1016/j.tra.2015.05.020
10. Sung-Woo Lee, Ju-Mi Song, 2014, «Economic Possibilities of Shipping through Northern Sea Route». The Asian Journal of Shipping and Logistics, Volume 30, Issue 3, December 2014, Pages 415-430., DOI:10.1016/j.ajsl.2014.12.009

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Масленников Сергей Николаевич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой Управление работой флота, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: s.n.m@bk.ru

Sergey N. Maslennikov, Ph.D. in Engineering Science, Head of the Department of Fleet Operations Management, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, st. Shchetinkina, 33

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

Глоденис Татьяна Владимировна, к.т.н., доцент кафедры Управление работой флота, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: mangazej@yandex.ru

Tatiana V. Glodenis, 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

Статья поступила в редакцию 01.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 01.06.2022; published online 20.09.2022.

УДК 656.624.3

DOI:10.37890/jwt.vi72.291

Современное состояние и перспективы развития грузовых перевозок в судах инновационного типа

С.В. Сустретов¹

А.О. Ничипорук¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7763-2829>

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

Аннотация. В статье представлены результаты анализа современного состояния грузовых перевозок в судах инновационного типа (суда на воздушной подушке, суда на подводных крыльях, грузовые, пассажирские и грузопассажирские одно- и многокорпусные водоизмещающие суда). Обобщен зарубежный и отечественный опыт в области проектирования и эксплуатации рассматриваемых типов судов, приведены наиболее интересные примеры и разработки. Проанализирован ряд публикаций в рассматриваемой области, обозначены наиболее интересные и перспективные предложения и рекомендации различных ученых и авторов. На основании выполненного обзора опыта, а также анализа научных публикаций сделаны выводы и предложения о наиболее перспективных направлениях дальнейших исследований по совершенствованию организационно-технических аспектов грузовых перевозок с использованием скоростных судов и судов инновационного типа.

Ключевые слова: водный транспорт, грузовые перевозки, суда инновационного типа.

The current state and prospects for the development of freight transportation in innovative type vessels

Semion V. Sustretov

Andrey O. Nichiporuk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7763-2829>

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

Abstract. The article presents the results of the analysis of the current state of freight transportation in innovative type vessels (hovercraft, hydrofoils, cargo, passenger and cargo-passenger single and multi-hull displacement vessels). Foreign and domestic experience in the field of design and operation of the types of vessels under consideration is summarized, the most interesting examples and developments are given. A number of publications in the field under consideration have been analyzed, the most interesting and promising proposals and recommendations of various scientists and authors were identified. Based on the completed review of experience, as well as the analysis of scientific publications, conclusions and proposals regarding the most promising areas of further research on improving the organizational and technical aspects of freight transportation using high-speed and innovative-type vessels were made.

Keywords: water transport, freight transportation, innovative type vessels.

Введение

В Транспортной стратегии Российской Федерации поставлены задачи повышения качества и доступности транспортных услуг для грузовладельцев и пассажиров, обеспечения высокой скорости и сохранности перевозок. На внутреннем водном транспорте это может быть достигнуто как при помощи использования новых или оптимальных транспортно-логистических схем доставки, так и принципиально новых подходов к использованию подвижного состава, укрупненных грузовых единиц, контейнерных и накатных технологий, а также инновационных принципов работы и эксплуатации новых типов судов.

Например, в настоящее время контейнерные перевозки преимущественно осуществляются на морском, автомобильном и железнодорожном видах транспорта. Внутренний водный транспорт, несмотря на достаточно развитую в прошлом портовую инфраструктуру и флот, сейчас в меньшей степени вовлечен в такие перевозки, что объясняется как недостатком или устареванием и износом необходимой перегрузочной техники, специализированного подвижного состава, так и отсутствием развитого организационного взаимодействия в сфере мультимодальных, контейнерных и контейлерных перевозок [1, 2].

В последние годы получили распространение мелкопартионные перевозки, нивелирующие преимущество использования крупнотоннажного и среднетоннажного флота перед перевозками в автофурах, на автоприцепах, в железнодорожных вагонах и на платформах.

Однако в отечественном и зарубежном судостроении имеются разработки, рассчитанные на осуществление высокоскоростных мелкопартионных перевозок, которые в ряде случаев и при определенных условиях могли бы составить конкуренцию наземным видам транспорта и сообщения. Речь идет, прежде всего, о судах на воздушной подушке и на подводных крыльях, которые были спроектированы и имели опыт эксплуатации (или опытных перевозок) на перевозках грузов, а не пассажиров [3].

Методы

Для проведения анализа современного состояния и перспектив развития грузовых перевозок в судах инновационного типа целесообразным представляется провести изучение научных исследований и публикаций в области скоростных грузовых, пассажирских и грузопассажирских перевозок, рассмотреть предложения авторов и ученых по их совершенствованию, а также использованию судов инновационного типа. К инновационным разработкам в области грузовых перевозок применительно к типам флота следует отнести новые подходы к использованию судов на воздушной подушке (СВП), судов на подводных крыльях, повышение скорости и экономичности (за счет совершенствования конструкции и материалов) водоизмещающих судов (катеров, катамаранов). Отметим, что отдельные разработки, особенно принципиального плана (воздушная подушка, многокорпусные суда, подводные крылья) не являются сами по себе инновационными. Однако совершенствование их использования, нахождение новых направлений и возможностей их применения следует считать инновацией.

Далее необходимо рассмотреть уже имеющийся опыт и разработки в области проектирования и эксплуатации судов на воздушной подушке, судов на подводных крыльях, водоизмещающих судов на морском и речном транспорте России и зарубежных стран, выделить положительные и отрицательные стороны проектов и действующего флота с точки зрения обеспечения качества и эффективности скоростных грузовых перевозок.

На заключительном этапе следует обобщить результаты анализа публикаций, исследований, отечественного и зарубежного опыта, сформулировать предложения по основным направлениям дальнейшего развития и совершенствования грузовых перевозок с использованием судов инновационного типа.

Предложения ученых и исследователей

Рассмотрим результаты исследований других авторов в интересующей нас области.

Жаворонков Н.А. и Зарецкая Е.В. обращают внимание на то, что более активному участию внутреннего водного транспорта в мультимодальных перевозках препятствует его обособленность при взаимодействии с другими видами транспорта и участниками транспортного процесса, ориентация на традиционные технологии перевозки, в большей степени ориентированные на массовые грузы [4].

Авторы в качестве одного из направлений совершенствования деятельности речного транспорта указывается возможность использования скоростного флота на внутренних водных путях, по длине и направлению не уступающих автомобильным. При этом предлагается более активное использование и внедрение транспортно-технологических систем контейнерных, конрейлерных и ролкерных перевозок.

Следует согласиться с выводом авторов о значительной перспективности организации на внутреннем водном транспорте комбинированной транспортно-технологической системы перевозок грузов и пассажиров на специализированном флоте (грузопассажирском). Однако из грузов в данном случае рассматриваются только укрупненные грузовые единицы на автотранспортных средствах и в контейнерах.

Комплексное исследование и обзор различных видов судов накатного типа (паромы, ролкеры), эксплуатирующихся на морском и внутреннем водном транспорте, представлены в работе [5]. Рассмотрены крупные морские паромы-автомобилевозы, использующиеся для перевозок на значительные расстояния, грузопассажирские паромы (перевозящие автомобили и пассажиров на среднюю дистанцию) и челночные паромы, предназначенные для перевозок только пассажиров. На речных участках могут использоваться меньшие по размерам и более универсальные суда рассматриваемого типа. Представлены существующие проекты быстроходных паромов, как одно-, так и многокорпусных (катамаранного типа), которые способны по скорости и удобству конкурировать с автомобильным транспортом. Также указывается на существование небольших судов с малой осадкой паромного типа, способных осуществлять погрузку-выгрузку пассажиров и накатной техники на необорудованный берег.

Произведенная авторами оценка экономической эффективности ряда рассматриваемых судов показала, что наиболее перспективными с точки зрения использования являются крупные грузовые, грузопассажирские и пассажирские паромы, осуществляющие перевозки на дальние и средние дистанции. Отрицательную рентабельность показали малые скоростные водоизмещающие суда. Однако расчеты производились для условий морского судоходства. Для внутреннего водного транспорта и типы используемого флота будут другими, и, вероятнее всего, результаты оценки их экономической и эксплуатационной эффективности будут отличаться.

Авторы [6] рассматривают возможности организации многофункциональной грузопассажирской линии с использованием речного парома в отдельных районах Москвы, тяготеющих к городской речной магистрали. В качестве успешного примера реализации подобной идеи приводится Париж, где с реки в прибрежные магазины и

на торговые площади доставляются наряду с пассажирами и гостями города продукты и товары.

Для предложенной бизнес-модели должно быть разработано специальное судно, представляющее собой многофункциональный грузопассажирский паром. Многофункциональность заключается в том, что пассажирам предоставляются не только традиционные услуги пассажирского речного транспорта, а именно перевозка и питание. На территории парома предполагается размещение различных торговых и развлекательных заведений, фитнес-клубы или конференц-залы и т.п.

В работе указывается на необходимость проработки маршрута и пунктов остановки данного судна, а также возможные проблемы в обустройстве причальной и береговой инфраструктуры, нормативно-правового обеспечения работы и технического сопровождения эксплуатации многофункциональной паромной линии. Важным фактором будет и организация качественного и быстрого взаимодействия с другими видами транспорта, увязка расписания движения и стоянок парома с расписанием городского транспорта, а также движения пассажиров и туристов.

Статья Тер-Акопова А.М. посвящена описанию проекта универсального грузопассажирского судна [7]. Это катер, рассчитанный на размещение до 30 пассажиров, одного 20-футового контейнера, автотранспортного средства (в открытой кормовой части), тарно-штучных, пакетированных грузов или багажа. Колесная техника может покидать судно своим ходом через кормовую аппарель, другие грузы могут разгружаться в том числе с использованием имеющейся перегрузочной установки (при наличии промежуточного понтона или баржи). Спроектированное судно при полной загрузке и осадке 1,5 м на глубокой тихой воде способно развивать скорость 25 км/ч.

Интерес представляет статья Гусева Д.Е. [8]. В ней подчеркивается, что пассажирские линии на внутреннем водном транспорте являются малоэффективными в экономическом плане. Социально значимые линии могут работать только при субсидировании. Одним из вариантов решения проблемы неэффективности пассажирских перевозок на речном транспорте может стать возврат к организации грузопассажирских перевозок и использованию соответствующих типов флота.

Подобные перевозки должны осуществляться в рамках сформированной и согласованной линии по определенному расписанию. В связи с этим необходимо обеспечить быструю погрузку-выгрузку не только пассажиров, но и перевозимых на судах грузов за сравнительно небольшое время стоянки. Это приводит к выводу о целесообразности использования для перевозок укрупненных грузовых единиц, например, контейнеров, что облегчает укрупнение партии груза, повышает его сохранность и проведение погрузочно-разгрузочных работ. Для выполнения перегрузочных работ в стояночных пунктах достаточно иметь стационарный причал и контейнерный склад либо понтон (грузовой модуль). При этом ожидается, что время непосредственной загрузки 20 контейнеров составит порядка 50-60 минут, а выгрузка 3-5 контейнеров – всего 15-20 минут.

Автором показано, что строительство постоянных контейнерных терминалов вблизи пассажирских причалов и вокзалов нерационально из-за короткого периода навигации, в связи с чем предлагается на период работы линии в качестве оперативного накопителя использовать баржи-площадки, дооборудованные перегрузочной аппарелью.

Отечественный и зарубежный опыт

Рассматриваемые типы судов нашли свое использование в области перевозок пассажиров, а также при обслуживании перевозок армейской техники, работе

пограничных служб, служб спасения и чрезвычайных ситуаций. Их эксплуатация была обоснована выполнением социальных, общественных и других задач. Исходя из них, основными критериями были отличные от прибыли, доходности и др., имеющих большое значение для коммерческих организаций [9, 10]. Поэтому в сфере грузовых перевозок рассматриваемые суда получили ограниченное распространение, преимущественно на морском транспорте, а также в туризме. При этом многие проекты судов имеют грузопассажирские варианты, за счет чего компенсируется изначальная убыточность многих направлений пассажирских (нетуристических) перевозок [4, 5]. Также на морском транспорте играет существенную роль большая пассажиро- и грузоместимость, благодаря чему эксплуатация паромов, катамаранов, судов на подводных крыльях позволяет достичь приемлемых экономических показателей и быть привлекательной для коммерческого использования. Этот опыт, а также конструкционные решения и технологические наработки возможно и следует использовать применительно к внутреннему водному транспорту, тем более, что современные технологии и организационно-технические подходы позволяют повысить эксплуатационную и экономическую эффективность как имеющегося флота, так и перспективного в области грузовых и грузопассажирских перевозок [1, 2, 9, 10]. Еще одним положительным фактором в приоритетности использования и повышения конкурентоспособности воднотранспортных схем перевозок грузов и пассажиров должны стать более высокие по сравнению с другими видами транспорта (прежде всего, автомобильным) экологичность и безопасность [11, 12].

Кроме упомянутых грузопассажирских судов, интерес представляет опыт создания и эксплуатации грузовых платформ на воздушной подушке, а также судов на подводных крыльях повышенной грузоподъемности.

Первые проекты судов на воздушной подушке в области грузовых перевозок представляли собой реализацию идеи о создании пригодной для толкания платформы на воздушной подушке. Причем первоначально данные суда использовались не только на воде, но и на земной поверхности, их толкали люди. Развитием технологии стали проекты более крупных и мощных грузовых прицепов на воздушной подушке – по сути, непилотируемых судов на воздушной подушке, способных (теоретически, данные пока не подтверждены) поднимать и переносить грузы общей массой от 100 до 350 тонн [3]. Естественно, для подобных транспортных средств необходимо дополнительное использование толкача, также являющегося судном на воздушной подушке.

Предполагается, что выгода от эксплуатации данных судов будет заключаться в возможности осуществления круглогодичных перевозок, причем не только по водным путям, но также с выходом на береговую поверхность (без обязательного наличия оборудованного причала в пункте погрузки или выгрузки).

Большое распространение идея о создании платформы на воздушной подушке получила в Канаде, где созданы и эксплуатируются системы для подъема и доставки самолётов с мест крушения, плавучие нефте-буровые установки, эксплуатируются СВП-паромы. Есть аналоги и в нашей стране. Так, компания ООО «Экстрим Моторс» (<https://xtreme-motors.ru>) разработала грузовой прицеп на воздушной подушке размерами 10×7 м (рис. 1, 2). При выключении системы воздушной подушки судно переходит в водоизмещающий режим.



Рис. 1. СВП-баржа компании ООО «Экстрим Моторс»

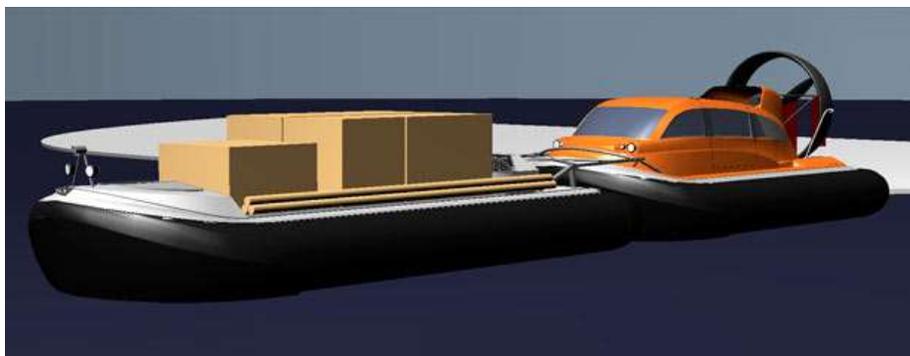


Рис. 2. Общий вид СВП-толкача и СВП-баржи

Другим направлением проектирования грузовых судов на воздушной подушке, получившим широкое распространение как у нас в стране, так и за рубежом (США, Китай, Канада, Великобритания), стало создание и эксплуатация тяжелых типов данного флота.

Следует отметить, что Россия, наравне с США, Китаем, Канадой и Великобританией, имеет огромный опыт использования тяжелых судов на воздушной подушке (ТСВП). Было экспериментально доказано, что в регионах Севера данные суда экономически выгоднее использования вертолетов в в 4-5 раз. С данным видом транспорта может конкурировать только речной водоизмещающий флот. Но ввиду короткой навигации его показатели не столь значительны.

ТСВП имеют грузоподъемность до 150 тонн, однако изначально они разрабатывались для районов Крайнего Севера, для работы в областях торошения и тяжелых климатических условиях.

Если переоборудовать судно, снизив высоту парения и отказаться от систем, обеспечивающих работу судна в температурных условиях Арктики, то можно получить снижение себестоимости производства, снижение расхода топлива, и возможно, повышение грузоподъемности.

Еще одним видом судов инновационного типа можно считать суда на подводных крыльях. Сфера и период их эксплуатации по сравнению с судами на воздушной

подушке более ограничены, однако при определенных условиях они также могут показать свою эффективность, в том числе на грузовых перевозках.

Так, уже имеются созданные прототипы грузовых судов на подводных крыльях, показавшие свою перспективность (рис. 3). Также существует проект контейнеровоза на подводных крыльях американской компании-разработчика Boundary Layer Technologies (<https://www.boundarylayer.tech>). Первое проектное судно, уже построенное, способно перевозить на борту лишь один контейнер, однако в планах компании уже есть проекты большей вместительности (160 TEU и более). Использование при изготовлении инновационных технологий и материалов (углепластик и др.) позволило повысить эксплуатационные характеристики судна, а также обеспечить скорость его движения до 40 узлов (74 км/ч). Изначально проект рассчитан на морские перевозки, однако в перспективе он может быть модернизирован для нужд контейнерных и грузовых линий на внутреннем водном транспорте. Более того, известно, что опытный образец хорошо зарекомендовал себя на реке и при работе в заливах.



Рис. 3. Контейнеровоз на подводных крыльях проекта компании Boundary Layer Technologies

Можно также отметить существование проектов одно- и многокорпусных быстроходных паромов (рис. 4, 5).



Рис. 4. Быстроходный многокорпусный паром «Express 4» по проекту компании Austal (<https://www.austal.com>)



Рис. 5. Быстроходный грузопассажирский паром катамаранного типа (слева) и однокорпусное грузопассажирское судно (справа) по проектам компании Incat (<https://incat.com.au>)

Представленный на рис. 4 паром «Express 4» является грузопассажирским. Он вмещает до 1006 пассажиров (плюс 22 члена экипажа), 425 легковые машины, а также имеет палубу длиной в 610 м для размещения грузовиков. Осадка судна в грузу – 3,4 м, максимальная скорость хода – 55 узлов (101,8 км/ч).

Имеются более компактные проекты. Так, на рис. 5 показан внешний вид быстроходного грузопассажирского парома катамаранного типа (пассажировместимость 400 чел., осадка в зависимости от условий плавания 1,36-1,85 м, скорость хода 46 км/ч) и однокорпусного грузопассажирского судна. Эти и многие другие проекты, в том числе реализованные и уже реально эксплуатирующиеся, являются продукцией компании Incat, Тасмания (<https://incat.com.au>). Особый интерес представляет то, что многие из перспективных проектов предполагают работу на электрической энергии, на газу, а также гибридное использование дизельного и газового топлива, что говорит об их инновационной направленности.

Заключение

Накопленный зарубежный и отечественный опыт в области создания и эксплуатации судов на воздушной подушке, судов на подводных крыльях, одно- и многокорпусных водоизмещающих судов (паромов, катамаранов и др.) показывает наличие множества технических решений и проектов, которые могут быть

использованы для внедрения в области грузовых и грузопассажирских перевозок. При этом большинство имеющихся разработок используются либо в сфере негражданских перевозок, либо на морском транспорте (при наличии крупных пассажиропотоков и сопутствующих объемов перевозок накатной техники и грузов).

Следовательно, применительно к области грузовых перевозок с участием внутреннего водного транспорта необходимо провести ряд предварительных исследований по обоснованию характеристик данных судов для обеспечения их эффективной и востребованной работы на речных перевозках, проработать организационные и технологические аспекты таких перевозок, изучить их востребованность и конкурентоспособность по сравнению с альтернативными способами перевозок мелких партий грузов – в обычных водоизмещающих судах, на автомобильном и железнодорожном транспорте.

Ряд предложений ученых касается развития грузопассажирских перевозок и внедрения соответствующих типов флота. Это, по мнению ряда авторов [4, 6, 8], позволит повысить востребованность таких судов, расширить возможности их применения и продолжительность эксплуатации, диверсифицировать перечень услуг судоводных компаний-операторов, а также обеспечить доходность перевозок. Однако эти утверждения, сформулированные на уровне гипотез, требуют своего экспериментального или расчетного подтверждения. Также необходимо определить оптимальные границы и сферы использования обусловленных грузопассажирских судов, эффективность их эксплуатации на различных линиях и при различном соотношении в освоении пассажиро- и грузопотоков.

Еще одним важным моментом и проблемным вопросом в обеспечении грузовых и грузопассажирских перевозок с использованием скоростного флота и инновационных судов станет совершенствование процессов грузовой обработки. Во-первых, в случае с грузопассажирской линией возникает необходимость выполнения погрузки-выгрузки одновременно с посадкой-высадкой пассажиров, причем проведение грузовых работ не должно задерживать движение судна по расписанию, а также не увеличивать продолжительность стоянок в остановочных пунктах [8]. Во-вторых, необходимо наряду со скоростью погрузки-выгрузки обеспечить высокую сохранность грузов. Оба проблемных аспекта приводят к выводу о целесообразности использования для перевозки укрупненных грузовых единиц – контейнеров, контрейлеров, транспортных пакетов, что упраздняет вероятность возникновения потерь груза при условии соблюдения технологии перевозки и проведения погрузочно-разгрузочных работ, а также повышает эффективность транспортировки и скорость загрузки-разгрузки подвижного состава. В-третьих, следует провести оптимизацию и автоматизацию процессов управления и мониторинга движением и обработкой судов на линии, в пунктах остановки, обслуживания пассажиров и оформления путевой документации на основе внедрения информационных технологий и опыта создания цифровых транспортно-логистических платформ [13, 14].

Список литературы

1. Логистика смешанных перевозок: монография / В.Н. Костров [и др.] ; под ред. В.Н. Кострова. Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. 124 с.
2. Обеспечение качества и эффективности перевозок сухих грузов речным транспортом в современных условиях : монография / А.И. Телегин [и др.] ; под ред. А.И. Телегина. Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – 132 с.
3. Ли Цзяньхуэй, Сосновский Н.Г. Состояние исследований разработок судов на воздушной подушке // Гидравлика. №7. 2019. С. 120-129.

4. Жаворонков Н.А., Зарецкая Е.В. Транзитные скоростные грузопассажирские линии как инструмент системной интеграции ВВТ в мультимодальные схемы доставки высокотарифицированных грузов // Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. №7. 2018. Режим доступа: <http://vf-река-море.рф/2018/PDF/106.pdf>
5. Войлошников М.В., Огай С.А. Предмет проектирования и состав характеристик накатных грузопассажирских судов // Морские интеллектуальные технологии. №4(42). Т. 5. 2018. С. 31–38.
6. Зарецкая Е.В., Сысоев Л.В. Многофункциональная грузопассажирская паромная линия как новая бизнес-модель, инновационная транспортная услуга и уникальное предложение в особо дефицитных сегментах рынка коммерческой недвижимости города Москвы // Научные проблемы водного транспорта. №67(2). 2021. С. 65–78. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi67.185>
7. Тер-Акопов А.М. Универсальное грузопассажирское судно // Судостроение. №4. 2003. С. 14–15.
8. Гусев Д.Е. Условия эффективной работы речной грузопассажирской линии // Вестник ВГАВТ. №37. 2013. С. 35–37.
9. Домнина О.Л., Лисин А.А. Предложения по субсидированию перевозок пассажиров внутренним водным транспортом // Речной транспорт (XXI век). №1(97). 2021. С. 34–37.
10. Шалаева Ж.Ю., Домнина О.Л. Анализ проблем перевозок пассажиров скоростным флотом // Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. №9. 2020. Режим доступа: http://vf-река-море.рф/2020/PDF/11_24.pdf
11. Корнев А.Б., Домнина О.Л., Пластинин А.Е. Пути развития экологической безопасности региона // Труды 18-го международного научно-промышленного форума «Великие реки». Сборник статей участников. Н.Новгород: НГАСУ, 2016. С. 90-92.
12. Пластинин А.Е. Оценка риска возникновения транспортных происшествий // Речной транспорт (XXI век). №3(62). 2013. С. 83–88.
13. Стрельников Д.Д., Стрельникова И.А. Вектор развития морских портов // Эксплуатация морского транспорта. №3. 2021. С. 54–59. DOI: 10.34046/aumsuomt 100/6
14. Стрельникова И.А., Стрельников Д.Д., Зеленков Г.А., Худяков С.А. Обзор зарубежного опыта создания цифровых транспортно-логистических платформ // Эксплуатация морского транспорта. №1. 2022. С. 3–7. DOI: 10.34046/aumsuomt102/1

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.
1. Logistika smeshannyh перевозок: 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.
2. Obespechenie kachestva i effektivnosti перевозок suhих грузов rechnym transportom v sovremennyh usloviyah : monografiya [Ensuring the quality and efficiency of dry cargo transportation by river transport in modern conditions: monograph] / A.I. Telegin [i dr.] ; pod red. A.I. Telegina. Nizhnij Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2020. – 132 p.
3. Li Czyanhuej, Sosnovskij N.G. Sostoyanie issledovaniy razrabotok sudov na vozduшной podushke [Status of hovercraft development research], *Gidravlika [Hydraulics]*, no.7, 2019, pp. 120-129.
4. ZHavoronkov N.A., Zareckaya E.V. Tranzitnye skorostnye gruzopassazhirskie linii kak instrument sistemnoj integracii VVT v multimodalnye skhemy dostavki vysokotarifirovannyh грузов [Transit high-speed cargo and passenger lines as a tool for

- the system integration of IWT into multimodal delivery schemes for high-tariff cargo], *Problemy ispolzovaniya i innovacionnogo razvitiya vnutrennih vodnyh putej v bassejnah velikih rek [Problems of use and innovative development of inland waterways in great river basins]*, no.7, 2018, URL: <http://vf-reka-more.rf/2018/PDF/106.pdf>
5. Vojloshnikov M.V., Ogaj S.A. Predmet proektirovaniya i sostav harakteristik nakatnyh gruzopassazhirskih sudov [Subject of design and composition of characteristics of rolling cargo-passenger vessels], *Morskie intellektualnye tekhnologii [Marine intelligent technologies]*, no.4(42), vol. 5, 2018, pp. 31–38.
 6. Zareckaya E.V., Sysoev L.V. Mnogofunkcionalnaya gruzopassazhirskaya paromnaya liniya kak novaya biznes-model, innovacionnaya transportnaya ushuga i unikalnoe predlozhenie v osobo deficitnyh segmentah rynka kommercheskoj nedvizhimosti goroda Moskvy [Multifunctional cargo and passenger ferry line as a new business model, innovative transport service and unique offer in particularly scarce segments of the commercial real estate market in Moscow], *Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport]*, no.67(2), 2021, pp. 65–78. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi67.185>
 7. Ter-Akopov A.M. Universalnoe gruzopassazhirskoe sudno [Universal cargo-passenger ship], *Sudostroenie [Shipbuilding]*, no.4, 2003, pp. 14–15.
 8. Gusev D.E. Usloviya effektivnoj raboty rečnoj gruzopassazhirskoj linii [Conditions for effective operation of the river cargo and passenger line], *Vestnik VGAVT [VSUWT Bulletin]*, no.37, 2013, pp. 35–37.
 9. Domnina O.L., Lisin A.A. Predlozheniya po subsidirovaniyu perevozok passazhirov vnutrennim vodnym transportom [Proposals for subsidizing passenger transportation by inland water transport], *Rečnoj transport (XXI vek) [River transport (XXI century)]*, no.1(97), 2021, pp. 34–37.
 10. SHalaeva ZH.YU., Domnina O.L. Analiz problem perevozok passazhirov skorostnym flotom [Analysis of problems of passenger transportation by high-speed fleet], *Problemy ispolzovaniya i innovacionnogo razvitiya vnutrennih vodnyh putej v bassejnah velikih rek [Problems of use and innovative development of inland waterways in great river basins]*, no.9, 2020, URL: http://vf-reka-more.rf/2020/PDF/11_24.pdf
 11. Kornev A.B., Domnina O.L., Plastinin A.E. Puti razvitiya ekologicheskoy bezopasnosti regiona [Ways to develop the environmental safety of the region], *Trudy 18-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki». Sbornik statej uchastnikov [Proceedings of the 18th International Scientific and Industrial Forum "Great Rivers." Collection of articles by participants]*, N.Novgorod: NGASU, 2016, pp. 90-92.
 12. Plastinin A.E. Ocenka riska vozniknoveniya transportnyh proissheshtvij [Risk assessment of accidents], *Rečnoj transport (XXI vek) [River transport (XXI century)]*, no.3(62), 2013, pp. 83–88.
 13. Strelnikov D.D., Strelnikova I.A. Vektor razvitiya morskikh portov [Seaport development vector], *Ekspluatatsiya morskogo transporta [Operation of marine transport]*, no.3, 2021, pp. 54–59. DOI: 10.34046/aumsuomt 100/6
 14. Strelnikova I.A., Strelnikov D.D., Zelenkov G.A., Hudyakov S.A. Obzor zarubezhnogo opyta sozdaniya cifrovyyh transportno-logisticheskikh platform [Review of foreign experience in creating digital transport and logistics platforms], *Ekspluatatsiya morskogo transporta [Operation of marine transport]*, no1, 2022, pp. 3–7. DOI: 10.34046/aumsuomt102/1

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сустретов Семен Владимирович, аспирант кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: semion152rus@gmail.com

Semion V., Sustretov Graduate Student of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterova, 5, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: semion152rus@gmail.com

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

Статья поступила в редакцию 01.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 01.06.2022; published online 20.09.2022.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА,
СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ СУДОХОДСТВА**

**OPERATION OF WATER TRANSPORT,
NAVIGATION AND SAFETY OF NAVIGATION**

УДК 656.621/.626

DOI: 10.37890/jwt.vi72.286

Типовые решения организации транспортного процесса и систем на внутреннем водном транспорте

В.М. Бунеев¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3979-9115>

Е. А. Григорьев¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7863-9141>

А.Ю. Гаврилова¹

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

Аннотация. Обоснована необходимость в принятии типовых решений при организации транспортных процессов и систем. Применение данных решений позволяет сократить время на их разработку и избежать ошибок при реализации в эксплуатационной деятельности судоходных компаний. Кроме того, необходим мониторинг хода реализации задачи, так как существует определённый временной период, за который могут произойти изменения условий производства транспорта. Оценке подлежат ситуации, их динамичность во времени и пространстве, показатели организации транспортной деятельности. В этом состоит актуальность настоящей работы. Для её реализации в рамках судоходной компании рекомендуются соответствующие организационно-технические и организационно-экономические мероприятия общего характера. В связи с этим рассмотрены конкретные, наиболее важные задачи: 1) обоснование схем и способов организации перевозок и работы флота; 2) разработка требований к судам для использования на основных направлениях грузовых перевозок; 3) обоснование рациональной сферы использования типов судов и составов на грузовых перевозках; 4) оптимизация типовых составов и определение их перечня на основных направлениях перевозок грузов; 5) оптимизация плана расстановки судов и составов по участкам работы и направлениям перевозок с учётом распределения по периодам навигации; 6) обоснование режима работы двигателей и движения буксирных судов с составом. Для их решения разработан методический инструментарий, основой которого являются научные подходы и принципы, методы и модели математического программирования, особенности эксплуатационно-экономического обоснования на водном транспорте. Результатами его реализации являются предложенные типовые решения в области организации транспортного процесса и систем на внутреннем водном транспорте, научно-обоснованные предложения и рекомендации по выбору стратегии использования флота на грузовых перевозках и распределение его по периодам навигации.

Ключевые слова: транспорт, внутренний водный, транспортный процесс и системы, организация, решения, типовые.

Typical solutions for the organization of the transport process and systems in inland waterway transport

Victor M. Buneev¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3979-9115>

Evgeniy A. Grigorev¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7863-9141>

Anna Yu. Gavrilova¹

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

Abstract. The necessity of making standard decisions in the organization of transport processes and systems is substantiated. The use of them allows you to reduce the time for their development and avoid mistakes during implementation in the operational activities of shipping companies. In addition, it is necessary to monitor the progress of the task, since there is a certain time period during which changes in the production conditions of transport can occur. Situations, their dynamism in time and space, indicators of the organization of transport activities are subject to assessment. This is the relevance of this work. For its implementation within the framework of the shipping company, appropriate organizational-technical and organizational-economic measures of general nature are recommended. In this regard, the specific, most important tasks are considered: 1) justification of schemes and methods of organizing transportation and fleet operations; 2) development of requirements for vessels for use in the main directions of cargo transportation; 3) justification of the rational scope of use of types of vessels and convoys in cargo transportation; 4) optimization of standard convoys and determination of their list in the main directions of cargo transportation; 5) optimization of the layout plan of vessels and convoys by work areas and directions of transportation, taking into account the distribution by navigation periods; 6) justification of the operating mode of engines and the movement of tugboats with a composition. To solve them, methodological tools have been developed, the basis of which are scientific approaches and principles, methods and models of mathematical programming, features of operational and economic justification for water transport. The results of its implementation are the proposed standard solutions in the field of organization of the transport process and systems in inland waterway transport, scientifically based proposals and recommendations for choosing a strategy for using the fleet in cargo transportation and its distribution by navigation periods.

Keywords: transport, inland waterway, transport process and systems, organization, solutions, typical.

Введение

Внутренний водный транспорт как составная часть транспортной системы страны имеет свою сферу деятельности в обслуживании других отраслей экономики, социальной сферы и населения. В регионах Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока данный вид транспорта имеет доминирующее положение. Следует также отметить пионерную роль его при освоении новых территорий, организации здесь общественного производства и развития производительных сил. При этом перед субъектами внутреннего водного транспорта для достижения поставленных целей возникает обширный круг эксплуатационных задач. Типизация технических средств [1] при организации транспортных процессов и систем способствует процессу их поиска и принятия типовых решений [2]. Такой подход позволяет сократить время на их разработку и избежать ошибок при их реализации в процессе осуществления эксплуатационной деятельности судоходных компаний с учётом мониторинга ситуации на рынке транспортных услуг и реагирования на вызовы внешней среды. В этом состоит актуальность настоящей работы.

Методы и результаты

Исходя из анализа эксплуатационных задач, выявлены наиболее востребованные в практике организации транспортных процесс и систем [3,4,5]:

- обоснование схем и способов организации перевозок и работы флота;
- разработка требований к судам для освоения основных грузовых потоков;
- оптимизация типовых составов для работы в конкретных эксплуатационных условиях и определение их перечня для освоения основных грузовых потоков;
- оптимизация плана расстановки судов и составов по участкам работы и направлениям перевозок с учётом распределения по периодам навигации.
- обоснование режима работы двигателей и движения буксирных судов с составом.

В основу методических положений обоснования типовых решений эксплуатационных задач на внутреннем водном транспорте заложены основы теории транспортных процессов и систем, методы разработки и принятия управленческих решений с учётом специфики эксплуатации транспортного флота на внутренних водных путях, а также методы и модели математического программирования [6].

В задачах обоснования типовых решений организации перевозок объектами исследования являются технологический процесс работы транспортных судов и транспортный процесс доставки грузов. Отмечается, что первый из них ориентирован на выполнение флотом операций по перемещению грузов из одного пункта в другой, включая операций по грузовому и техническому обслуживанию судов. Второй объект связан с грузовыми потоками, при освоении которых выполняется технологический процесс работы транспортных судов и технических средств перегрузки и складирования грузов. Следовательно, оба этих объекта взаимосвязаны и рассматриваются они только совместно, поскольку реализовать их отдельно невозможно. Поскольку понятие организации транспортного процесса более широкое, то правомочно его рассматривать комплексно или каждое из них отдельно в зависимости от содержания решаемой задачи. С позиций системного подхода организация транспортного процесса представляет собой координацию функционирования отдельных элементов исследуемой системы, совокупность процессов и способов их взаимодействия при достижении поставленной цели – выполнение транспортных услуг по доставке грузов. Другими элементами системы являются: технические средства перевозки (флот), перегрузки, складирование, комплексное обслуживание флота, судопропускных сооружений и рейдов (рис.1).

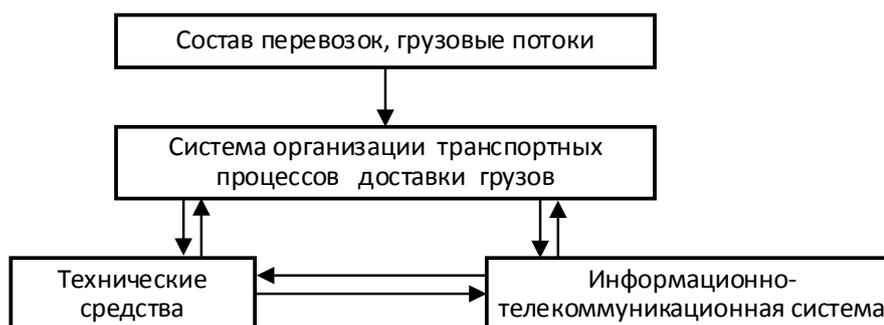


Рис. 1. Схема взаимодействия системы организации транспортных процессов доставки грузов с другими элементами транспортной системы

Итак, исходя из принципов системного подхода, методические положения эксплуатационно-экономического обоснования типовых решений на внутреннем

водном транспорте рассматриваются как комплекс задач в системе исследования, которые могут быть решены при реализации поэтапного алгоритма в следующей последовательности:

- 1) постановка задачи и пути её решения;
- 2) выбор критерия оценки эффективности;
- 3) анализ факторов влияния на подготовку и принятие решения;
- 4) определение способов и методов решения задачи;
- 5) уточнение методического инструментария решения задачи;
- 6) разработка и принятие решения задачи;
- 7) оценка эффективности реализации принятого решения;
- 8) контроль хода реализации принятого решения.

При положительной оценке цикл расчётов по поиску оптимального решения завершается, а при отрицательной осуществляется возврат к третьему этапу и цикл повторяется. Процедура принятия оптимального решения завершается при получении максимального эффекта от его реализации. Многое зависит от выбора показателя в качестве критерия оценки эффективности. Основное требование к нему состоит в соответствии его реального значения требуемому в соответствии с поставленной целью.

Исходя из выбора в качестве стратегии поведения судоходной компании минимизации затрат на производство транспортных услуг, критерием оценки эффективности решения перечня типовых задач могут быть приняты показатели текущих издержек, эксплуатационных расходов, себестоимости перевозок или доставки грузов. Так, при обосновании схем и способов организации перевозок и работы флота, оптимизации типовых составов для работы в конкретных эксплуатационных условиях и определения перечня типовых составов в качестве критерия принят показатель себестоимости доставки грузов. Следует отметить, что при оценке эффективности способов и схем организации перевозки грузов и работы флота экологические последствия воздействия на природную среду будут одинаковыми, поскольку в судовых двигателях используется один и тот же вид дизельного топлива. Следовательно, если не рассматривается другой вид транспорта в альтернативных вариантах, то такую оценку можно не делать.

Контроль хода реализации задачи необходим, так как существует определённый временной период, за который могут произойти изменения условий производства транспортных услуг по доставке грузов, требующие корректировки принятого решения. Контроль играет роль обратной связи в системе управления. Посредством его проверяется ход выполнения принятых решений, оцениваются последствия их реализации. Оценке подлежат ситуации, их динамичность во времени и пространстве. В результате такой оценки осуществляется мониторинг, вносятся коррективы в запланированные показатели организации транспортной процессов и систем. Контроль выступает одним из главных инструментов выработки политики и принятия управленческих решений, которые должны обеспечить эффективность функционирования предприятия и достижение поставленных целей.

Итак, при организации перевозок возможны маршрутные и немаршрутные схемы движения и перевозки грузов. Каждая из них имеет свою сферу применения. Маршрутные перевозки и схемы движения организуются для доставки груза одного наименования из данного пункта отправления в один пункт назначения в одном типе грузовых судов на протяжении линии его движения. Как правило, маршрутные перевозки и схемы движения применяются в стабильных условиях движения флота. Немаршрутные перевозки и схемы движения организуются для освоения грузов одного или нескольких наименований из одного или нескольких пунктов отправления в один или несколько пунктов назначения. Немаршрутные перевозки и схемы

движения применяются в зависимости от условий судоходства, перепада глубин судового хода. В качестве примера можно отметить: организацию перевозок грузов в смешанном «река-море» плавании, завоз грузов на притоки и малые реки. По результатам выполненных исследований по проблеме завоза грузов в пункты Обской губы установлены рациональные схемы и типы судов и составов при перевозке нефтепродуктов в пункты назначения. Выводы и рекомендации использованы при разработке программы развития внутреннего водного транспорта Ямало-Ненецкого автономного округа.

Предложенный поэтапный алгоритм и разработанная на его основе методика позволяют разработать эксплуатационно-технические и эксплуатационно-экономические требования к судам для освоения грузовых перевозок на конкретных направлениях с учетом сложившихся условий эксплуатации. Она была реализована в условиях Обь-Иртышского и Ленского бассейнов [4,5].

Эксплуатационно-технические и эксплуатационно-экономические требования к судам для освоения грузовых перевозок на конкретных направлениях зависят от сложившихся условий эксплуатации с учётом действующей структуры перевозок и характеристик грузовых потоков, структуры флота и характеристик транспортных судов, условий обслуживания флота в пунктах его обработки. Решение задач осуществляется при обосновании рациональной сферы использования типов судов и составов в условиях Обь-Иртышского бассейна, их оптимизации [5]. Таким образом, определены рациональные сферы использования буксиров проектов 1741А и 428 на грузовых перевозках.

Впоследствии решения, полученные при обосновании схем и способов перевозки грузов, рациональной сферы типов судов и составов уточняются в процессе обоснования оптимальных (экономически целесообразных) типов составов для освоения грузовых потоков на основных направлениях перевозок, поскольку результат решения такой задачи является одним из элементов системы эффективного использования транспортного флота. Ее решение направлено на снижение себестоимости грузовых перевозок и повышение конкурентоспособности судоходных компаний и речного транспорта как его вида. Содержание принятого критерия оценки эффективности описано выше и требует пояснений следующего характера. При определении эксплуатационных затрат по причалам портов за время обработки флота и на проведение путевых работ для улучшения условий судоходства необходимо учитывать реалии экономической ситуации в стране. Речные порты являются самостоятельным хозяйственным субъектом. В соответствии с действующим законодательством услуги порта в основном оплачиваются судовладельцами по договорным ценам и тарифам (Прейскурант 14-01). Содержание водных путей и проведение путевых работ по улучшению условий судоходства осуществляют ГБУВПиСы (Государственные бассейновые управления водных путей и судоходства). Они являются государственными предприятиями и находятся на федеральном бюджете. Кроме того, существует система экономических взаимоотношений между ГБУВПиСом и судоходными компаниями, при которой судовладельцы осуществляют платежи за использование водных ресурсов, устанавливаемые при заключении договоров и, соответственно, зависящие от договорных условий. Взаимоотношения судоходных компаний и других собственников флота ГБУВПиСа пока до конца не урегулированы. В связи с этим учесть такие расходы при оптимизации типов составов сложно.

Приведённый выше общий алгоритм решения типовых задач адаптирован при обосновании оптимальных (экономически целесообразных) типов составов. Последовательность оптимизационного процесса следующая:

- 1) исследование факторов влияния на подготовку и принятие решения (структура перевозок и грузовых потоков, характеристика водных путей, условия судоходства и обслуживания флота в пунктах грузовой обработки;
- 2) анализ структуры флота, технических и эксплуатационных характеристик;
- 3) определение возможных (альтернативных) вариантов формирования типовых составов;
- 4) установление эксплуатационных характеристик составов и нормирование их работы, а также эксплуатационных показателей работы тяги и тоннажа;
- 5) определение экономических характеристик буксирных и самоходных судов;
- 6) расчет критерия оценки и выбор экономически целесообразных типов составов;
- 7) формирование перечня типовых составов.

При анализе и оценке полученных результатов оптимизации в условиях Обь-Иртышского и Ленского бассейнов рекомендованы для эксплуатации следующие типы составов: БТ-800+2*2800, БТ-800+2*2500, БТ-600+2*2800, БТ-600+2*2500, БТ-450+1* 2500 и БТ-450+2*1500 для освоения стабильных грузовых потоков БТ-300+1*1500 и БТ-150+1*600 – для освоения мелкопартионных.

Наиболее сложный комплекс задач «обоснование стратегии использования флота судоходной компании на грузовых перевозках с учётом распределения его по периоду навигации, а также факторов риска». Результаты их решения являются основой для формирования и реализации конкурентной стратегии. Методический инструментарий базируется на методах и моделях линейного программирования в параметрической постановке [6]. Задача распределения грузопотоков и флота решается в два этапа, первый весенний (полноводный) и второй межсезонный (маловодный). Результаты реализации методических разработок и исследований приведены в работах [3,4,7]. В частности, задача обоснования стратегии использования флота решена на конкретном примере перевозок песка и щебня в пункты Средней Оби [3].

Рассмотрены три сценария развития событий: расчётный (базовый), пессимистический и оптимистический в зависимости от плана перевозок и величины грузовых потоков. Для поиска оптимального решения использована экономико-математическая модель расстановки флота в параметрическом виде. Реализация модели осуществлена в трех вариантах в зависимости от структуры флота и принятых ограничений по нему. При этом в качестве критерия оценки эффективности принят показатель эксплуатационных расходов по содержанию флота. В дальнейшем для оценки рискованных решений может быть определена прибыль от перевозок грузов исходя из принятого уровня рентабельности 7% (табл.1) [3].

Таблица 1

Оценка рискованных решений по выбору стратегии использования флота

Стратегия использования флота	Прибыль по вариантам плана перевозок, млн. руб.			Ожидаемая прибыль, млн. руб.	Риск потери прибыли млн. руб.
	$P_1=0,50$	$P_2=0,35$	$P_3=0,15$		
1	18,30	24,30	38,40	23,42	6,86
2	17,50	22,70	38,30	22,44	7,06
3	16,90	22,30	36,30	22,70	6,60

На основании анализа полученных результатов установлено, что второй вариант явно выделяется как неприемлемый для судоходной компании, поскольку ему соответствует максимум риска и минимум ожидаемой прибыли. Из оставшихся предпочтение отдается первому варианту. Здесь ожидаемая прибыль выше, чем по третьему варианту на 720 тыс. рублей, а риск выше всего на 260 тыс. рублей, решение принимается исходя из склонности к риску.

Анализируя условия реализации принятого варианта стратегии использования судоходной компании, особое внимание уделяется на возможные изменения количества предъявляемых к перевозке грузов в течение навигации. В рассматриваемом примере за основу принят базовый вариант плана перевозок. При снижении объема в пессимистическом варианте убытки могут составить 5,2 млн. рублей. недополученной прибыли по сравнению с базовым или 25% эксплуатационных расходов, если не принимать соответствующие меры. При благоприятной навигации для судоходной компании количество предъявляемых грузов может увеличиться в оптимистическом варианте с привлечением дополнительных грузовых потоков. Потери в этом случае по сравнению с базовым могут составить 5,6 млн. рублей недополученной прибыли. Расчётная потребность во флоте для принятого сценария его использования приведена в таблице 2.

Таблица 2

Потребность во флоте по вариантам плана перевозок

Варианты плана перевозок	Потребность во флоте по проектам судов, ед.		
	428	1741	P-56
Пессимистический	3	5	25
Базовый	4	7	35
Оптимистический	5	10	55

Эти данные послужили основой для разработки стратегии использования флота судоходной компании на перевозках грузов, способствующей снижению потери прибыли и убытков из-за негативного влияния факторов риска. Сущность её состоит в том, что при уменьшении объема транспортной работы в пессимистическом варианте из эксплуатации выводится одно буксирное судно проекта 428, два судна проекта 1741 и десять самоходных судов проекта P-56. Увеличение объема транспортной работы в оптимистическом варианте компенсируется вводом в эксплуатацию дополнительных судов: проекта 428 – 1 единица, проекта 1741 – 3 единицы и проекта P-56 – 20 единиц. Таким образом, разработанная стратегия состоит в оперативном регулировании структуры и дислокации эксплуатируемого в течение навигации флота с учетом складывающейся ситуации. Кроме того, снижению уровня риска способствуют методы оптимизации принимаемых решений в управлении транспортным процессом и работой флота. Таким образом, полученные результаты можно трактовать как элемент конкурентной стратегии [8,9].

Аналогичная задача решена для ООО СК «Якутск». В структуре флота на момент выполнения исследования находились: буксирные суда проекта P-33ЛТ – 5 единиц, проекта 1741 – 3 единицы, самоходные грузовые суда проекта 16800 – 4 единицы, проекта P-56 – 10 единиц; сухогрузные теплоходы проекта СК-2000К – 2 единицы и другие суда. Исходя из этого принято четыре варианта ограничений по флоту в зависимости от сочетания типов тяги и тоннажа. Для каждого из них получен оптимальный план расстановки флота по заданным направлениям перевозок (табл.3). Расчеты выполнены с помощью компьютерной программы «Обобщённая транспортная задача». При этом в качестве критерия оценки принят показатель эксплуатационных расходов по содержанию флота. Анализируя полученные

результаты (табл.4) установлено, что эксплуатационные расходы по содержанию флота минимальны во втором варианте. Близкий к нему четвертый вариант, находится в пределах погрешности. Максимум критерия соответствует третьему варианту. Здесь, в отличие от других вариантов, используется теплоход проекта СК-2000К.

Таблица 3

План расстановки флота по вариантам ограничения составов в базовом (расчётном) сценарии развития события

Тип состава	Наличие, ед.	Потребность, ед.	в т.ч. по направлениям перевозок, ед.				
			1 Д-С	2 Д-О	3 Д-Я	4 У-Я	5 О-Я
Первый вариант							
1741+2×P-56	2	2,00	-	0,42	-	0,72	0,86
P-33ЛТ+2×16800	2	2,00	-	-	0,75	-	1,25
P-33ЛТ+2×P-56	3	2,86	0,52	-	-	-	2,34
Второй вариант							
1741+2×P-56	3	3,00	-	0,42	-	0,72	1,86
P-33ЛТ+2×16800	2	2,00	-	-	0,75	-	1,25
P-33ЛТ+2×P-56	2	1,69	0,52	-	-	-	1,17
Третий вариант							
1741+2×16800	2	2,00	-	-	-	-	2,00
P-33ЛТ+2×P-56	5	5,00	0,52	0,63	0,83	0,78	2,24
СК-2000К	2	0,23	-	-	-	-	0,23
Четвертый вариант							
1741+2×16800	2	2,00	-	-	0,67	-	1,33
1741+2×P-56	1	1,00	-	0,42	-	0,58	-
P-33ЛТ+2×P-56	4	4,00	0,52	-	0,09	0,15	3,24
СК-2000К	2	0,01	-	-	-	-	0,01

Таблица 4

Выбор оптимальной стратегии использования флота с учётом факторов риска

Стратегия использования флота	Эксплуатационные расходы по вариантам развития сценария, млн. руб.			Ожидаемые эксплуатационные расходы, млн. руб.	Риск увеличения расходов млн. руб.
	P ₁ =0,45	P ₂ =0,33	P ₃ =0,22		
1	187,2	220,2	242,2	210,12	22,28
2	183,0	215,3	236,8	205,50	21,79
3	198,9	234,0	257,4	223,35	23,70
4	183,3	215,6	237,2	205,82	21,83

Итак, предпочтение отдается второму и четвертому вариантам по принятому сочетанию типов тяги и тоннажа. Здесь полностью используются буксиры-толкачи проектов 1741 и P-33ЛТ. Имеется небольшой резерв по времени эксплуатации.

Дальнейшее снижение эксплуатационных расходов возможно за счет оптимизации режимов движения составов на заданных (установленных при расстановке флота) направлениях перевозок грузов. Результаты решения этой задачи изложены в работах [4,5]. Предлагается работа судовых двигателей на пониженных оборотах.

Заключение

Таким образом, результатом настоящей разработки являются предложенный комплекс типовых решений, направленных на снижение эксплуатационных расходов при организации транспортных процессов и систем на внутреннем водном транспорте, научно-обоснованные рекомендации по выбору стратегии поведения судоходной компании либо фирм, а также системы конкурентных преимуществ. Это позволит существенно продвинуться в решении важной научно-производственной проблемы, сформулировать и реализовать другие типовые решения, направленные на экономию имеющихся ресурсов, рационализацию технической и тарифной политики.

Список литературы

1. Звонков В.В. Комплексная типизация технических средств внутреннего водного транспорта / В.В. Звонков. Москва : 1948. – 175 с.
2. Бунеев В.М. Предпосылки разработки типовых решений и типовых технологий на водном транспорте / В.М.Бунеев, С.Н. Масленников // Материалы международной научно – практической конференции «Водный транспорт – перспективы повышения конкурентоспособности». ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта». - Новосибирск: СГУВТ, 2019. – С. 6-9.
3. Бунеев, В. М. Менеджмент на внутреннем водном транспорте: учебник / В. М. Бунеев, А. В. Зачёсов, Ю. В. Турищев; М-во трансп. Рос. Федерации, Фед. агентство мор. и реч. транспорта, ФБОУ ВПО "Новосиб. гос. акад. вод. трансп.". – Новосибирск : НГАВТ, 2013. – 429 с.: ил. - Посвящается 60-летию кафедры "Управление работой флота". - ISBN 978-5-8119-0533-1
4. Бунеев В.М. Эффективность деятельности судоходной компании / В.М.Бунеев, Р.В. Васильев,Е.А.Григорьев Речной транспорт (XXI век).//Международный журнал речников. М., 2012, №5. – С. 46-48.
5. Бунеев В.М. Эффективность ресурсосберегающих технологий работы буксирных судов и их ремонта / В. М. Бунеев, Е. А. Григорьев ; М-во трансп. Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. образования "Сибирский гос. ун-т водного трансп.". - Новосибирск : ФГБОУ ВО "СГУВТ", 2016. – 140 с.
6. Пьяных С.М. Экономико-математические методы оптимального планирования работы речного транспорта./ С.М. Пьяных -М.: Транспорт, 1988. – 253 с.
7. Бунеев В.М. Эффективность грузовых перевозок смешанного река-море плавания в Амурском бассейне / В.М. Бунеев, И.В. Киберева // Речной транспорт (XXI век). – № 2 (58). – 2009. – С. 83-90.
8. Abell D. F., Hammond J. S. Strategic Market Planning: Problems and Analytical Approaches. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1979.
9. Newman, H. H. "Strategic Groups and the Structure-Performance Relationship." Review of Economics and Statistics, Vol. LX. – 1978. – Pp. 417-427.
10. Лебедев, О.Н. Двигатели внутреннего сгорания речных судов: учебное пособие / О.Н. Лебедев, В.А. Сомов, С.А. Калашников.- М.: Транспорт, 1990. – 328 с.
11. Бунеев В.М. Особенности стратегического менеджмента на водном транспорте/ В.М.Бунеев,В.А. Виниченко,Т.В.Глоденис // Вестник транспорта, 2020, № 1. С. 32-34.
12. Бунеев В.М. Методы оценки рыночных факторов при оптимизации работы флота./В.М. Бунеев // Проблемы и тенденции развития транспортного комплекса Сибири: Сб.научн.тр./ Новосибирск : НГАВТ, 2006. С. 70-75.
13. Бунеев В.М. Стратегия и концепция развития судоходной компании / В.М. Бунеев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: СГУВТ, 2015, №3. С. 36-40
14. Бунеев В.М. Формирование системы конкурентных преимуществ судоходной компании/ В.М.Бунеев //Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, №1. – Новосибирск: НГАВТ, 2006. С. 21-25.

References

1. Zvonkov V.V. Complex typification of technical means of inland waterway transport / V.V. Calls. Moscow : 1948. – 175 p.
2. Buneev V.M. Prerequisites for the development of standard solutions and standard technologies in water transport / V.M.Buneev, S.N. Maslennikov // Materials of the international scientific and practical conference "Water transport – prospects for improving competitiveness". Siberian State University of Water Transport. - Novosibirsk: SGUVT, 2019. – Pp. 6-9.
3. Buneev, V. M. Management on inland water transport: textbook / V. M. Buneev, A.V. Zachesov, Yu. V. Turishchev; M-vo transp. Ros. Federation, Federal Agency of Sea and River Transport, Novosibirsk State Academy of Waters. transp." - Novosibirsk : NGAVT, 2013. – 429 p.: ill. - Dedicated to the 60th anniversary of the Department "Fleet Management". - ISBN 978-5-8119-0533-1
4. Buneev V.M. Efficiency of the shipping company / V.M.Buneev, R.V. Vasiliev, E.A.Grigoriev River transport (XXI century).//International Journal of Rechnikov. M., 2012, No. 5. – Pp. 46-48.
5. Buneev V.M. Efficiency of resource-saving technologies of operation of tugboats and their repair / V. M. Buneev, E. A. Grigoriev ; M-in transp. Of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution higher. education "Siberian State University of Water Transport." - Novosibirsk : FGBOU VO "SGUVT", 2016. – 140 p.
6. Pyanykh S.M. Economic and mathematical methods of optimal planning of river transport operation./ S.M. Pyanykh -M.: Transport, 1988. – 253 p.
7. Buneev V.M. Efficiency of cargo transportation of mixed river-sea navigation in the Amur basin / V.M. Buneev, I.V. Kibereva // River transport (XXI century). – № 2 (58). – 2009. – Pp. 83-90.
8. Abell D. F., Hammond J. S. Strategic Market Planning: Problems and Analytical Approaches. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1979.
9. Newman, H. H. "Strategic Groups and the Structure-Performance Relationship." Review of Economics and Statistics, Vol. LX. – 1978. – Pp. 417-427.
10. Lebedev, O.N. Internal combustion engines of river vessels: a textbook / O.N. Lebedev, V.A. Somov, S.A. Kalashnikov. - M.: Transport, 1990. – 328 p.
11. Buneev V.M. Features of strategic management in water transport / V.M.Buneev, V.A. Vinichenko, T.V.Glodenis // Bulletin of Transport, 2020, No. 1. Pp. 32-34.
12. Buneev V.M. Methods of assessing market factors in optimizing fleet operation./V.M. Buneev // Problems and trends in the development of the transport complex of Siberia: Sb.scientific tr./ Novosibirsk: NGAVT, 2006. Pp. 70-75.
13. Buneev V.M. Strategy and concept of development of a shipping company / V.M. Buneev // Scientific problems of transport in Siberia and the Far East. – Novosibirsk: SGUVT, 2015, No. 3. Pp. 36-40
14. Buneev V.M. Formation of a system of competitive advantages of a shipping company/ V.M.Buneev //Scientific Problems of Transport in Siberia and the Far East, No. 1. – Novosibirsk: NGAVT, 2006. Pp. 21-25.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бунеев Виктор Михайлович, д.э.н., профессор, профессор кафедры управления 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 Science, Professor, Professor of the Department of Fleet Management, Siberian State University of Water Transport, 33, Shchetinkina st., Novosibirsk, 630099

Григорьев Евгений Алексеевич, к.э.н., доцент, проректор по учебной работе, Сибирский государственный университет водного

Evgeny A. Grigoriev, Candidate of Economics Science, Associate Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Siberian State University of

транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: e.a.grigorev@nsawt.ru

Water Transport, 33, Shchetinkina st.,
Novosibirsk, 630099

Гаврилова Анна Юрьевна, аспирант,
Сибирский государственный университет
водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»),
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-
mail: anna.gavrilova2096@yandex.ru

Anna Yu. Gavrilova, postgraduate student,
Siberian State University of Water Transport, 33,
Shchetinkina st., Novosibirsk, 630099

Статья поступила в редакцию 01.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 01.06.2022; published online 20.09.2022.

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi72.256

Анализ обоснованности ограничений эксплуатации пассажирских судов в Горьковском водохранилище

С.Н. Гирин

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

Аннотация. В работе выполнен сравнительный анализ условий судоходства и ветро-волновых режимов Горьковского и Саратовского водохранилищ, имеющих разряд «Р». Показано, что по протяженности озерной части Саратовское водохранилище значительно превосходит Горьковское. На Саратовском водохранилище отсутствуют защищенные от всех ветров убежища, а на Горьковском имеется достаточно большое число мест убежищ. Интенсивность волнения в озерной части Саратовского водохранилища несколько выше, чем в Горьковском. В связи с этим, представляется нелогичным требование Правил Российского Речного Регистра о том, что пассажирские суда, эксплуатирующиеся в озерной части Горьковского водохранилища, должны иметь класс «О» при отсутствии такового для Саратовского водохранилища.

Ключевые слова: Правила Российского Речного Регистра, водохранилища, Горьковское, Саратовское, условия судоходства, ветро-волновой режим.

Analysis of the validity of restrictions on the operation of passenger vessels in the Gorky reservoir

Stanislav N. Girin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. A comparative analysis of shipping conditions and wind-wave regimes of the Gorky and Saratov reservoirs with the category "R" has been performed in the article. It is shown that the Saratov reservoir significantly exceeds the Gorky reservoir in terms of the length of the lake part. There are no shelters protected from all winds on the Saratov reservoir, and there is quite a large number of shelters on the Gorky Reservoir. The intensity of unrest in the lake part of the Saratov reservoir is slightly higher than in Gorky. In this regard, the requirement of the Rules of the Russian River Register concerning passenger vessels operating in the lake part of the Gorky reservoir and the point that they should have "O" class in the absence of it for the Saratov reservoir seem illogical.

Keywords: Rules of the Russian River Register, reservoirs, Gorky, Saratov, shipping conditions, wind-wave regime.

Введение

В соответствии с приказом Министерства Транспорта Российской Федерации №138 от 30.05.2016 г Горьковское водохранилище и Саратовское водохранилище в границах от Сызранского моста до плотины Саратовской ГЭС отнесены к водным бассейнам разряда «Р». Вместе с тем, в Примечании 1 к п.6.2 раздела 6 части 0 «Классификация» Правил классификации и постройки судов Российского Речного Регистра (ПРР) [1] записано, что у пассажирских судов, эксплуатирующихся в Горьковском водохранилище на участке от г. Юрьевец до плотины, должен быть

класс «О». Для Саратовского водохранилища такого рода ограничений в ПРР не накладывается.

Следует отметить, что приведенная формулировка Примечания 1 имеет место только в двух последних редакциях Правил. До этого во всех редакциях, начиная с 1965 г [2], была иная формулировка Примечания 1: «4. Суда местного флота, совершающие постоянные рейсы по озерной части Горьковского водохранилища (Юрвец-плотина), должны иметь класс «О».

Как известно, при классификации морских бассейнов кроме ветро-волнового режима дополнительно учитывается наличие мест убежищ и расстояния между ними, что обусловлено возможностью ошибки реализации благоприятного метеопрогноза. Возможность такой ошибки учитывается и при обосновании методики определения дополнительных волновых усилий судов смешанного река-море плавания. При разработке методики определения дополнительных волновых усилий судов внутреннего плавания такая возможность не учитывалась ввиду сравнительно небольших расстояний между убежищами на внутренних водных бассейнах, отнесенных к разрядам: «Л», «Р», «О», «М».

Таким образом, основной характеристикой, определяющей разрядность перечисленных бассейнов, является ветро-волновой режим. К сожалению, в настоящее время достоверная информация по ветро-волновому режиму на внутренних водных бассейнах нашей страны отсутствует. Такая информация может быть получена только с использованием специальных стационарных буев, которые осуществляют постоянную запись параметров ветра и волнения. Такие буи, в принципе, имеются. Несколько лет тому назад на кафедре теории конструирования инженерных сооружений ФГБОУ ВО «ВГУВТ» был сконструирован и испытан в натуральных условиях такой буй [3]. К сожалению, ни Минтранс, ни Гидромет не захотели финансировать его массовое изготовление и применение.

Информация по ветровым режимам более достоверна по сравнению с волновыми режимами. Имеется обширная информация, получаемая с помощью спутников, а также береговых метеостанций. Однако на значительных площадях водных бассейнов скорость и направление ветра могут существенно изменяться по сравнению с береговыми условиями [4]. Таким образом, и в этом случае для достоверной информации нужны стационарные буи, установленные в различных точках водного бассейна.

Горьковское водохранилище, образованное в 1955 г. перекрытием русла Волги земляной плотинной в районе г. Городца, было самым крупным водохранилищем на Волге на момент его образования. Его глубина у плотины достигает 22 м., а максимальная ширина - 14 км. Ему был установлен разряд «Р». Однако, учитывая значительную протяженность (примерно 100 км), ширину и большие глубины участка от плотины до г. Юрвец, а также недостаточную статистическую информацию по ветро-волновому режиму и опыту эксплуатации судов на этом участке было решено, по-видимому, предъявить к судам, постоянно эксплуатирующимся на этом участке, требования класса «О» для уменьшения времени простоя в ожидании благоприятных погодных условий.

Как это часто бывает, с момента появления этой записи в Правилах Речного Регистра, не возникло необходимости ее пересмотра, поэтому она кочевала от одного в другое издание Правил в течение более 60 лет. В настоящее время актуальность дополнительного анализа этого ограничения возникла в связи с обращением АО «ЦКБ по судам на подводных крыльях им. Р.Е. Алексеева» в Главное управление Российского Речного Регистра с просьбой о допуске к эксплуатации на рассматриваемом участке т/х проекта 23180 «Валдай 45Р» класса «Р1,2/0,7 СПК А».

Как уже указывалось выше, достоверной информации по волновым режимам на водохранилищах, основанной на регулярных инструментальных измерениях не имеется. Вместе с тем, учеными в области гидрометеорологии в 70 –е годы прошлого века было предложено ряд теоретических моделей, позволяющих вычислять высоты волн на конкретных участках водохранилищ по известным значениям скоростей ветров разных направлений. Наиболее известными, по мнению Е.М. Федулиной [4], являются методы: ГОИН, А.П. Браславского, Л.Д.Лаппо – Г.Ф. Красножона. С помощью этих методов выполнены расчеты высот волн 1% обеспеченности для различных участков водохранилищ, представленные в источниках: [5] – [8].

Поставленная в настоящей работе задача обоснования возможности снятия дополнительного ограничения по эксплуатации пассажирских судов на участке Горьковского водохранилища от плотины до г. Юрьевец может быть решена путем сравнения ветро-волновых режимов и условий судоходства на этом участке водохранилища и на Саратовском водохранилище, которое имеет разряд «Р», при этом в Правилах Речного Регистра отсутствуют дополнительные ограничения по эксплуатации судов на этом водохранилище. Учитывая длительный положительный опыт эксплуатации судов класса «Р» на Саратовском водохранилище, оно может рассматриваться как эталон при сравнительном анализе.

Следует отметить, что аналогичный подход неоднократно использовался в работах АО «ЦНИИМФ», выполненных под руководством к.т.н. Ю.И. Ефименкова по обоснованию назначения разрядности и условий плавания в водных бассейнах, которые ранее отсутствовали в «Перечне морских бассейнов для установления районов и сезонов плавания судов с классом Российского Речного Регистра» [9].

1. Горьковское водохранилище

Условия судоходства

Информация по условиям судоходства на Горьковском водохранилище заимствована из учебника [10].

Схема водохранилища показана на рис.1. Протяженность водохранилища от плотины Горьковского гидроузла до Рыбинских шлюзов составляет 430 км.

По гидрометеорологическим условиям водохранилище делится на речной, озерно-речной и озерный участки.

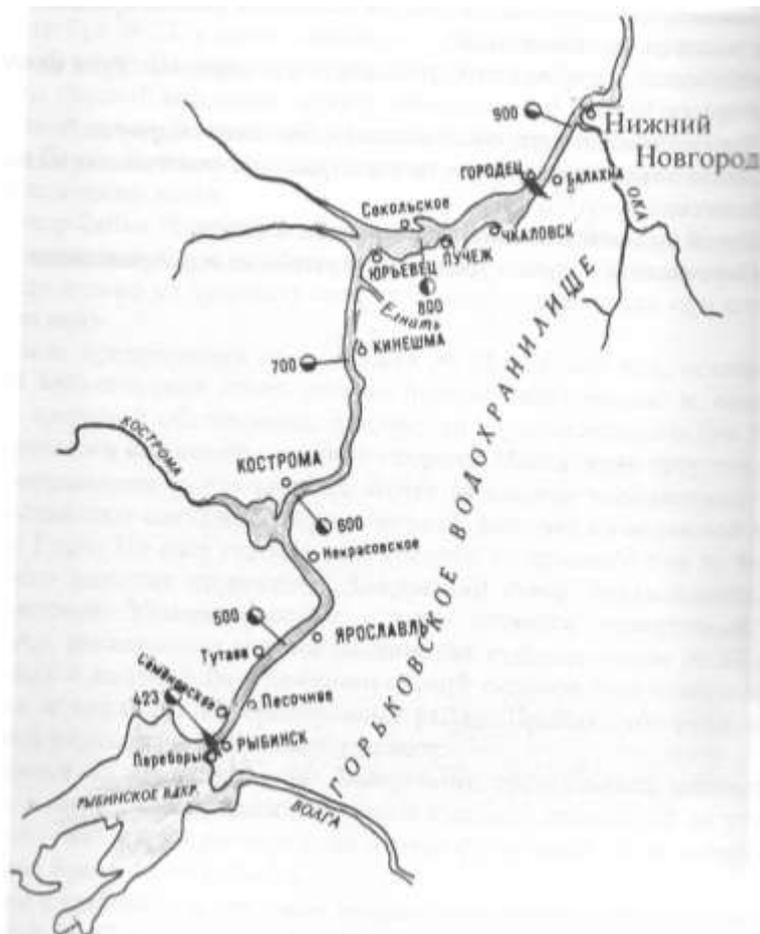


Рис.1. Схема Горьковского водохранилища

Речной участок располагается между Рыбинскими плотинами и н.п. Рыбницы и имеет протяженность 141 км. Ширина русла на этом участке составляет 0,6-1,0 км, а глубина – 4,0-9,5 м.

Озерно-речной участок от н.п. Рыбницы до устья реки Еlnать имеет протяженность 191 км. Ширина русла на этом участке составляет 3,0-3,5 км, а глубина – 4,5-17,0 м.

Озерный участок от устья реки Еlnать до створа Горьковского гидроузла имеет протяженность 97 км. Ширина русла составляет от 3 до 14 км, а глубина в пределах судового хода – 4,5-20,0 м.

Условия судоходства на озерном участке Горьковского водохранилища, в целом, можно считать благоприятными. На участке имеется несколько населенных пунктов, оборудованных причалами, а также достаточно густая сеть устьевых участков рек, которые, при необходимости, могут являться убежищами для пассажирских судов с небольшими габаритами и осадками.

Город Юрьево (774 км) имеет пассажирский и грузовой причалы. В районе грузового причала организовано якорное место для отстоя судов. Напротив г. Юрьево находятся устья судоходных рек Немда и Унжа.

В верхней части н.п. Сокольское имеется пассажирский и грузовой причалы. Для подхода к ним организован дополнительный судовой ход, отходящий от основного на 792 км. На 807 км у левого берега реки Моча имеется убежище Юркино.

В г. Пучеж (814 км) у правого берега имеются пассажирский и грузовой причалы, оборудованные вертикальной стенкой. Для подхода к причалу организован дополнительный судовой ход. На 7 км ниже Пучежа находится расширенное устье реки Ячменки, в котором организовано убежище того же названия. Для захода в него организован дополнительный судовой ход, отходящий от основного в районе 820 км. После Пучежа судовой ход является прямолинейным до г.Чкаловска.

Город Чкаловск расположен на высоком, обрывистом правом берегу, в районе которого в устье затопленной реки Санахта организовано убежище Чкаловск. В нем имеется пассажирский причал в виде вертикальной стенки длиной 280 м и база отстоя технического флота Волжской ГБУВПиС.

Протяженность участка от Чкаловска до аванпорта Горьковского гидроузла составляет 10 км. Аванпорт расположен у левого берега и отделен от открытой части водохранилища продольной и поперечной дамбами. На акватории аванпорта организованы рейды для стоянки судов, ожидающих шлюзования и разрешения на вход в водохранилище.

Ветро-волновой режим

Приведенная в работе [6] информация по ветро-волновому режиму в Горьковском водохранилище основана на многолетних данных метеорологических станций и заимствована из «Справочника по климату СССР», а также дополнена наблюдениями по 1972 г включительно.

Как следует из табл.1, на интересующем нас участке Горьковского водохранилища в период май-август наблюдаются весьма умеренные ветра со средней скоростью 3,4 – 5,2 м/с. В осенний период навигации средние скорости ветра находятся в диапазоне 3,9 – 7,4 м/с. При значительной частоте этих ветров они обладают небольшой продолжительностью и зачастую имеют характер шквалов (кратковременных усилений) длительностью менее одного часа. Шквалистые ветры наблюдаются, в основном, в теплое время года, достигая значительных скоростей. Например, на Горьковском водохранилище 28.05.1963 г был зафиксирован ветер скоростью 28 м/с.

В табл.2 представлены суммарные повторяемости ветров по всем направлениям.

Таблица 1

Средняя месячная скорость ветра на Горьковском водохранилище по результатам наблюдений

Станция	Период наблюдений	V	VI	VII	VIII	IX	X
г. Кострома	1936-1972	4,7	4,2	3,7	3,6	4,4	5,3
г. Кострома	1957-1972	4,2	3,9	3,5	3,3	3,9	4,9
г. Юрьевец	1936-1972	4,1	3,7	3,4	3,4	4,2	4,8
г. Юрьевец	1957-1972	4,0	3,7	3,4	3,7	4,3	5,0
о. Сокольский	1957-1965	5,2	5,1	4,6	5,2	6,1	6,7
г. Юрьевец	1966-1972	-	4,9	5,1	4,9	6,2	7,4
г. Чкаловск	1957-1969	5,2	4,9	4,7	4,9	5,8	6,4
г. Городец	1957-1972	4,2	3,8	3,6	3,6	4,3	5,2

Таблица 2

Суммарная повторяемость ветра (%) различных скоростей по всем направлениям за май – октябрь

Пункт наблюдения	Диапазон скоростей ветра, м/с								
	0	1-3	4-5	6-7	8-9	10-12	13-15	16-18	>18
г. Кострома	2,9	44,0	29,3	14,4	6,2	2,95	0,07	0,09	0
г. Юрьево	5,2	44,0	27,8	13,9	7,1	1,89	0,09	0,02	0
о. Сокольский	3,4	24,2	27,3	22,0	12,5	9,40	0,84	0,34	0,02
г. Городец	5,4	37,5	28,4	15,8	7,6	4,70	0,33	0,29	0,04
Среднее по всем пунктам	4,2	37,4	28,2	16,5	8,4	4,74	0,32	0,18	0,02

Наиболее обширный материал наблюдений за волнением получен Волжской гидрометеорологической обсерваторией (ГМО) именно на интересующем нас участке Горьковского водохранилища, на котором в разное время, начиная с 1956 г, действовало 16 волномерных пунктов, из которых шесть пунктов имеют не менее 6 лет синхронных наблюдений. Наблюдения в пунктах с. Завражье, пгт. Сокольский, о. Сокольский, г. Пучеж, г. Чкаловск и д. Андронов, а также измерения максимальных высот волн в период штормов по судовому ходу дают достаточно полную характеристику волнового режима озерной части водохранилища, так как вышеуказанные волномерные пункты отражают условия волнения в открытой части водохранилища.

Кроме данных о размерах волн, полученных на стационарных волномерных пунктах, для характеристики волнения водохранилищ использованы материалы наблюдений ГМО по максимально-минимальным волномерным вехам, фиксирующим наибольшую высоту волны за период шторма, а также результаты измерений элементов волн с судов и самолетов.

Высота волны, наблюдаемая на стационарных волномерных пунктах Гидрометслужбы при помощи волномерных вех и волномеров и использованная для характеристики волнения, представляет собой максимальную разность волновых горизонтов. Эта величина близка, по мнению [6], к высоте волны 1% обеспеченности.

При измерении элементов волн самописцами волнения (волнографами) прибор включался на время, достаточное для регистрации на ленте самописца не менее 100 волн, что давало возможность получить высоту волны 1% обеспеченности, а также высоты волн более высоких процентов обеспеченности.

Все стационарные наблюдения за волнением сопровождались измерением скорости и направления ветра и уровня воды в районе волномерного пункта. Наблюдения за волнением производились регулярно 2 или 3 раза в сутки, а при скорости ветра, превышающей 8 м/с, учащенно.

При вычислении процента повторяемости волн различной высоты учитывались только срочные наблюдения, причем за 100% принималось общее число срочных наблюдений, включая и случаи отсутствия волнения, или когда высота волны не достигала 20 см.

В табл. 3 представлены результаты измерений высот волн 1% обеспеченности, полученные в районе г.Чкаловска за период 1958-1969 гг. В этом районе зафиксированы наибольшие значения высот волн по сравнению с остальными пунктами наблюдения.

В табл. 4 представлены результаты вычислений высот волн 1% обеспеченности с использованием метода А.П. Браславского для различных участков Горьковского водохранилища.

Таблица 3

Экспериментально замеренные высоты волн 1% обеспеченности в озерной части Горьковского водохранилища в районе г. Чкаловска, см

Напр. ветра	Скорость ветра, м/с																
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
С	20	30	45	55	65	80	90	100	110	120	130	145	150	160	170	180	190
СВ	20	30	35	45	55	65	70	80	90	100	110	120	130				
В	20	30	35	45	50	60	65	75	85	90	100						
ЮВ	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120						
Ю	20	30	40	50	60	70	80	90	100	105	115	125	135	145	150		
ЮЗ	15	25	30	40	55	65	75	85	95	110	120	130	140				
З	20	25	30	40	45	50	55	65	70	75	85	90	95	100	110		
СЗ	20	30	40	50	60	70	80	85	95	105	115	120	130	140	145		

Таблица 4

Высоты волн 1% обеспеченности, вычисленные по методу А.П. Браславского (см)

Напр. ветра	Расстояние от плотины, км	Скорость ветра, м/с		
		10	15	20
С	5-35	105	160	220
	44-66	105	155	200
	75-78	90	125	165
СВ	20-68	85	125	160
	73-79	100	150	190
В	67-69	80	120	160
	77-82	90	130	170
	85-89	90	140	180
ЮВ	7-26	95	145	200
	32-73	85	135	175
	80-83	90	135	180
Ю	5-13	95	145	190
	30-37	85	130	180
	47-81	100	150	190
ЮЗ	1-10	90	145	195
	48-66	85	125	165

3	1-7	90	145	195
	82-84	80	125	165

Сопоставление табл. 3 и 4 показывает, что результаты вычислений высот волн 1% обеспеченности по методу А.П. Браславского дают удовлетворительное совпадение с результатами экспериментальных измерений.

**2. Саратовское водохранилище
Условия судоходства**

Информация по условиям судоходства на Саратовском водохранилище заимствована из учебника [10].

Саратовское водохранилище образовано в результате перекрытия Волги у г. Балаково 02.11.1967 г. Схема водохранилища показана на рис.2. Ширина водохранилища изменяется от 1 до 12 км. Глубина на верхнем участке от г. Самара до с. Печерское составляет 3,0 м, ниже г. Сызрани 8,6 м, а наибольшая 26,0 м. Длина по главному судовому ходу составляет 336 км, по линии наибольших глубин 353 км.

По гидрометеорологическим условиям водохранилище делится на две части: озерно-речную – от Самарского гидроузла до г. Октябрьск протяженностью 175 км и озерную от г. Октябрьск до створа плотины Саратовского гидроузла протяженностью 166 км.

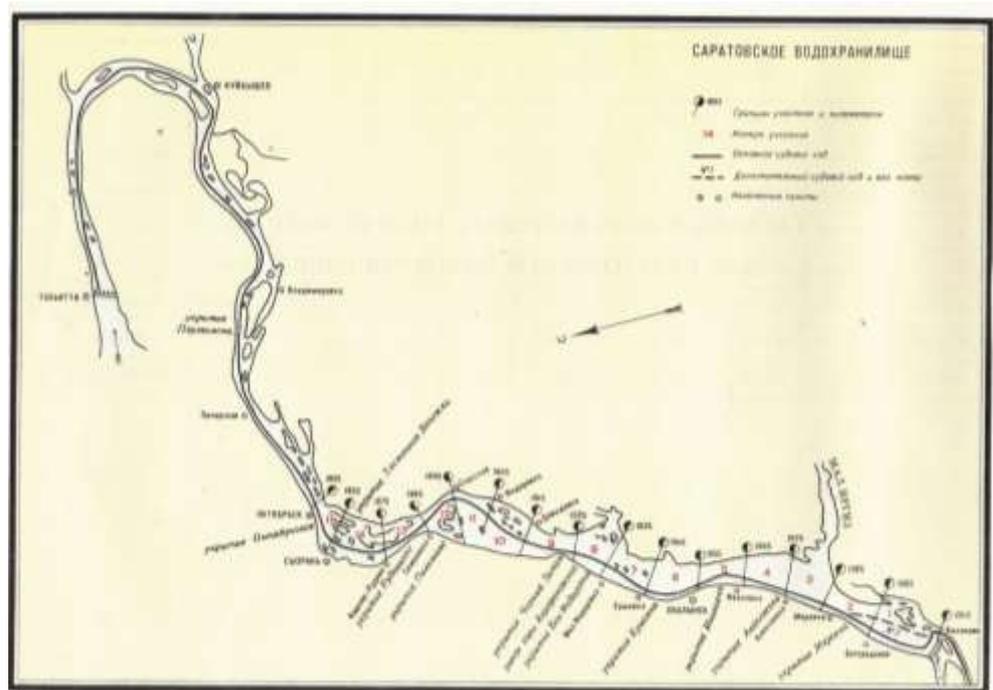


Рис. 2. Схема Саратовского водохранилища

На Саратовском водохранилище убежищ, защищенных от ветров всех направлений, не имеется.

Порт Сызрань расположен на правом берегу в затопленной долине р. Сызранка в 4,0 км от основного судового хода. В порту находятся пассажирские причалы для

транзитных и местных судов, а также грузовые причалы. Заходить и выходить из Сызранского порта можно только с разрешения диспетчера порта.

Город Хвалынский, расположенный на правом высоком берегу, имеет грузовые и пассажирские причалы. Напротив Хвалынского на левом берегу расположены селения Скоропечевка и Духовницкое, имеющие несколько грузовых причалов разного назначения.

В аванпорту Саратовского гидроузла у левого берега расположены грузовые причалы Балаковского порта, где обрабатываются суда с контейнерами, углем, солью, лесом и строительными материалами. Грузовые причалы представляют собой вертикальную стенку длиной 677 м с порталными кранами. Ниже этого причала в ковше находится база отстоя флота и судоремонтный завод.

Ветро-волновой режим

Анализ ветро-волнового режима Саратовского водохранилища выполнен на основе материалов, представленных в монографии [5].

При изучении гидрометеорологического режима Саратовского водохранилища использовалась сеть береговых станций и постов, а в открытой части водохранилища – одна плавучая ГМС (ПОМ-3). По состоянию на 1 января 1973 г на водохранилище действовало 9 водомерных постов, 4 из которых оборудованы самописцем, причем 2 из них – сезонные. Ветровое волнение наблюдалось на одном водомерном посту и в открытой части водохранилища у плавучей ГМС-3. Кроме того, гидрометеорологический режим в открытой части водохранилища изучался путем периодических наблюдений на рейдовых вертикалях.

Преобладающими ветрами над прилегающей прибрежной зоной Саратовского водохранилища являются ветры с северной составляющей. В среднем за год на северное направление приходится 15,7%, на северо-западное – 12,4%.

Средняя скорость ветра изменяется от 3,3 м/с в Сызрани до 5,2 м/с в Балакове. Максимальная скорость ветра (25 м/с с порывами до 30 м/с) наблюдается на юге водохранилища (Балаково) в октябре и ноябре при ветре западной составляющей. В остальных районах прибрежной зоны Саратовского водохранилища зарегистрированы ветры порядка 20 м/с весной, в начале лета и осенью. В июле и августе максимальная скорость ветра не превышала 16 м/с.

Скорость ветра в пределах 16-20 м/с отмечалась во все месяцы безледоставного периода и при всех направлениях, исключая восточное. Скорость ветра свыше 20 м/с наблюдалась в районе Балаково при западном, юго-западном и северо-западном направлениях.

Информация по скоростям ветра представлена в табл.5.

Таблица 5

Суммарная повторяемость ветра (%) различных скоростей по всем направлениям за апрель – ноябрь

Пункт наблюдения	Диапазон скоростей ветра, м/с				
	0-5	6-10	11-15	16-20	>20
г. Сызрань	80,8	17,7	1,26	0,23	0
г. Хвалынский	80,0	18,3	1,46	0,21	0
г. Балаково	60,6	33,4	5,70	0,26	0,06
Среднее по всем пунктам	73,8	23,1	2,81	0,23	0,02

Волнение на Саратовском водохранилище отличается большим разнообразием даже при однородных полях ветра, что объясняется сложной конфигурацией береговой линии и большим разнообразием глубин. Для описания волнового режима на водохранилище в [5] использованы результаты наблюдений, выполненных Тольяттинской ГМО, начиная с 1968 г. Высота волн измерялась с помощью волновых вех и волнографов.

В табл. 6 представлены результаты измерений высот волн 1% обеспеченности, полученные на плавучей гидрометеостанции ГМС-3.

По данному водохранилищу имеются обширные вычисления, выполненные для различных участков с использованием метода А.П. Браславского. В табл. 7 представлены максимальные значения высот волн 1% обеспеченности для водохранилища по результатам вычислений.

Таблица 6

Результаты измерения высот волн с помощью волнографа на ПОМ-3 1975-1977 гг, 1980 г (июнь-октябрь). Глубина у волнографа 12,5-15,4 м

Направл. ветра	Скорость ветра, м/с						Наиб. измер. высота
	8	10	12	14	16	18	
С		75	85	100	120		240
ССВ			90	105	130	175	196
СВ			90	100			118
Ю		75	95	120			176
ЮЮЗ	80	100	115	130	145		178
ЮЗ		80	110	140	175		208
СЗ			95	120	145		234
ССЗ		70	95	120	150	175	246

Таблица 7

Максимальные значения высот волн 1% обеспеченности в Саратовском водохранилище по методу А.П. Браславского

Направл. ветра	Скорость ветра, м/с		
	10	15	20
С	100	172	240
СВ	120	160	220
В	100	150	200
ЮВ	90	140	195
Ю	105	168	225
ЮЗ	115	175	240
З	105	160	215

Сопоставление табл.6 и 7 показывает, что расчетный метод дает несколько большие значения высот волн по сравнению с измеренными, что представляется

логичным. Экспериментальные измерения проводились в отдельные промежутки времени, поэтому могли быть пропущены режимы волнения достаточно большой интенсивности, которые способны внести изменения в величину высоты волн 1% обеспеченности. Вместе с тем следует отметить, что наибольшие значения измеренных высот волн в табл. 6 практически совпадают с высотами волн при скорости 20 м/с в табл.7. Как следует из табл. 5, суммарная повторяемость ветров более 20 м/с составляет всего 2%. Все это подтверждает достоверность результатов, полученных с использованием метода А.П. Браславского.

Заключение

Представленные выше характеристики водохранилищ показывают, что протяженность озерной части Саратовского водохранилища (166 км) существенно превышает протяженность озерной части Горьковского водохранилища (97 км), при этом на Саратовском водохранилище отсутствуют места убежища, защищенные от всех направлений ветров, тогда как на Горьковском водохранилище имеется достаточно большое число таких мест с расстояниями между ними, не превышающими 20 км.

Повторяемости ветров представлены в табл. 2 и 5. К сожалению, в этих таблицах присутствует разная градация диапазонов скоростей ветра. Так, например, средняя обеспеченность скорости ветра в диапазоне 13-15 м/с по Горьковскому водохранилищу составляет 0,32%, а на Саратовском водохранилище обеспеченность скорости ветра в диапазоне 11-15 м/с составляет 2,81%. Однако, если осреднить показания табл.5 по диапазонам 10-12 и 13-15 м/с, то получим обеспеченность 2,53%, что практически совпадает с Горьковским водохранилищем.

Максимальная замеренная скорость ветра достигала в районе плотины Саратовского водохранилища в мае-ноябре 1969-1972 г 25 м/с с порывами до 30 м/с. Максимальный ветер на Горьковском водохранилище был зафиксирован 28.05.1963 г со скоростью 28 м/с.

С учетом приведенных данных можно заключить, что ветровые режимы Горьковского и Саратовского водохранилищ практически совпадают.

Выше было показано, что инструментальные измерения волнения в водохранилищах выполнялись в 60 – 70 годы прошлого века и носили эпизодический характер. Более точную характеристику ветрового волнения дают теоретические методы, предложенные разными авторами, позволяющие вычислять высоту волны 1% обеспеченности по характеристикам ветра с учетом условий фарватера. В литературных источниках имеется подробная информация, основанная на расчетах по методу А.П. Браславского. Для Горьковского водохранилища такая информация приведена в табл. 4, а для Саратовского водохранилища – в табл. 7. Сравнение данных, приведенных в этих таблицах, показывает, что *при одинаковых значениях скоростей ветра высоты волн 1% обеспеченности в Саратовском водохранилище заметно больше Горьковского.*

Приведенный в настоящей работе сравнительный анализ показал, что условия судоходства в Саратовском водохранилище более жесткие по сравнению с Горьковским водохранилищем, хотя оба относятся к разряду «Р». В связи с этим *представляется необоснованным требование в Правилах Российского Речного Регистра о том, чтобы пассажирские суда, эксплуатирующиеся в Горьковском водохранилище, имели класс «О» при отсутствии аналогичного требования для Саратовского водохранилища.*

Список литературы

1. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-и томах). Т.1. - М.: типография ООО «УП ПРИНТ», 2019. – 396 с.
2. Речной Регистр РСФСР. Правила постройки стальных судов внутреннего плавания. Часть II Корпус, 1965. - 133 с
3. Гирин С.Н., Плющаев В.И., Штейн Е.Р. Автоматизированное волноизмерительное устройство для внутренних водных путей. // Вестн. Волж. гос. акад. вод. тр-та. Вып.49.- 2016.- с.106-117.
4. Федулова Е.М. К методике исследования ветрового режима и волнения на водохранилищах. В кн.: Сборник работ Тольяттинской гидрометеорологической обсерватории. Вып.10. Гидрометеорологический режим Куйбышевского и Саратовского водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1973.
5. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Куйбышевское и Саратовское водохранилища. Под ред. В.А. Знаменского и П.Ф. Чигиринского. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 268 с.
6. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища верхней Волги. Под ред. З.А. Викулиной и В.А. Знаменского. Л.: Гидрометеиздат, 1975 -291 с.
7. Навигационные характеристики судоходных водохранилищ и озер Европейской части СССР. М.: Транспорт, 1969. – 72 с.
8. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том I. РСФСР. Выпуск 24. Бассейны рек Волги (среднее и нижнее течение) и Урала. Л.: Гидрометеиздат, 1985 – 519 с.
9. Ефименков Ю.И., Онищенко И.С. Требования к допустимым условиям эксплуатации судов класса «М-СП4,5» и возможность их уточнения на примере Черного и Каспийского морей. // Тезисы докладов конференции по строительной механике корабля посвященной 125-летию основания «Крыловского государственного научного центра» - 2018.- с.47-48
10. Сазонов А.А., Добровольский В.С. Специальная лодия района плавания. Северо-Западный, Волжский и Донской бассейны: Учебник. Н.Новгород: изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2015.- 500 с.

References

1. Rossijskij Rečnoj Registr. Pravila (v 5-i tomah). T.1. - M.: tipografija ООО «UP PRINT», 2019. – 396 s.
2. Rečnoj Registr RSFSR. Pravila postrojki stal'nyh sudov vnutrennego plavaniya. CHast' II Korpus, 1965.- 133 s
3. Girin S.N., Plyushchaev V.I., Shtejn E.R. Avtomatizirovannoe volnoizmeritel'noe ustrojstvo dlya vnutrennih vodnyh putej. // Vestn. Volzh. gos. akad. vod. tr-ta. Vyp.49.- 2016.- s.106-117.
4. Fedulova E.M. K metodike issledovaniya vetrovogo rezhima i volneniya na vodohranilishchah. V kN.: Sbornik rabot Tol'yattinskoj gidrometeorologicheskoy observatorii. Vyp.10. Gidrometeorologicheskij rezhim Kujbyshevskogo i Saratovskogo vodohranilishch. L.: Gidrometeoizdat, 1973.
5. Gidrometeorologicheskij rezhim ozer i vodohranilishch SSSR. Kujbyshevskoe i Saratovskoe vodohranilishcha. Pod red. V.A. Znamenskogo i P.F. Chigirinskogo. L.: Gidro-meteoizdat, 1978. – 268 s.
6. Gidrometeorologicheskij rezhim ozer i vodohranilishch SSSR. Vodohranilishcha verhnej Volgi. Pod red. Z.A. Vikulinoj i V.A. Znamenskogo. L.: Gidrometeoizdat, 1975 -291 s.
7. Navigacionnye harakteristiki sudohodnyh vodohranilishch i ozer Evropejskoj chasti SSSR. M.: Transport, 1969. – 72 s.
8. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. Tom I. RSFSR. Vypusk 24. Bassejny rek Volgi (srednee i nizhnee techenie) i Urala. L.: Gidrometeoizdat, 1985 – 519 s.

9. Efimenkov YU.I., Onishchenko I.S. Trebovaniya k dopustimym usloviyam ekspluatacii sudov klassa «M-SP4,5» i vozmozhnost' ih utochneniya na primere Chernogo i Kaspiskogo morej. // Tezisy dokladov konferencii po stroitel'noj mekhanike korablya posvyashchennoj 125-letiyu osnovaniya «Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra» - 2018.- s.47-48
10. Sazonov A.A., Dobrovol'skij V.S. Special'naya lociya rajona plavaniya. Severo-Zapadnyj, Volzhskij i Donskoj bassejny: Uchebnik. N.Novgorod: izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2015.- 500 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Статья поступила в редакцию 17.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 17.05.2022; published online 20.09.2022.

УДК 656.62

DOI: 10.37890/jwt.vi72.280

Оценка потенциала переключения части автомобильных контейнерных перевозок из морских портов на внутренний водный транспорт

С.В. Железнов¹

А.А. Лисин¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8607-9263>

Ю.Н. Уртминцев¹

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

Аннотация. Статья посвящена проблеме оценки целесообразности переключения части автомобильных перевозок в районах, прилегающих к Единой глубоководной системе России, на схемы доставки с использованием внутреннего водного транспорта. В качестве потенциальных грузопотоков рассматриваются контейнерные грузы, следующие через морские порты. Дается обоснование ключевых параметров для оценки переключения грузопотоков автомобильных грузопотоков. Определены основные направления этих грузопотоков и их объемы. Рассчитана величина снижения средней дальности автомобильных перевозок. Сформулированы условия, при которых возможна реализация проекта по перераспределению грузопотоков между видами транспорта. Указаны меры организационного, технологического, административного и экономического характера со стороны транспортных предприятий. Для определения целесообразности привлечения государственных рычагов регулирования процесса распределения перевозок между видами транспорта предложено провести оценку общественного эффекта от переключения грузов.

Ключевые слова: внутренний водный транспорт, автомобильный транспорт, перевозки грузов в контейнерах, рациональное распределение перевозок между видами транспорта.

Assessment of the potential for switching part of road container traffic from seaports to inland water transport

Sergey V. Zheleznov¹

Alexander A. Lisin¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8607-9263>

Yuriy N. Urtmintsev¹

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

Abstract. The article is devoted to the problem of assessing the feasibility of switching part of road transport in areas adjacent to the Unified Deep-water System of Russia to delivery schemes using inland waterway transport. Container cargoes passing through seaports are considered as potential cargo flows. The article substantiates the key parameters for assessing the switching of cargo flows of automobile cargo flows. The main directions of these cargo flows and their volumes are determined. The value of the reduction in the average range of road transport has been calculated. The conditions under which it is possible to implement a project on the redistribution of cargo flows between modes of transport are formulated. The measures of organizational, technological, administrative and economic nature on the part of transport enterprises are indicated. To determine the expediency of

involving state levers of regulation of the process of distribution of transportation between modes of transport, it is proposed to assess the public effect of switching cargo.

Keywords: inland waterway transport, road transport, cargo transportation in containers, rational distribution of transportation between modes of transport.

Введение

Период перехода страны к рыночной экономике в 90-е годы прошел болезненно почти для всех отраслей народного хозяйства. Спад производства сильно отразился на транспортной отрасли, объемы перевозок на всех видах транспорта резко упали. Наибольшие потери понес внутренний водный транспорт – объем перевозок сократился в 4,5 раза.

Начиная с 2000-х годов экономика страны стала восстанавливаться и постепенно развиваться. Соответственно увеличился спрос на услуги транспорта. Общее количество перевозок грузов всеми видами транспорта к настоящему времени возросло по сравнению с 1986 г. на 30% и достигло 8 млрд т.

При этом доля разных видов транспорта в перевозках грузов в РФ за этот период существенно изменилась, что характеризуют данные, приведенные в табл. 1 и полученные из официальной статистики РСФСР за 1986 г. и РФ за 2019 г.

Таблица 1

Распределение перевозок грузов между видами транспорта 1986/2019 гг* [1,2].

Виды транспорта	РСФСР, 1986 г., млн т.	РФ, 2019 г., млн т.	2019 г. в % к 1986 г.	Удельный вес видов транспорта в перевозках, %	
				РСФСР, 1986г.	РФ, 2019г.
Железнодорожный	2236	1399	63	35	17
Трубопроводный	597	1159	194	9	14
Внутренний водный	549	108	20	8	1
Автомобильный	2972	5735	193	46	68
Всего	6474	8420	130	100	100

*Морской транспорт практически не выполняет перевозки внутри страны и не учтен.

Железнодорожные перевозки к 2019 г. не восстановились в полном объеме и составили 63% от уровня 1986 г. Перевозки трубопроводным и автомобильным видами транспорта за этот период увеличились в 2 раза, перевозки внутренним водным транспортом уменьшились в 5 раз. В результате доля внутреннего водного транспорта в общем количестве перевозок сократилась с 8 до 1%, доля железнодорожного транспорта – с 35 до 17%, доля автомобильного транспорта возросла с 46 до 68% и трубопроводного - с 9 до 14%.

В качестве одной из основных причин снижения количества железнодорожных и водных перевозок, как правило, называется общее падение объемов промышленного производства в РФ в 90-е годы прошлого столетия.

Однако официальные статистические данные показывают, что основные показатели развития промышленности к 2019 восстановились и даже превысили уровень 1986 г. в среднем на 30% (добыча нефти, угля, производство удобрений,

строительных материалов, строительство, производство зерновых и др.). Таким образом, основная причина снижения количества перевозок на железнодорожном и внутреннем водном транспорте объясняется не снижением производства, а перераспределением перевозок в пользу автомобильного транспорта как более доступного для потребителей.

Одним из существенных факторов, повлиявшим на перераспределение перевозок между видами транспорта, является степень развития транспортной инфраструктуры, которая финансируется, в основном, за счет государственных инвестиций. Так за 30-летний период с 1990 г. протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием увеличилась почти в 10 раз, в то время как протяженность водных путей с современной судоходной обстановкой сократилась и появились участки с недостаточными для эксплуатации большегрузного флота глубинами (лимитирующие участки).

Вследствие перехода на автомобильный транспорт многих грузопотоков средняя дальность автоперевозок увеличилась и составляет более 300 км, а на завозе/вывозе импортных контейнеров (около 30 млн т. в год) в/из морских портов, где доля автотранспорта выше 80%, часто превышает 2000 км. Пропускная способность дорожной сети не соответствует возросшей интенсивности автомобильных перевозок. Рост перевозок в большегрузных автопоездах приводит к преждевременному разрушению дорожного полотна и увеличению бюджетных расходов на ремонты дорог. Из-за несоответствия транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог нормативным требованиям затраты на автомобильные перевозки дополнительно возрастают в 1,3–1,5 раза, а потери от дорожно-транспортных происшествий - на 15–20%. Автомобильный транспорт отличается самой низкой экологичностью – углеродный след от использования этого вида транспорта в Европейской части России составляет около половины выбросов в атмосферу всех отраслей отечественной экономики.

В этих условиях высокую актуальность, имеющую общественную, а значит и государственную значимость, приобретает вопрос о возможности и целесообразности переключения части грузовых автомобильных перевозок на речной транспорт, обладающий такими широко известными преимуществами, как значительно более низкая себестоимость перевозок, намного меньшие затраты на содержание путей сообщения, многократно более высокий уровень экологичности.

Содержание исследования

В настоящее время автомобильный транспорт перевозит самые разнообразные грузы, в том числе нерудные строительные материалы (НСМ), которые всегда занимали ведущее место в структуре речных перевозок. Но НСМ перевозятся, как правило, на малые расстояния от места перевалки с магистрального вида транспорта, в т.ч. – водного, до потребителя. Очевидно, что эта категория грузов тяготеет к автомобильному транспорту

В качестве одного из видов потенциальных грузопотоков, которые могут быть переключены на внутренний водный транспорт целесообразно рассмотреть контейнерные грузы, которые, как правило, перевозятся на большие расстояния, в том числе в/из морских портов, и требуют, соответственно, больших затрат.

Объем перевалки контейнеров в 2020 году Большом порту Санкт-Петербург достиг 2,2 млн TEU, а порту Новороссийск – 0,8 млн TEU. Доля автотранспорта в общем объеме экспортно-импортных контейнерных перевозок грузов из портов страны составляет в среднем по России 75%. При этом она варьируется от 35% для портов Дальнего Востока до 86% для портов Северо-Запада и 90% для портов Юга.

Роль автотранспорта в перевозках контейнеров в направлении портов несколько ниже – 67% по всем бассейнам, в том числе 39% для Дальнего Востока, 70% для Северо-Запада и 88% для Юга. Проведенный анализ показал, что среднее расстояние перевозок контейнеров автотранспортом в порты Санкт-Петербург и Новороссийск составляет 2063 км. Подавляющая роль автотранспорта на этих перевозках объясняется его широкой доступностью, высокой скоростью доставки и низкой требовательностью к размеру партии предъявляемого к перевозке груза.

Учитывая перегруженность улично-дорожной сети в портовых городах Санкт-Петербург и Новороссийск, в настоящее время РЖД предпринимает усилия по переключению экспортно-импортных контейнерных потоков на железнодорожный транспорт. С целью упорядочивания и дальнейшего развития контейнерных потоков Правительством РФ утвержден паспорт федерального проекта "Транспортно-логистические центры", предусматривающий создание транспортно-логистических центров (ТЛЦ) в Москве, Нижегородской, Самарской областях, в Республике Татарстан с удаленными объектами-сателлитами, в роли которых могут выступать речные порты ЕГС. Продолжительность доставки контейнеров из Казани в Санкт-Петербург со всеми перевалочными операциями не превысит одной недели. Такой срок не окажет принципиального влияния на интересы отправителей в сложных мультимодальных схемах доставки с использованием морского транспорта. Вместе с тем использование речного транспорта позволит значительно сократить расстояния автомобильных перевозок, разгрузить железнодорожные и автомобильные подходы к портовым городам и снизить стоимость доставки контейнеров. Учитывая изложенное, потенциал переключения контейнерных потоков с автомобильного на водный транспорт оценивается нами, как 25% от всего экспортно-импортного потока.

Оценка потенциала переключения экспортно-импортных контейнерных потоков на водный транспорт производилась по следующей схеме (на примере перевозок экспортных грузов):

- ввиду отсутствия адекватной статистики по автомобильным перевозкам и исходя из предположения о том, что регионы отправления/назначения (для экспорта/импорта) по железной дороге и автомобильным транспортом примерно одни и те же, были проанализированы данные портала CARGO-REPORT.INFO (статистика ж/д перевозок) и определено распределение потоков контейнеров по регионам (определяются доли регионов в общем потоке) и по тяготению к речным портам перевалки - сателлитам ТЛЦ (табл. 2);

Таблица 2

Распределение экспортных перевозок грузов в контейнерах по регионам отправления и речным портам тяготения

Распределение основной части экспортных грузов в контейнерах по регионам отправления (2020 г., по данным портала Cargo-report.info)	В том числе через порты Северо-Запада и Юга, %	Распределение по тяготению к речным портам- сателлитам транспортно-логистических центров
Иркутская обл. — 3494.4 тыс.тонн (10.5%)	3	Самара
Пермский край — 1635.02 тыс.тонн (4.9%)	4,9	Казань
Тюменская обл. — 1594.46 тыс.тонн (4.8%)	4,8	Казань
Башкортостан — 1513.67 тыс.тонн (4.6%)	4,6	Самара

Красноярский край — 1508.21 тыс.тонн (4.5%)	1,5	Самара
Свердловская обл. — 722.76 тыс.тонн (2.2%)	2,2	Казань
Томская обл. — 631.52 тыс.тонн (1.9%)	1,9	Самара
Челябинская обл. — 476.64 тыс.тонн (1.4%)	1,4	Самара
Кировская обл. — 453.5 тыс.тонн (1.4%)	1,4	Казань
Кемеровская обл. — 362.59 тыс.тонн (1.1%)	1,1	Самара
Архангельская обл. — 1415.98 тыс.тонн (4.3%)	4,3	Порты БОП и СРП
Респ. Карелия — 1071.04 тыс.тонн (3.2%)	3,2	
Тульская обл. — 1342.38 тыс.тонн (4%)	4	Москва
Московская обл. — 728.7 тыс.тонн (2.2%)	2,2	
Самарская обл. — 1306.76 тыс.тонн (3.9%)	3,9	Самара
Оренбургская обл. — 442.1 тыс.тонн (1.3%)	1,4	
Омская обл. — 350.14 тыс.тонн (1.1%)	1,1	
Респ. Татарстан — 1215.89 тыс.тонн (3.7%)	3,7	Казань
Астраханская обл. — 1125.95 тыс.тонн (3.4%)	3,4	Самара
Волгоградская обл. — 854.78 тыс.тонн (2.6%)	2,6	Самара
Воронежская обл. — 831.13 тыс.тонн (2.5%)	2,5	
Нижегородская обл. — 747.15 тыс.тонн (2.3%)	2,3	Казань
Саратовская обл. — 697.31 тыс.тонн (2.1%)	2,1	Самара
Всего	63,5	

- производится группировка долей регионов отправления/назначения по речным портам-сателлитам ГЛЦ и морским портам (табл. 3);

- в соответствии с произведенным распределением, группировкой долей и 25% размера общего потока, тяготеющих к переключению на водный транспорт, определяется количество контейнерных водных перевозок из речных портов в морские (табл. 4);

Таблица 3

Распределение долей экспортных перевозок грузов в контейнерах по морским портам и речным портам тяготения

Речные порты тяготения	Всего, %	В том числе по морским портам	
		Санкт-Петербург, %	Новороссийск, %
Казань	19,3	13,51	5,79
Порты СРП и БОП	7,5	5,25	2,25
Самара	30,5	21,35	9,15
Москва	6,2	4,34	1,86
Итого	63,5	44,45	19,05

Таблица 4

Потенциал переключения экспортных контейнерных перевозок с автомобильного транспорта на водный

Показатели перевозок контейнеров	Морские порты	Транспортно-логистические центры				Итого
		Казань	Онега	Самара	Москва	
Количество перевозок, тыс. т.	БП Санкт-Петербург	1621	630	2561	521	5333
	Новороссийск	162	63	255	52	531
Количество контейнеров, тыс. TEU	БП Санкт-Петербург	174,3	67,8	275,4	56,0	573,4
	Новороссийск	17,4	6,8	27,5	5,6	57,1
в том числе речным транспортом через ТЛЦ, тыс. т.	БП Санкт-Петербург	405	157	640	130	1333
	Новороссийск	40	16	64	13	133
в том числе речным транспортом через ТЛЦ, тыс. TEU	БП Санкт-Петербург	43,4	16,9	6,9	14,0	143,3
	Новороссийск	4,3	1,7	6,9	1,4	14,3
Интенсивность перевозок (TEU в неделю-навигация 28 недель)	БП Санкт-Петербург	1556	605	2459	500	5120
	Новороссийск	155	60	245	50	510
Интервал отправления судов, недели	БП Санкт-Петербург	0,1	0,2	0,1	0,4	
	Новороссийск	1,3	1,7	0,8	4,0	
Приемлемое для потребителей количество перевозок речным транспортом, тыс.т.	БП Санкт-Петербург	405	157	640	130	1333
	Новороссийск	40	16	64		120

- далее, исходя из определенного количества перевозок и типов судов, для каждого речного порта-сателлита рассчитывается интервал отправления речных судов;

- в прогноз переключения на водный транспорт включаются только те потоки, интенсивность которых обеспечивает интервал отправления речных судов менее двух недель (что позволяет организовать регулярную грузовую контейнерную линию).

Аналогично приводится оценка потенциала переключения *импортных* контейнерных потоков с автомобильного на водный транспорт.

Результаты исследования

В табл. 5 приводится результат оценки потенциала переключения с автомобильного на водный транспорт экспортно-импортных потоков контейнеров.

Таблица 5

Потенциал переключения экспортно-импортных контейнерных перевозок с автомобильного транспорта на речной

Показатели потенциала экспортных перевозок контейнеров	Морские порты	Транспортно-логистические центры				Итого
		Казань	Порты Северного и Беломорско-Онежского пароходств	Самара	Москва	
Приемлемое для потребителей по интервалу отправления судов (интервал менее 2х недель) количество перевозок речным транспортом, тыс.т.	БП Санкт Петербург	817	317	1291	262	2687
	Новороссийск	86	33	136	0	255

Таким образом, потенциал переключения контейнерных потоков определен в размере 2,9 млн т, из которых 2,7 млн т - между речными портами и морским портом Большой Санкт-Петербург и 0,2 млн т - на морской порт Новороссийск. При этом максимальная нагрузка приходится на речной порт-спутник ТЛЦ Самара - 1,3 млн т и речной порт-спутник ТЛЦ Казань- 0,8 млн т.

Расчет показали, что переключение 2,9 млн т грузов в контейнерах с автомобильного на речной транспорт приведет к сокращению средней дальности автомобильных перевозок контейнеров на 1086 км.

Указанное переключение грузов не может произойти автоматически, а требует проведения определенной совокупности мер организационно-технологического, административного и экономического характера как со стороны воднотранспортных предприятий, так и государства.

Заключение

Организационно-технологические и экономические вопросы развития речных перевозок контейнерных и других генеральных грузов неоднократно рассматривались учеными отрасли [5,6,7,8]. Они касались обоснования характеристик контейнерных судов, грузовых терминалов, условий организации контейнерных линий, взаимодействия участников транспортно-логистических схем доставки генеральных грузов, создания мультимодальных логистических центров и т.д. Однако реализация

этих мероприятий в условиях реалий экономики с преобладанием рыночных механизмов регулирования оказалась затруднительна.

Также существенно мешает переключению части грузопотоков с других видов транспорта на внутренний водный наличие лимитирующих участков с ограниченными глубинами, и прежде всего, Городецкого шлюза.

Для определения целесообразности привлечения государственных рычагов регулирования процесса распределения перевозок между видами транспорта необходимо провести оценку общественного эффекта от переключения грузов. При проведении такой оценки должны быть учтены интересы всех сторон, которых затрагивает данный процесс. Предполагаемые выгоды и потери этих сторон состоят в следующем:

- бюджет РФ: инвестиции в реконструкцию Городецкого шлюза, расходы на эксплуатацию новых объектов шлюзов, расходы на субсидии по кредитам судостроения, расходы на создание и поддержание механизма развития перевозок, налоги от деятельности железнодорожного, автомобильного и водного транспорта, расходы на содержание автомобильных дорог;

- потребители транспортных услуг: расходы на оплату услуг видов транспорта;

- воднотранспортные организации: инвестиции в судостроение, чистая прибыль от дополнительных перевозок, амортизация по новым судам;

- организации автомобильного транспорта: потери чистой прибыли вследствие переключения части перевозок в смешанное автомобильно-водное сообщение.

Таким образом, вопрос частичного переключения контейнерных грузопотоков на внутренний водный транспорт является частью комплексной проблемы рационального распределения перевозок между видами транспорта с использованием рычагов государственного регулирования рынка перевозок. Необходимость решения этой проблемы, безусловно, назрела.

Список литературы

1. Народное хозяйство РСФСР в 1989 г. Стат. ежегодник. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 253 с.
2. Транспорт в России. 2020: Статистический сборник, Т65. - М.: Росстат, 2020. – 108 с.
3. Паспорт федерального проекта "Транспортно-логистические центры". Утвержден протоколом заседания проектного комитета транспортной части комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года от 29.01. 2020 г. №1
4. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период с 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 февраля 2016 г. N 327-р
5. Бруев А.П. Совершенствование планирования и организации перевозок грузов в контейнерах на речном транспорте / Автореферат дисс. канд. техн. наук, 2004. - 24 с.
6. Митрошин С.Г. Организация паромно-транспортных логистических систем (на примере Волжско-Камского бассейна) / Автореферат дисс. канд. техн. наук, 2010 –24 с.
7. Шапоров В.Н. Обоснование эффективности комбинированных перевозок автомобилей с участием речного транспорта / Автореферат дисс. канд. техн. наук, 2017. -24 с.
8. Минеев В.И. Оценка состояния и перспективы развития контейнерных перевозок внутренним водным транспортом / Минеев В.И., Иванов В.М., Иванов М.В. //Научные проблемы водного транспорта, вып.63, 2020, с. 125-

References

1. The national economy of the RSFSR in 1989 Stat. yearbook. – М.: Finance and Statistics, 1990. – 253 p.

2. Transport in Russia. 2020: Statistical Collection, T65. - Moscow: Rosstat, 2020. – 108 p.
3. Passport of the federal project "Transport and logistics centers". Approved by the minutes of the meeting of the project committee of the transport part of the comprehensive plan for modernization and expansion of the trunk infrastructure for the period up to 2024 dated 29.01. 2020 No. 1
4. Strategy for the development of inland water transport of the Russian Federation for the period about 2030. Order of the Government of the Russian Federation of February 29, 2016 N 327-p
5. Bruev A.P. Improving the planning and organization of cargo transportation in containers on river transport / Abstract diss. Candidate of Technical Sciences, 2004. - 24 p.
6. Mitroshin S.G. Organization of ferry and transport logistics systems (on the example of the Volga-Kama basin) / Abstract of dissertation of the Candidate of Technical Sciences, 2010. – 24 p.
7. Shabrov V.N. Substantiation of the effectiveness of combined transportation of cars with the participation of river transport / Abstract of dissertation of the Candidate of Technical Sciences, 2017. -24 p.
8. Mineev V.I. Assessment of the state and prospects for the development of container transportation by inland waterway / Mineev V.I., Ivanov V.M., Ivanov M.V. //Scientific problems of water transport, issue 63, 2020, p. 125-

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Железнов Сергей Вячеславович, доцент, к.т.н., главный научный сотрудник Центра стратегического развития внутренних водных путей и инфраструктуры, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail sergezhelezno@yandex.ru

Sergey V. Zheleznov, Ph.D. in Engineering Science, Chief Researcher of the Strategic development center of inland waterways and infrastructure, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Лисин Александр Александрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: lisin_aa@mail.ru

Alexander A. Lisin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Transport Management Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Уртминцев Юрий Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: yurtm@yandex.ru

Yuriy N. Urtmintsev, Doctor of Engineering Science, Professor of the Transport Management Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 17.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 17.05.2022; published online 20.09.2022.

УДК: 656.621.626

DOI: 10.37890/jwt.vi72.284

Оценка транспортных возможностей внутренних водных путей

М.Г. Синицын¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3975-5198>

Г.Я. Синицын¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6583-4407>

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

Аннотация. Статья посвящена оценке транспортных возможностей внутренних водных путей на примере Сибирского региона. В качестве основного показателя оценки авторы предлагают произведение коэффициента класса глубины судового хода реки на период ее эксплуатации. Во введении приведены нормативные документы, на основе которых базируется предложенная методика. Предлагается производить расчет ресурса рек по двум вариантам: в первом – используется гарантированная глубина судового хода, во втором – учитывается изменение класса глубины судового хода реки в течение всей навигации. На основе предложенной методики произведены расчеты ресурсов четырех основных Сибирских рек. Благодаря данному показателю появилась возможность рассчитать и сравнить ресурсы рек с разными периодами эксплуатации и разной глубиной судового хода. Наименьшим ресурсом в регионе обладает река Лена, так как ее верховья резко ограничены глубиной судового хода, а низовья – периодом эксплуатации. Благоприятные условия для судоходства – только на среднем участке данного водного пути. Кроме того, авторами предложены рекомендации по использованию различных типов флота в увязке с ресурсом реки и возможным периодом эксплуатации.

Ключевые слова: внутренний водный транспорт, речной транспорт, малые реки, ресурс, транспортная возможность, малотоннажный флот, крупнотоннажный флот, период эксплуатации, внутренние водные пути, реки Сибири, Крайний север.

Assessment of the transport capabilities of inland waterways

Mikhail G. Sinitsyn¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3975-5198>

Gennady Y. Sinitsyn¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6583-4407>

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

Abstract. The article is devoted to the assessment of the transport capabilities of inland waterways on the example of the Siberian region. As the main indicator of the named assessment, the authors propose the multiplication product of the coefficient of the depth class of the ship's course of the river by the period of its operation. The introduction contains the normative documents on the basis of which the proposed methodology is formed. It is proposed to calculate the resource of rivers according to two options: in the first one, the guaranteed depth of the navigation channel is used, in the second one, the change in the class of the navigation channel depth of the river during the entire navigation is taken into account. On the basis of the proposed method, the calculations of the resources of the four main Siberian rivers have been made. Thanks to the indicator, it has become possible to calculate

and compare the resources of rivers with different periods of operation and different depths of the ship's passage. The Lena River has the least resource in the region, since its upper reaches are greatly limited by the depth of the ship's passage, and the lower reaches are limited by the operation period. Favorable conditions for navigation are only in the middle section of the waterway. In addition, the authors have proposed recommendations on the use of various types of fleet in relation to the river resource and the possible operation period.

Keywords: inland waterway transport, river transport, small rivers, resource, transport capability, small-tonnage fleet, large-tonnage fleet, period of operation, inland waterways, rivers of Siberia, the Far North.

Введение

В структуру внутренних водных путей (далее – ВВП) входят естественные и искусственные водные пути. К естественным относятся реки и озера, судоходство по которым осуществляется в их естественном состоянии. К искусственным относятся водохранилища, каналы и реки, на которых необходимые габариты для судоходства поддерживаются по средствам гидротехнических сооружений [1]. Транспортные возможности ВВП зависят от различных факторов; ключевыми из них являются глубина судового хода и период эксплуатации. Данные параметры рек влияют на выбор форм организации работы флота, схем завоза грузов, а также стратегию и тактику использования подвижного состава [2]. По глубине судового хода реки делятся на семь классов, которые приведены в межгосударственном стандарте ГОСТ 26775-97. В нем предлагается относить реку к одному из них в зависимости от гарантированной или средненавигационной глубины судового хода. Классификация водных путей приведена в таблице 1.

Таблица 1

Классификация внутренних водных путей по глубине судового хода

Класс участка внутренних водных путей		Глубина судового хода на перспективу, м		Коэффициент класса глубины судового хода(κ_r)
		гарантированная	средненавигационная	
Сверхмагистральные	I	от 3,2	от 3,4	7
	II	2,5-3,2	2,9-3,4	6
Магистральные	III	1,9-2,5	2,3-2,9	5
	IV	1,5-1,9	1,7-2,3	4
Местного значения	V	1,1-1,5	1,3-1,7	3
	VI	0,7-1,1	0,9-1,3	2
	VII	до 0,7	0,6-0,9	1

Единая транспортная система, сформировавшаяся на территории Российской Федерации, имеет ряд особенностей, которые прежде всего зависят от природно-климатических, геополитически, социальных, экономических и других факторов [3]. В связи с этим следует выделить азиатскую часть России, а также ее северные и заполярные территории. На территории данной категории имеются следующие особенности:

- значительные расстояния, которые необходимо преодолеть при перевозке грузов от грузобразующих пунктов и обратно;
- неравномерность размещения основных элементов транспортной инфраструктуры. Железнодорожные магистрали и автомобили обслуживают в основном юг Сибири, а водные пути обеспечивают перевозку генеральных

грузов с юга на север. Активно в данном процессе участвуют крупные сибирские реки: Обь, Иртыш, Енисей и Лена. По этим транспортным артериям перевозятся грузы в труднодоступные регионы, которые находятся на территориях, относимых к Крайнему северу, на малые реки, где ограничен период завоза грузов и преобладают экстремальные условия судоходства (высокие скорости течения, резкие перепады глубин и других габаритов судового хода). В связи с открытием новых месторождений и развития уже существующих прогнозируется рост объема грузовых потоков. Реализация перспектив развития экономики Сибирского региона служит драйвером формирования опорной транспортной сети.

Материалы и методы

Ресурс – это количественное измерение возможности выполнения какой-либо деятельности. Понятие ресурса реки в данной интерпретации рассматривалось в трудах Панюкина А.П., по данному параметру автором было произведено сравнение малых рек Сибири. На речном транспорте одним из основных показателей транспортной работы является грузооборот [4]. Чтобы повысить эффективность работы судоходной компании необходимо подобрать транспортный флот так, чтобы он соответствовал сфере применения и его количество было бы достаточным для освоения заданных грузовых потоков [5]. Объем работы, который может быть освоен транспортным флотом, во многом зависит от таких параметров ВВП, как глубина судового хода и период эксплуатации. Поэтому период стояния глубины определенного класса (таблица 1) очень сильно влияет на такие показатели, как валовая производительность работы флота, пропускная способность водного пути, провозная способность транспортных судов. Ресурс реки представляет собой произведение класса глубины судового хода на период его использования, который можно рассчитывать двумя способами:

- в первом случае весь период эксплуатации реки или участка реки умножается на ее класс, который принимается по средненавигационной или гарантированной глубине судового хода;

$$R_{y.p.} = t_{\text{э}} \times k_{\text{г}} \quad (1)$$

- во втором случае время стояния определенного класса глубин умножается на соответствующий класс. Сомножители по отдельным классам глубин суммируются:

$$R_{y.p.} = \sum t_{\text{ст.кл}} \times k_{\text{г}} \quad (2)$$

ограничения:

$$\sum t_{\text{ст.кл}} = t_{\text{э}} \quad (3)$$

где: $R_{y.p.}$ – ресурс участка реки;

$t_{\text{э}}$ – эксплуатационный период работы на рассматриваемом участке реки, сут;

$k_{\text{г}}$ – коэффициент класса глубины судового хода на рассматриваемом участке реки

$t_{\text{ст.кл}}$ – время стояния класса глубины на рассматриваемом участке реки, сут;

$l_{y.p.}$ – длина участка реки, км;

$l_{\text{р}}$ – длина реки, км;

τ_d – коэффициент, показывающий долю расстояния участка от всей длины рассматриваемой реки.

$$R_p = \sum R_{y.p.} \times \tau_d \quad (4)$$

$$\tau_d = \frac{l_{y.p.}}{l_p} \quad (5)$$

Первый способ нахождения ресурса реки менее точный, чем второй, так как класс реки принимается по средненавигационной или гарантированной глубине, что существенно занижает данный показатель. Для полной картины эксплуатационных условий рекомендуется рассчитывать ресурс реки по второму варианту. Для этого необходимо выделить диапазоны классов глубин, которые имеются на конкретном участке и определить время их стояния.

Эксплуатационные показатели работы флота зависят от различных факторов [6]. К ним необходимо в первую очередь отнести: технико-эксплуатационные характеристики транспортных средств, дальность перевозок и характеристики грузов, условия плавания и гидрологические характеристики водных путей, принятую систему организации перевозок и работы транспортного флота, пропускную способность грузовых причалов и другие [7].

В большинстве случаев зависимость между вышеназванными показателями не простая, а порой очень сложная. Отдельные факторы оказывают влияние одновременно на несколько показателей, причем не всегда однозначно [8]. Так, глубина судового хода в весенний полноводный период обеспечивает более полную загрузку крупнотоннажных судов, улучшая показатели нагрузки по отправлению. Однако при этом увеличивается сопротивление воды движению судна и, как результат, показатели скорости снижаются, увеличивая время движения с грузом [9].

При наличии на балансе предприятия достаточного количества флота рекомендуется осуществлять перевозки в первый (полноводный) период навигации, так как создаются благоприятные условия для полной загрузки судов, увеличения провозной способности флота. В меженный период существенно падает степень использования тоннажа и тяги, которая определяется показателем нагрузки. Зависимость нагрузки тоннажа от продолжительности полноводного весеннего периода представлена в формуле 6

$$p' = \frac{(T_B - T_M)\tau_B + (T_M - T_0)}{T_p - T_0} \quad (6)$$

где T_B и T_M - осадка в весенний и меженный периоды навигации, м
 T_p , T_0 – осадка судна при полной загрузке и порожнем, м;
 τ_B -удельная продолжительность весеннего периода навигации, ед

$$\tau_B = \frac{t_B}{t_B + t_M}, \quad (7)$$

где: t_B , t_M - продолжительность весеннего и меженного периодов навигации, сут.

Результаты

Предложенная методика поиска ресурса подразумевает анализ изменения периода эксплуатации и глубин судового хода. Гарантированная глубина судового хода и период эксплуатации приведены в таблице 2.

Таблица 2

Габариты судового хода основных судоходных рек Сибири

Река	Участок реки	$h_{гар}, м$	$κ_r$	$t_r, сут$	$l, км$	$τ_1^D$
Обь	Новосибирск – у.р. Томь	2,2	5	168	283	0,14
	у.р. Томь - у.р.Иртыш	2,5	5	162	1514	0,71
	у.р.Иртыш – остановочный пункт Перегрёбное	3,0	6	151	328	0,15
Иртыш	у.р. Тобол – у.р. Иртыш	2,2	5	168	651	1
Енисей	Красноярск – у.р.Ангара	2,9	6	159	339	0,19
	У.р.Ангара-Подтесово	3,0	6	151	100	0,06
	Подтесово-Ярцево	3,0	6	146	252	0,14
	Ярцево-устье р. П.Тунгуска	2,9	6	146	198	0,11
	Устье р.П.Тунгуска-Туруханск	3,2	6	121	565	0,32
	Туруханск-о-в Б.Медвежий	3,2	6	107	290	0,17
Лена	Усть-Кут – У.р.Витим	1,7	4	157	758	0,21
	У.р.Витим – Якутск	2,2	5	146	1229	0,34
	Якутск-Быков мыс	2,5	5	137	1638	0,45

В исследовании рассмотрены четыре основные транспортные магистрали Сибири, по которым перевозятся основные грузопотоки. Каждая река имеет свои особенности, которые влияют на формы организации работы флота. Река Обь судоходна от истока до устья, условно ее можно разделить на три участка: верхний, средний и нижний. Как видно из таблицы 2 каждый из них относится к разным классам водного пути. Река Лена по аналогии с рекой Обь, так же делится на три участка с разными классами глубин. Реки Иртыш и Енисей на всем протяжении имеет стабильные гарантированные глубины, без перепадов.

Расчет ресурса основных магистральных рек Сибири произведен с использованием формул 1 и 2, результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Расчет ресурса магистральных рек Сибири

Река	Участок реки	$τ_1^D$	1 способ	2 способ	$ΔR_1^P, \%$
			R_1^P	R_1^P	
Обь	Новосибирск – у.р. Томь	0,14	840	840	0
	у.р. Томь - у.р.Иртыш	0,71	810	866,7	7
	у.р.Иртыш – остановочный пункт Перегрёбное	0,15	906	958,85	6
В целом по реке:		1	837,6	886,31	5
Иртыш	у.р. Тобол – у.р. Иртыш	1	837,60	886,31	7
Енисей	Красноярск – у.р.Ангара	0,19	954	1009,65	6
	У.р.Ангара-Подтесово	0,06	906	958,85	6
	Подтесово-Ярцево	0,14	876	927,1	6
	Ярцево-устье р. П.Тунгуска	0,11	876	927,1	6
	Устье р.П.Тунгуска-Туруханск	0,32	726	768,35	6
	Туруханск-о-в Б.Медвежий	0,17	642	679,45	6
В целом по реке:		1	796,08	842,52	6
Лена	Усть-Кут – У.р.Витим	0,21	628	682,95	8

	У.р.Витим – Якутск	0,34	730	781,1	7
	Якутск-Быков мыс	0,45	685	732,95	7
В целом по реке:		1	688,33	738,82	7

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что например, на р.Обь (участок Новосибирск - п. Перегребное) могут работать суда с полной загрузкой 5-го класса и ниже (с регистражной осадкой 1,95 м и меньше) 151 сутки. В частности, на участке у.р.Томь – у.р.Иртыш, который составляет 71% длины всего рассматриваемого участка реки Обь (2125 км) ресурс реки позволяет использовать суда 6-го класса ($T_p=2,35$ м и меньше) 162 суток.

Значение ресурса реки определяется универсальностью применения данного показателя – от подбора судов для работы в полноводный и меженный период навигации до сравнительной характеристики ресурсов с разными глубинами и периодами эксплуатации участков различных категорий рек.

Особенно важны правильные рекомендации по подбору и использованию крупнотоннажного флота. В современных условиях, из-за резкого снижения объемов перевозок грузов, наблюдается переход на рейсовую форму организации работы флота. Актуальность этого вопроса также связана с отсутствием или наличием в ограниченном количестве малотоннажного флота для такой категории водных путей как, малые реки. В таблице 4 приведены рекомендации по использованию флота для трёх диапазонов ресурса магистральных рек Сибири.

Таблица 4

Рекомендации по использованию тоннажа при разных значениях ресурса реки

R_i^P	Период эксплуатации, сут	Рекомендуемый тип флота	Рекомендованный флот
от 850	до 140	крупнотоннажный флот	P-56; P-29
	140-170	крупнотоннажный флот	16800; 16801; 459-A;
	от 170	крупнотоннажный флот	16800; 16801; 459-A;
от 700 до 850	до 140	крупнотоннажный флот	16800; 16801; 459-A;
	от 140	малотоннажный флот	942-Б; 562-Д; 342-Б; P-92
до 700	до 140	крупнотоннажный флот	16800; 16801; 459-A;
	от 140	малотоннажный флот	942-Б; 562-Д; 342-Б; P-92

Сфера использования крупнотоннажного флота значительно сузилась. Это произошло из-за изменений глубин судового хода. При выборе оптимальных типов судов и составов необходимо учитывать как экономические, так и технические качества судов [8]. В качестве технического критерия оценки служит производительность, а экономического – рентабельность [7].

По результатам обоснования рациональных сфер использования типов флота, а также определения оптимального типа состава формируется перечень типовых составов, эксплуатируемых судоходными компаниями в различных бассейнах, с учетом в первую очередь категории и ресурса участка водного пути и других факторов.

Обсуждение

Одним из основных параметров, применяемых для оценки ресурса внутренних водных путей, является пропускная способность. Она зависит от ряда факторов: габаритов судового хода, типа обстановки внутренних водных путей, скорости течения, габаритов подвижного состава. Авторами предложена упрощенная методика

для сравнения внутренних водных путей, для более детальных расчетов предлагается использовать существующие методы.

Для расчета ресурса реки предлагается использовать два показателя глубину судового хода и период эксплуатации, другие параметры реки, такие как ширина и радиус закругления, уже учтены в сборниках форм типовых составов, которые рекомендуют работу флота по участкам и периодам навигации. При отборе флота для организации перевозок грузов особое место отводится определению транспортных возможностей конкретных участков водных путей [6], основными характеристиками при расчете которых являются габариты судового хода и прежде всего – гарантированная глубина судового хода для магистральных рек. Для боковых рек этого показателя недостаточно. В практической деятельности транспортных предприятий используют «глубину судового хода для определения периода работы судов в полноводный период навигации». Характер изменения глубин, продолжительность их стояния с учетом определенных классов определяются на основе графиков за характерные по водности годы: маловодный, средний по водности, многоводный. Для решения данной задачи дополнительно могут быть использованы типовые графики колебания уровней воды с распределением их на классы.

Выводы

Для многих предприятий, пользующихся услугами внутреннего водного транспорта, а также расположенных на притоках магистральных рек, надежность транспортного обслуживания имеет первостепенное значение. Сложные путевые условия, быстрый спад уровней воды позволяют сделать вывод о том, что надежность транспортной системы в значительной степени зависит от гарантированных сроков доставки грузов по магистральным и боковым рекам. В связи с этим очень важно детальное изучение динамики изменения глубин, фаз режима рек, которые непосредственно влияют на величину периода работы флота. Предложенный авторами показатель оценки транспортных возможностей внутренних водных путей – ресурс участков водного пути – позволит определить режим работы судов, подобрать флот в соответствии с грузопотоками, габаритами судового хода и, как следствие этого, установить продолжительность и период работы различных типов судов, определить общий период доставки грузов, используя разработанную в СГУВТе (НГАВТе) классификацию судов по их осадкам.

Список литературы

1. *Sinitsyn M., Buneev V., Domina O., Tsverov V.* Formation of the shipping company's technical policy, Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 403 LNNS. С. 688-697. DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_76
2. *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).
3. *Ничипорук А. О.* Эволюция номенклатуры показателей качества перевозок грузов на различных видах транспорта // Вестник ВГАВТ. 2017. № 52. С. 157-165. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v52.pdf. (дата обращения 19.05.2022).
4. *Arkhipov, A., Maslennikov, S.* (2022). Energy Efficiency of Integrated Transport and Logistics Systems. In: Manakov, A., Edigarian, A. (eds) International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. TransSiberia 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 403. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96383-5_102.
5. *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
6. Синицын М.Г., Оценка транспортной инфраструктуры енисейского бассейна как важного звена развития северного морского пути / В сборнике: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции». «Речной Форум 2019». Министерство транспорта Российской Федерации Федеральное агентство морского и речного транспорта, Омский институт водного транспорта - филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта». 2019. С. 248-253.
 7. Синицын М.Г., Определение вероятностных сроков работы судов на притоках магистральных рек / Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 1. С. 15-18.
 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>.
 9. Pokrovskaya, O. D., Panychev, A. Y., Khramtsova, E. R. Digitalization of the transport industry in Russia: trends, drivers, potential. 18th International Scientific Conference “Problems of Enterprise Development: Theory and Practice”. EpSBS - Volume 82 - PEDTR 2019. doi: 10.15405/epsbs.2020.04.44

References

1. Sinitsyn M., Buneev V., Domina O., Tsverov V. Formation of the shipping company's technical policy, Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 403 LNNS. S. 688-697. DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_76
2. 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).
3. Nichiporuk A. O. Ehvoluciya nomenklatury pokazatelej kachestva perevozok gruzov na razlichnykh vidakh transporta // Vestnik VGAVT. 2017. № 52. S. 157-165. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v52.pdf. (data obrashcheniya 19.05.2022).
4. Arkhipov, A., Maslennikov, S. (2022). Energy Efficiency of Integrated Transport and Logistics Systems. In: Manakov, A., Edigarian, A. (eds) International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. TransSiberia 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 403. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96383-5_102.
5. 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
6. Sinicyn M.G., Ocenka transportnoj infrastruktury enisejskogo bassejna kak vazhnogo zvena razvitiya severnogo morskogo puti / V sbornike: Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Sovremennye nauchnye issledovaniya: aktual'nye problemy i tendenci». «Rechnoj Forum 2019». Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii Federal'noe agentstvo morskogo i rechnogo transporta, Omskij institut vodnogo transporta - filial FGBOU VO «Sibirskij gosudarstvennyj universitet vodnogo transporta». 2019. S. 248-253.
7. Sinicyn M.G., Opredelenie veroyatnostnykh srokov raboty sudov na pritokakh magistral'nykh rek / Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2013. № 1. S. 15-18.
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>.
9. Pokrovskaya, O. D., Panychev, A. Y., Khramtsova, E. R. Digitalization of the transport industry in Russia: trends, drivers, potential. 18th International Scientific Conference “Problems of Enterprise Development: Theory and Practice”. EpSBS - Volume 82 - PEDTR 2019. doi: 10.15405/epsbs.2020.04.44

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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: mihaail_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

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

Gennad Y. 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

Статья поступила в редакцию 01.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 01.06.2022; published online 20.09.2022.

**ВОДНЫЕ ПУТИ, ПОРТЫ И ГИДРОТИХНИЧЕСКИЕ
СООРУЖЕНИЯ**

**WATERWAYS, PORTS AND HYDRAULIC ENGINEERING
CONSTRUCTIONS**

УДК 627.157

DOI: 10.37890/jwt.vi72.294

**Методические подходы оценки заносимости перекатов
нижнего бьефа Нижегородской ГЭС и их влияние на
обеспечение судоходных глубин участка**

Ю.Е. Воронина

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

Аннотация. Для обеспечения судоходных глубин на проблемном участке Городец – Нижний Новгород требуется проведение значительных дноуглубительных работ по разработке практически всех перекатов участка. Однако песчаные грунты, слагающие русло, приведут к значительной заносимости судоходных прорезей, что потребует выполнения дополнительного дноуглубления в летне-осенний период при низких уровнях воды. На существенную заносимость участка оказывают влияние факторы: 1) исчерпанные гидравлические возможности реки; 2) влияние особенностей, связанных с нахождением участка в пределах нижнего бьефа Нижегородской ГЭС. Выполненные расчеты заносимости по планам русловых съемок и аналитическим методом дают сопоставимые результаты.

Ключевые слова: интенсивные дноуглубительные работы, заносимость переката, причины заносимости, график потери глубины.

**Methodological approaches to assessing the drift of the
Nizhegorodskaya HPP lower pool riffles and their impact on
ensuring the navigable depths of the area**

Yulia E. Voronina

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. To ensure navigable depths in the problem area Gorodets - Nizhny Novgorod, significant dredging is required to develop almost all the riffles in the area. However, the sandy soils that make up the channel will lead to a significant sinking of the soil into the shipping channels, which will require additional dredging during the summer-autumn period when the water is low. Factors influencing a significant change in the site are: 1) exhausted hydraulic capacity of the river; 2) the influence of features associated with the location of the site within the lower pool of the Nizhny Novgorod hydroelectric power station. The transferred calculations based on channel survey plans and the analytical method give comparable results.

Keywords: intensive dredging, subsiding soils, causes of subsiding soils, depth reduction schedule.

Введение

Проблема судоходства в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС имеет давнюю историю, связанную с включением в транспортную стратегию развития внутренних водных путей до 2025 года проектирование и строительство низконапорного гидроузла (ННгу). Однако на стадии проектирования ННгу путем продвижения так называемых альтернативных вариантов решения проблем судоходства, произошел отказ от выработанного и досконально изученного в течение двух десятилетий кардинального решения проблемы в виде постройки низконапорного гидроузла в районе Б. Козино. Поэтому в новую стратегию развития до 2030 года [1,2,3] уже внесены изменения и принято решение о строительстве пристроя к камере 15А. Для правильного функционирования шлюза 15 и 15А необходимо выполнение значительного по своим объемам дноуглубления как на подходах к шлюзу, так и на всем участке Городец – Нижний Новгород. Для подготовки к реализации идеи строительства дополнительной камеры 15А к шлюзу №15 Нижегородского гидроузла заранее, еще до окончания проектных и начала строительных работ, перед Администрацией Волжского бассейна была поставлена задача начать углубление участка в навигацию 2021 года и продолжать работы вплоть до реализации проекта возведения камеры 15А, окончание которого произойдет, по оценкам проектировщиков, через 2-3 года после начала строительных работ. По всем подсчетам для разработки участка необходимо значительно увеличить судоходную глубину. Однако гидравлические возможности реки здесь уже себя давно исчерпали [4] и любые дноуглубительные работы спровоцируют как значительную посадку уровня воды в районе шлюзов, так и интенсивную заносимость судоходных прорезей. На первое окажет влияние то, что участок Городец – Балахна сложен трудно разрабатываемыми грунтами, такими как глины, суглинки, мергель, с включением камней. А на второе – участок Балахна – Нижний Новгород представляет собой русло с песчаным дном и со значительной заносимостью. Однако, несмотря на все негативные аспекты, по заданию Министерства транспорта Российской Федерации и Федерального агентства морского и речного транспорта ФБУ «Администрация Волжского бассейна» выполняла работы по углублению русла р. Волга на участке Городец – Н. Новгород в районе Георгиевского переката на 888,5-890 км судового хода.

Анализ планов русловых съемок по углублению Георгиевского переката в сентябре 2021 года

До начала производства работ на указанном участке 02.09.2021 была выполнена русловая съемка для уточнения характера дна и составления плана производства дноуглубительных работ (рис. 1). На съемке нанесены границы прорези и места укладки извлеченного грунта, согласно [5]. Сами работы выполнялись в период до 20 сентября 2021 года с целью извлечения заданного агентством объема дноуглубления, по результатам которых выполнена контрольная съемка участка [6]. Для оценки объема заносимости на 888,5-890 км судового хода после интенсификации дноуглубительных работ была проведена дополнительная русловая съемка через 30-

44

сут.

(20-28.10.2021 г).

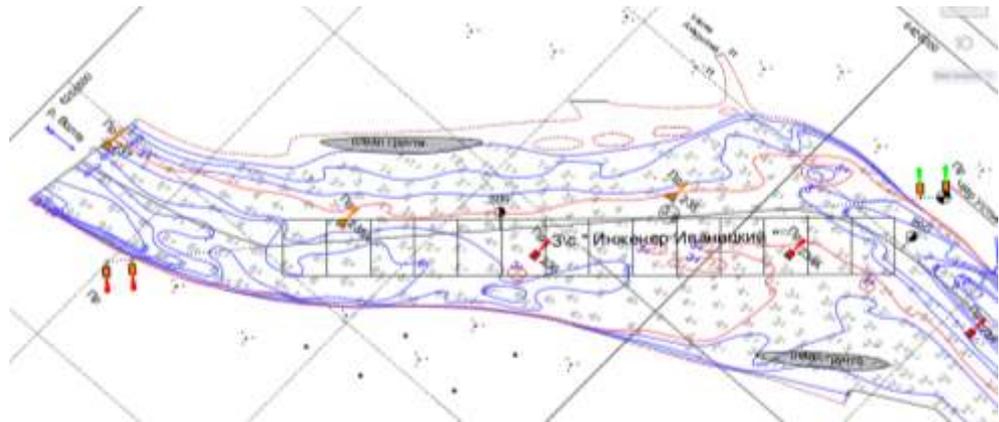


Рис. 1. План русловой съемки Георгиевского переката (сентябрь 2021 г.) с местоположением дноуглубительной прорези

Для исследования заносимости участка р. Волга на 888,5-890 км в 2021 году с учетом производимых интенсивных дноуглубительных работ на нем выполнено детальное построение поперечных сечений по каждой из предоставленных съемок через 100 м по длине судоходной прорези, а также продольные сечения на участке 888,5-890 км по оси судоходной прорези, на ее кромках и на расстоянии 50 м. за обеими кромками.

Форма поперечного сечения на перекате после значительных по объему дноуглубительных работ сильно изменяется. Сформированные в результате дноуглубления отвалы в поперечном сечении разделяют его на 2 зоны. Первая зона – в границах выемки грунта до уложенного отвала. Вторая – прибрежная, в пределах которой и располагаются отвалы грунта. В результате дноуглубительных работ поперечное сечение на перекате приобретает форму более крутой параболы. Выемка грунта в зоне наибольших глубин (зона 1) при планомерном наращивании глубины осуществляется в грунтах более плотного сложения, за счет чего деформация прорези уменьшается и устойчивость русла увеличивается.

Многолетние прибрежные отвалы грунта при прочих равных условиях уменьшают крутизну прибрежных склонов русла реки (зона 2). Способность потока транспортировать наносы определяется значением касательного напряжения на дне,

т.е. значением динамической скорости $V_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{ghI}$. Причем на основании

имеющихся формул расхода наносов можно считать, что эта способность пропорциональна V_*^3 . В канализированных руслах, каким и является нижний бьеф Нижегородской ГЭС, скорость течения и касательные напряжения в зоне 2 оказываются меньше, чем в русле реки до проведения дноуглубительных работ. При этом ширина полосы подводного прибрежного откоса, провоцирующего «сползание» донных частиц в канализированное русло также становится меньше, чем в естественном [6].

Выйдя из состояния покоя, частица грунта, испытывающая на себе действие силы тяжести $G_\sigma = G \cdot \sin \alpha$, которая направлена по поверхности откоса, начинает перемещаться вниз по нему и через некоторое время оказывается внизу откоса в самой судоходной прорези. Из-за того, что интенсивные дноуглубительные работы по увеличению глубины на участке Балахна – Нижний Новгород, сложенном песчаными

грунтами, в плане будут расширять зону отвала (зону 2), частицы извлеченного грунта все быстрее и интенсивнее будут переходить в зону разрабатываемых прорезей. Такая активность в движении частиц повлечет за собой заносимость на разработанной судоходной прорези в течение навигации, в которой производились активные дноуглубительные работы. Помимо этого при увеличении самой площади живого сечения в районе гребня переката произойдут значительные изменения в гидравлике потока из-за увеличения скоростей течения. Это отрицательно скажется на способности русла поддерживать достигнутую глубину без какой-либо посадки уровня воды. Оба этих фактора поспособствуют значительным переформированиям русла судоходной реки, неустойчивости достигнутых глубин с посадкой уровня воды на протяженном участке русла выше по течению от разрабатываемого места.

Анализ совмещенных поперечных сечений выявил указанные выше зоны и позволил оценить поперечные деформации русла на участке интенсивных дноуглубительных работ.

Согласно полученным съемкам Георгиевского переката осенью 2021 года выявлены значимые причины заносимости, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анализа совмещенных поперечных сечений в районе разработки 888,5-890 км р. Волга

Поперечное сечение	Разработка по глубине, см	Заносимость по глубине, см	Потеря глубины за месяц, %	Стеснение русла по ширине, м	Характер русла в сечении	Особенности сечения	Причина заносимости
1	2	3	4	5	6	8	7
1	90	90	100	–	Плесовая ложина с небольшой подрезкой слева	Стабильность сечения после проведения дноуглубительных работ	Уполаживание откосов в зоне максимальных глубин сечения. Естественные переформирования русла после дноуглубления
2	90	90	100	–		Наличие отвала грунта вдоль левого берега	Уполаживание откосов за счет размыва береговой полосы левого берега, влияние отвала грунта, интенсификация русловых процессов
3	110	70	63	–			Влияние зоны отвала грунта на конфигурацию сечения
4	8	6	75	–			Стабильные глубины от дноуглубительных работ со значительным увеличением зоны мелководья левой вдольбереговой полосы за счет отвала грунта
5	15	-30	–	–			Стабильные глубины от дноуглубительных работ со значительным увеличением зоны мелководья левой вдольбереговой полосы за счет отвала грунта

6	110	30	27	–	Переходная зона плесовой ложины в перекаг	Разработка в стороне от максимальной глубины поперечного сечения	Стабильность глубоководного участка русла. Расположение судоходной прорези не по линии наибольших глубин и наибольших скоростей потока привело к заносимости прорези за счет действия отвала грунта, уполаживания левобережного откоса и активизации русловых процессов на участке
7	95	90	95	–		Стабильность сечения после проведения дноуглубительных работ	Русловые деформации от вышерасположенного участка путем оседания частиц грунта при его разрыхлении в процессе выемки, уполаживания откосов, влияния отвала грунта, формируемого грядового рельефа дна
8	105	90	86	90		Формирование «собранного» сечения	Русловые деформации от вышерасположенного участка путем оседания частиц грунта при его разрыхлении в процессе выемки, уполаживания откосов, влияния отвала грунта, формируемого грядового рельефа дна
9	85	50	59	100		Русловые деформации от вышерасположенного участка путем оседания частиц грунта при его разрыхлении в процессе выемки, уполаживания откосов, влияния отвала грунта, формируемого грядового рельефа дна	
10	195	25	13	70	Гребень Георгиевского перекага	Разработка в стороне от максимальной глубины поперечного сечения. Разработка за пределами оси судового хода.	Расположение судоходной прорези не по линии наибольших глубин и наибольших скоростей потока привело к заносимости прорези за счет уполаживания левобережного откоса и активизации русловых процессов на участке
11	195	70	36	90		Разработка за пределами оси судового хода. Формирование «собранного» сечения	Расположение судоходной прорези не по линии наибольших глубин и наибольших скоростей потока привело к заносимости прорези за счет уполаживания левобережного откоса и активизации русловых процессов на участке

12	220	85	39	100		Разработка за пределами оси судового хода. Наличие отвала грунта вдоль правого берега	Наиболее интенсивные русловые деформации по участку за счет влияния правобережного отвала грунта, изменения направления течения, наличия поворота русла и свойственных ему русловых процессов
----	-----	----	----	-----	--	---	---

Аналитический подход к оценке заносимости перекатов нижнего бьефа Нижегородской ГЭС

По данным ФБУ «Администрация Волжского бассейна» о глубинах судовых ходов, проведенных дноуглубительных работах (первичных и повторных), а также данным об уровнях на гидрологических постах Балахна и Н. Новгород за период с 1960 по 2004 год были построены обобщенные графики потери глубин прорезями после их разработки в подготовительных период (при извлечении геометрического объема грунта) и в осенне-летний период (извлечение гидравлического объема, поступившего в прорези в результате заносимости ранее разработанных перекатов) (рис. 2).

По различным перекатам участка Балахна – Н. Новгород за многолетний рассматриваемый период установлена закономерность изменения заносимости перекатов. Выявленной закономерностью графиков первоначальной интенсивной потери глубины является верхний предел заносимости перекатов в течение одной навигации. Указанная особенность получена из количественного анализа частоты разработки перекатов в период одной навигации (рис. 2). На основании графиков, построенных для р. Волга наибольшая интенсивность наступает в первые 12 суток после проведенных дноуглубительных работ. За этот период происходит наибольшее оползание откосов и наибольшее поступление наносов из отвала грунта в судоходную прорезь. Однако влияние грядового рельефа на повышение отметок дна в местах разработки продолжается дальше, и уже за более длительный срок заносимость будет продолжаться. Еще одной особенностью является рост длительности устойчивости прорези после ее разработки.

Кривую процесса заносимости в начальный период времени (12 суток) можно представить в виде математической функции.

$$that = \frac{e^{\alpha t} - e^{-\alpha t}}{e^{\alpha t} + e^{-\alpha t}} \tag{1}$$

где t – время заносимости прорези после углубления переката.

После окончания начального периода заносимости судоходной прорези потеря глубины происходит равномерно по зависимости:

$$\frac{\Delta z}{\Delta h} = 0,02t + C \tag{2}$$

где C – эмпирический коэффициент, принимаемый в пределах от 0 до 2,5 в зависимости от того, какой по счету раз разрабатывался один и тот же перекат.

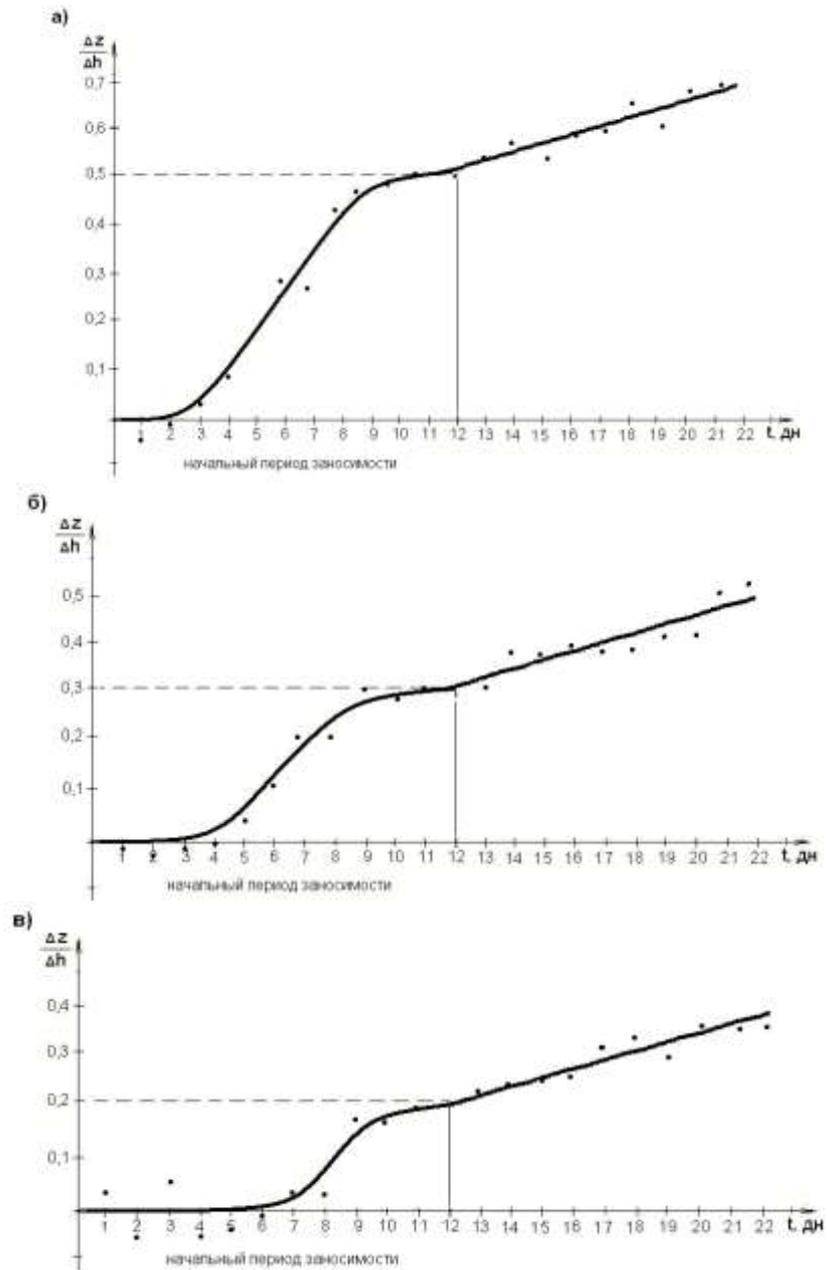


Рис. 2. Обобщенные графики заносимости прорезей: а) после первичного дноуглубления, б) после повторного дноуглубления, в) после последующего повторного дноуглубления ($\Delta z/\Delta h$ – приращение потери глубины на перекате по отношению к толщине снимаемого слоя)

При осреднении зависимости между первичным дноуглублением и двойным повторным было получено значение начальной заносимости Георгиевского переката в навигацию 2021 года 0,35. С использованием графиков зависимости рис. 2 для определения интенсивности потери глубины на конкретный момент времени получен окончательный график потери глубины для Георгиевского переката в навигацию 2021

года (рис. 3), из которого видно, что для конкретного перекатного участка в период первых 7 дней (поправка на плановый материал съемок по результатам интенсивного дноуглубления) заносимость составляет 18,7%. Дополнительные 47,2% в зависимости от неравномерной заносимости участков судоходной прорези может наступить от 3 до 21 дня после разработки [7].

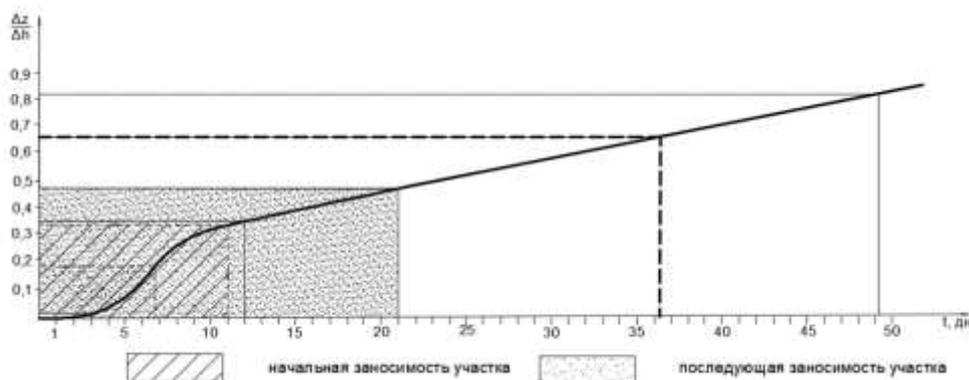


Рис. 3. График потери глубины от дноуглубительных работ на Георгиевском перекате в навигацию 2021 года

Результаты расчетов

Таким образом, максимальные деформации на участке наблюдаются в районе гребня Георгиевского переката в начале его подваля. На значительную заносимость русла оказывают влияние как сама конфигурация русла, так и местоположение отвалов грунта от сильной интенсификации дноуглубительных работ. Потеря глубины по сечениям распределяется неравномерно – от 13 до 100%. При подходе к гребню разрабатываемого переката начинает наблюдаться «собранность» сечения, оказывающая значительное влияние на русловые процессы в самом русле реки.

По анализу съемок, выполненных 3.09 и съемок 15.09 заносимость составляет 33%. При других периодах выдерживания времени между дноуглублением и первичной контрольной съемки заносимость варьируется между 18,7% и 47,2%. Поэтому при всех возможных вариантах съемок в зависимости от конкретной даты разработки и даты повторной контрольной съемки отдельные участки судоходной прорези могут заноситься до 80%. По представленным съемкам, выполненным на период 30-44 дня (по графику рис.3 время заносимости составляет 36 суток) заносимость соответствует 66%.

Заключение

В районе Георгиевского переката за рассматриваемый период наблюдается заносимость русла, сложенного песчаным грунтом, что потребовало выполнения дноуглубительных работ в июне и июле месяцах. Исследования заносимости участка р. Волга на 888,5-890 км в 2021 году с учетом производимых интенсивных дноуглубительных работ на нем выполнены различными методами, основанными на натурных данных и аналитических выводах по участку р. Волга от Балахны до Н. Новгорода. Анализ совмещенных поперечных сечений показал, что максимальные деформации на участке наблюдаются в районе гребня Георгиевского переката в начале его подваля. На значительную заносимость русла оказывают влияние как сама конфигурация русла, так и местоположение отвалов грунта от сильной интенсификации

дноуглубительных работ. Потеря глубины по сечениям распределяется неравномерно и в среднем составляет 51,3%. По всей судоходной прорези выявлена трансформация поперечных сечений с признаками явного разделения на зоны 1 и 2, что не влияет на русловые процессы в самом русле, но и активизирует заносимость прорези.

Для оценки степени заносимости русла после выполненных интенсивных дноуглубительных работ были построены совмещенные продольные профили участка, позволяющие определить потерю глубины за период наблюдения в 30-35 дня. На основании натурных съемок и аналитическим методом получены полностью сопоставимые результаты заносимости участка после интенсивных дноуглубительных работ. Полученные результаты позволяют констатировать значительные русловые деформации, связанные с заносимостью прорези, составляющие более 65% за текущую навигацию.

С точки зрения судоходства такая значительная заносимость может привести как к значительным потерям в судоходной глубине в течение навигации, так и интенсификации в работе дноуглубительной техники. Земснаряды, разрабатывая судоходные прорези повторно несколько раз за осенне-летний период, будут мешать движению судов на участке и уменьшать пропускную способность. А сами суда, проходя земснаряды, работающие на перекатах, будут задерживать их работу на время, необходимое для пропуска проходящих мимо грузовых и пассажирских судов.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008г. №1734-Р «О транспортной стратегии Российской Федерации».
2. Постановление Правительства РФ от 20.12.2017 №1596 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы».
3. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 февраля 2016г. № 327-Р.
4. Оценка влияния на гидрологический режим планируемого в 2021 году объема дноуглубительных работ в размере 2,5/1,0 млн. м3 на участке р. Волга 854,5-895,0 км с целью увеличения гарантированной глубины судового хода [Текст] // Отчет по НИР. – Н. Новгород: ВГУВТ, 2021.
5. Инструкция по землечерпательным работам / Минречфлот РСФСР. – М.: Транспорт, 1989. – 64 с.
6. Воронина Ю.Е. Канализирование русел судоходных рек с целью повышение безопасности судоходства / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Н. Новгород, 2004. – 181 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 [Текст] // Отчет по НИР. – Н. Новгород: ВГУВТ, 2022 – 176 с.
8. Воронина Ю.Е. Связь объемов дноуглубительных работ с изменением гарантированных глубин судового хода. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта №23. / Ю.Е. Воронина – Н. Новгород, 2007. – С. 59-61.

References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 22 noiabria 2008g. no1734-R «O transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii».
2. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 20.12.2017 no1596 «Ob utverzhdanii gosudarstvennoi programmy Rossiiskoi Federatsii «Razvitie transportnoi sistemy».

3. Strategiiia razvitiia vnutrennego vodnogo transporta Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda, utverzhdennaia rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 23 fevralia 2016g. no 327-R.
4. Otsenka vliianiia na gidrologicheskii rezhim planiruemogo v 2021 godu obema dnouglubitel'nykh rabot v razmere 2,5/1,0 mln. m³ na uchastke r. Volga 854,5-895,0 km s tsel'iu uvelicheniia garantirovannoi glubiny sudovogo khoda [Tekst] // Otchet po NIR. Nizhnii-Novgorod.: VGUVT, 2021.
5. Instruktsiia po zemlecherpatel'nym rabotam / Minrechflot RSFSR. Moskva: Transport, 1989. 64 p.
6. Voronina I.U.E. Kanalizirovanie rusel sudokhodnykh rek s tsel'iu povyshenie bezopasnosti sudokhodstva / Dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. N. Novgorod, 2004. 181 p.
7. Analiz zanosimosti perekatov v nizhnem b'efe Nizhegorodskoi GES po itogam provedeniia tranzitnykh i kapital'nykh dnouglubitel'nykh rabot v 2021 g. na uchastke r. Volga (854,5-895,0 km) i otsenka vliianiia kapital'nogo dnouglubleniia na posadku urovnia vody na porogakh shliuzov no15 i no 16 Gorodetskogo gidrouzla [Tekst] // Otchet po NIR. Nizhnii-Novgorod.: VGUVT, 2022 – 176 p.
8. Voronina Yu.E. The relationship of the volume of dredging with the change in the guaranteed depths of the ship's course. Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport No. 23. / Y.E. Voronina – N. Novgorod, 2007. – pp. 59-61.

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

Статья поступила в редакцию 15.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022.
Received 15.06.2022; published online 20.09.2022

627.743

DOI: 10.37890/jwt.vi72.306

Проектные решения при устройстве дноуглубительных прорезей

А.А. Калашников

ORCID: 0000-0002-5569-1596

*Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, Российская Федерация*

Аннотация. Важной задачей при производстве дноуглубительных и выправительных работ является вопрос устойчивости дноуглубительных прорезей. Рассмотрен опыт исследований вопроса, выполнен краткий обзор литературы. Обоснованы необходимость разработки проектных решений при производстве дноуглубительных прорезей, необходимость повышения устойчивости прорезей. Проанализированы натурные данные при производстве путевых работ на перекатах реки Обь. Предложены проектные решения при устройстве дноуглубительных прорезей, направленные на повышение их устойчивости. Намечены пути дальнейших исследований вопроса повышения устойчивости дноуглубительных прорезей.

Ключевые слова: дноуглубительные работы, выправительные работы, дноуглубительные прорези, устойчивость дноуглубительных и судоходных прорезей, трассирование дноуглубительных прорезей, конфигурации дноуглубительных прорезей, заносимость прорезей

Design solution for the dredging slots production

Arsenii A. Kalashnikov

ORCID: 0000-0002-5569-1596

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. The article discusses the issue of design solution for the dredging slots production in the Ob River section. An important challenge in the dredging and straightening works production is the issue of the dredging slots stability. The experience of researching the issue is considered, a brief review of the literature is presented. The necessity of developing design solution for the dredging slots production, necessity of dredging slots stability. Field data were obtained and analyzed in the course of track works on the Ob River cripples. A Design solution for the dredging slots production is proposed. The ways of further research of the dredging slots stability issue are outlined.

Keywords: Dredging, River Training Work, Dredging Slots, Stability of Dredging and Shipping Slots, Dredging Slots Routing, Dredging Slots Configuration, Dredging Slots Drift.

Введение

Водный транспорт в целом и речной транспорт в частности, обладая рядом существенных преимуществ в сравнении с другими видами транспорта, являются важным звеном в сети транспортных коммуникаций России. Особо важное значение он имеет для районов Сибири. В условиях перестройки экономики страны значение внутренних водных путей и перевозок по ним еще более возрастает, поскольку доставка грузов речным транспортом требует меньших удельных затрат. В свою очередь, нормальное функционирование транспорта внутренних водных путей

невозможно без осуществления комплекса путевых работ и, прежде всего, дноуглубительных работ. Важной задачей при поддержании существующих или увеличении габаритных размеров судового хода является эффективное производство дноуглубительных и выправительных работ.

В настоящее время в разряд актуальных встают задачи проектирования прежде всего дноуглубительных работ, так как сложившиеся сейчас условия производства путевых работ выдвигают требования по сокращению объемов и повторности производства дноуглубительных работ.

Создание условий, направленных на повышение устойчивости дноуглубительных прорезей, может позволить решить такую задачу. Здесь важное значение имеет сохранность после разработки дноуглубительных прорезей при проведении путевых работ транзитных глубин на перекатах. Опыт производства дноуглубительных работ и развитие теории устойчивости русел рек, накопленные к настоящему времени, позволяют получить методы расчетов обоснования движения речных наносов и устойчивости судоходной трассы в целом [1, 2, 3], оставляя открытыми некоторые вопросы, такие как влияние конфигурации дноуглубительных прорезей на повышение их устойчивости, а также оценка устойчивости прорезей.

Вопросом устойчивости русел рек в целом и, в частности, заносимости карьеров и дноуглубительных прорезей занимались различные исследователи. Здесь следует отметить имеющие наибольшее значение работы В.М. Ботвинкова, А.С. Губкина, Б.Ф. Снисченко, А.М. Лавыгина, К.В. Гришанина и других.

Б.Ф. Снисченко, имея данные, полученные для рек европейской части СССР, показал, что заносимость прорезей некоторым образом зависит от характера грядового движения наносов. Однако результаты интерпретировались при производстве путевых работ на реках европейской части России и в следствие их гидроморфологических особенностей применимы ограниченно.

В.М. Ботвинковым и А.С. Губкиным также предприняты успешные попытки найти связь между заносимостью прорези и специфическими особенностям судоходных рек.

Интерес представляют исследования А.М. Лавыгина, которым были изучены процессы поперечной заносимости прорези. Отмечая качество предложенной физической модели занесения, необходимо отметить ряд ограничений в предлагаемых моделях: не учитываются положение оси прорези в потоке, гидрологический режим водного пути, морфометрическая характеристика русла реки, морфологические изменения русла реки, надвижение русловых форм на прорезь и некоторые прочие.

Отмечая достигнутые успехи в исследованиях в виде полученных представлениях о том, что геометрические размеры гряд, механизм образования и скорость их перемещения, гидравлические характеристики потока во многом определяют процесс потери глубины в дноуглубительной прорези [4], необходимо отметить, что полного комплекса рекомендаций по повышению устойчивости дноуглубительных прорезей разработано не было к настоящему времени, а существующие же предложения являются разрозненными

При всех достоинствах существующих методов оценки устойчивости остается возможность для дальнейшего их развития и совершенствования, а также разработки новых. Анализ сложившейся ситуации показывает необходимость не только разработки методов прогнозирования устойчивости прорезей, но и разработки комплекса рекомендаций по обоснованию выбора конфигурации дноуглубительных прорезей, имеющей максимальную устойчивость к потере транзитных глубины и ширины и изменению планового очертания и положения плане.

Кроме того анализ устойчивости прорезей, выполняемых на проведения путевых работ на плесе «Новосибирск - устье Томи», имеющих простейшую конфигурацию, указывает на необходимость повышения их устойчивости.

Целью исследования является разработка рекомендаций в области проектных решений при трассировании дноуглубительных прорезей и выбора их конфигурации на реках Обского бассейна с целью достижения их максимальной устойчивости.

Материалы и методы

Конфигурацией дноуглубительной прорези будем называть комплекс следующих ее характеристик: плановые очертания, положение в плане, геометрические размеры, форма поперечного сечения, наличие вспомогательных сооружений, наличие наносорегулирующих траншей и емкостей.

Для достижения поставленной цели, т.е. получения рекомендаций по проектным решениям при производстве дноуглубительных прорезей, необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить анализ натуральных данных о деформации дна в дноуглубительных прорезях при производстве путевых работ. Основой для такого анализа послужили данные, полученные на реках Обского бассейна, в том числе на перекатах плеса «Новосибирск - устье Томи» реки Обь;
- выполнить гидравлическое моделирование для получения характеристик речного потока при устройстве дноуглубительной прорези.

С учетом полученных расчетных характеристик для модельного потока был выполнен проект размещения модели (рисунок 1) на лабораторной площадке кафедры водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений с использованием гидравлического лотка прямоугольного сечения (таблица 1).

Таблица 1

Геометрические характеристики гидравлического лотка.

Геометрические характеристики гидравлического лотка	Значение
Длина, м	27
Ширина, м	1,3
Высота, м	0,6

Определяющими критериями для обеспечения динамического и геометрического подобия модели и натуре являются критерии Фруда (Fr) и Рейнольдса (Re)[5]. На гидравлической модели обеспечивалось априори условие $Re_M > Re_{кр}$, а также в основу расчетов для сравнения полагалось условие $Fr = idem$. Помимо этого, модель рассчитана в жестком варианте с 4-кратным искажением рельефа, допускаемым как показывает опыт отечественных и многих зарубежных лабораторий [6]: горизонтальный масштаб модели 1:100, вертикальный масштаб — 1:25. Тарировка модели производилась при модельном расходе воды соответствующем расходу 1610 м³/с участков реки, при изысканиях на которых были получены натурные данные. Измерение кинематических характеристик потока производилось в соответствии с общепринятыми в практике методиками лабораторных исследований [7].

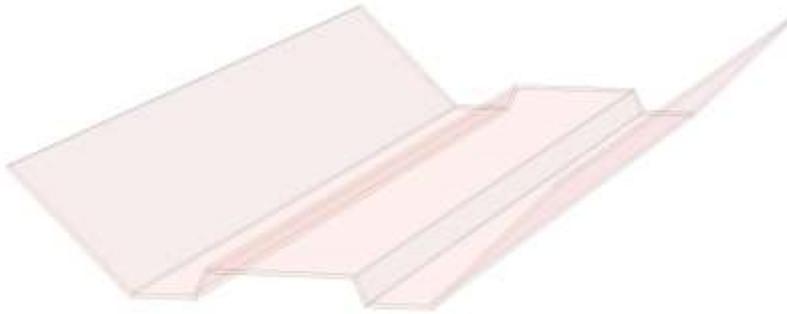


Рис. 1. Геометрия жесткой неразмываемой модели с дополнительными боковыми траншеями

Результаты

Натурные данные о потере глубины в прорези после окончания работ по ее производству, полученные кафедрой водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений, говорят о необходимости повышения продольной устойчивости прорези.

В результате обработки натурных данных нами были получены зависимости изменения транзитной глубины по оси прорези от времени после ее разработки [8]. На графике (рисунок 2) по оси ординат откладывалась относительная глубина в виде:

$$T_{\text{отн}} = \frac{T}{T_{\Gamma}}, \quad (1)$$

где T - минимальная глубина по оси прорези от проектного уровня, м;

T_{Γ} - гарантированная глубина, м. Принималась равной 2,2 м при выполнении путевых работ.

По оси абсцисс откладывалось относительное время:

$$t_{\text{отн}} = \frac{t}{24}, \quad (2)$$

где t - время после разработки прорези, ч.

Потеря глубины в этом случае возникает ввиду образования донных гряд и продвижения на прорезь микроформ рельефа дна и составляет до 10% от гарантированной.

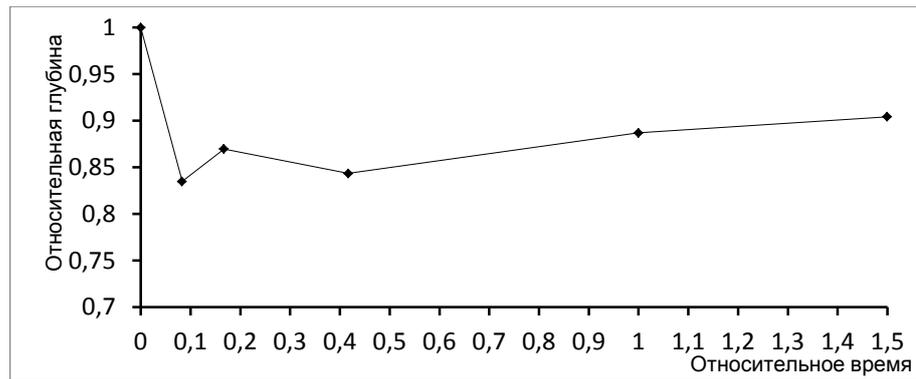


Рис. 2. Изменение судоходной глубины по оси прорези по данным натурных наблюдений

В свою очередь, гидравлическая модель показала увеличение расхода, средних скоростей и придонных скоростей течения модельного потока в прорези, выполненной с переуглублением в боковых траншеях, в сравнении с прорезями, имеющими прямоугольное живое сечение.

В итоге средние скорости на вертикали между отметками рабочего дна прорези и свободной поверхности потока (рисунок 3) увеличились на 8,9 %. В таблице 2 приведены полученные в результате измерений значения скоростей модельного потока.

Таблица 2

Измеренные значения скоростей модельного потока в прорези.

Показатель	Модель прорези без переуглубления боковых траншей	Модель прорези с переуглублением боковых траншей
Средняя скорость модельного потока на вертикали, м/с	0,225	0,24
Придонные скорости модельного потока, м/с	0,115	0,135

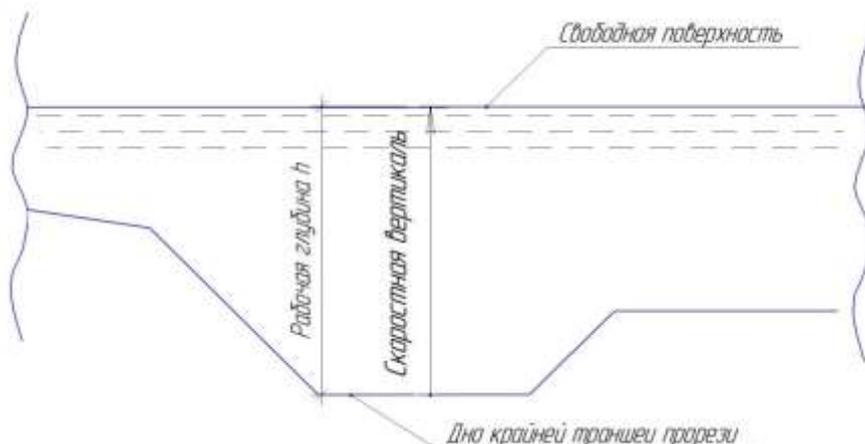


Рис. 3. Положение скоростной вертикали в поперечном сечении прорези

В результате анализа натуральных данных и информации, полученной в результате моделирования, становится возможным предположить, что наиболее выгодными способами повышения устойчивости прорези являются:

при обеспечении поперечной устойчивости [9] - создание особых емкостей для аккумуляции и выноса грунта за пределы прорези в продольном направлении, т.е. разработки дополнительных боковых траншей (рисунок 1);

при обеспечении продольной устойчивости - выполнение прорези с переуглублением для запаса на потерю транзитной глубины.

Обсуждение

Одним из способов повышения устойчивости является рациональное переуглубление, которое может быть обосновано с помощью полученной нами методики определения потери глубины и ширины в прорези.

При этом недостаточная величина переуглубления с запасом на заносимость очевидно не дает результатов по повышению устойчивости. Значительно большая величина потребует дополнительных затрат на производство дноуглубительных работ, что противоречит задаче о снижении издержек при производстве прорезей. Таким образом, необходимо было получить такую рациональную величину переуглубления, которая одновременно позволит повысить устойчивость прорези и избежать высоких экономических затрат.

Анализ изменения судоходной глубины говорит, что прорезь после ее производства теряет до 10% от гарантированной глубины в течение 36 часов.

Величину переуглубления, исходя из вышеуказанных условий, можно будет определять простым соотношением:

$$T_{\text{пер}} = 0,1 \cdot T_{\text{г}}, \tag{3}$$

где $T_{\text{г}}$ - гарантированная глубина, м. При разработке прорезей на перекатах плеса «Новосибирск - устье Томи» реки Обь принимались равными 2,2 м.

Для повышения устойчивости прорезей нами рекомендуется вместо назначения повторных работ осуществлять переуглубление в прорези на величину, указанную

выше. Это позволит избежать назначения повторных работ на перекате после производства работ.

Вторым возможным проектным решением на данном этапе наших исследований считаем создание дополнительных боковых траншей, аккумулирующих осыпающийся грунт и одновременно увеличивающих пропускную способность прорези в отношении влекомых наносов.

Как видно из проведенных изысканий, транзитная глубина снижается уже в течение 2...8 часов после окончания работ по производству прорези, выполненной простой конфигурации, т.е. без вспомогательных сооружений, с прямоугольным живым сечением. Актуальным становится вопрос о выборе рациональной величины переуглубления прорезей, имеющих дополнительные элементы, такие как боковые траншеи, позволяющей добиваться высокой устойчивости прорези, но затрачивать на производство дноуглубительных работ меньшее количество ресурсов. Стоит отметить также и необходимость создания размываемой лабораторной модели дноуглубительной прорези для исследования процесса заносимости с учетом выбора проектных решений полученных выше.

Выводы

В результате выполненных исследований, на основе обработки натуральных данных с учетом опыта, накопленного кафедрой водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений Сибирского государственного университета водного транспорта, привлечения натуральных данных и данных, полученных в результате работы с гидравлической моделью, нами предлагаются некоторые проектные решения по устройству дноуглубительной прорези: создание вспомогательных наносорегулирующих траншей, выполнение рационального переуглубления с учетом запаса на заносимость.

Дальнейшие наши исследования будут сосредоточены на разработке рекомендаций по выбору оптимальной конфигурации дноуглубительной прорези путем создания плановой компоновки вспомогательных сооружений и расположения отвалов. Для решения этой задачи потребуются привлечение дополнительных экспериментальных данных, в том числе с использованием размываемой модели в лабораторных условиях.

Список литературы

1. Alekseevsky NI, Berkovich KM, Chalov RS (2008) Erosion, sediment transportation and accumulation in rivers. *International Journal of Sediment Research* 23(2). doi: 10.1016/S1001-6279(08)60009-8
2. Borshchenko EV, Chalov RS (2010) Channel-forming water flow rates and morphodynamics of river channels in the Russian part of the Amur basin. *Geography and Natural Resources* 31(2). doi: 10.1016/j.gnr.2010.06.010
3. Sitnov AN, Voronina YE, Shestova MV (2020) Channel Deformations Forecast And Features Of Floodplain Quarries Of Non-Metallic Construction Materials Development In Meandering Riverbeds Based On Safe Navigation Conditions (On The Example Of The Belaya River). *Russian Journal of Water Transport* (65):179-188. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.138>
4. Ботвинков В.М. К определению устойчивости землечерпательных прорезей. / Труды Новосибирского института инженеров водного транспорта, вып. 139, Новосибирск: 1979. -с. 126 - 129.;
5. Знаменская Н.С. Гидравлическое моделирование русловых процессов. СПб., 1992. 239 с.
6. Shen H.W. Modeling of rivers. № 9. 1976. 745 p.

7. Клавен А. Б., Копалиани З. Д., Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса- СПб., 2011. - 543 с.;
8. Калашников А.А. Оценка устойчивости дноуглубительных прорезей на Новосибирском плесе / А.А. Калашников // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока - Новосибирск.: СГУВТ, 2018. - с. 41-43.
9. Лавыгин А. М. Заносимость дноуглубительных прорезей на прямолинейных участках рек и пути ее снижения: автореф. дис. канд. наук. — Л.: ЛИВТ, 1988.

References

1. Alekseevsky NI, Berkovich KM, Chalov RS (2008) Erosion, sediment transportation and accumulation in rivers. International Journal of Sediment Research 23(2). doi: 10.1016/S1001-6279(08)60009-8
2. Borshchenko EV, Chalov RS (2010) Channel-forming water flow rates and morphodynamics of river channels in the Russian part of the Amur basin. Geography and Natural Resources31(2). doi: 10.1016/j.gnr.2010.06.010
3. Sitnov AN, Voronina YE, Shestova MV (2020) Channel Deformations Forecast And Features Of Floodplain Quarries Of Non-Metallic Construction Materials Development In Meandering Riverbeds Based On Safe Navigation Conditions (On The Example Of The Belaya River). Russian Journal of Water Transport (65):179-188. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.138>
4. Botvinkov V.M. Postroenie planov techenii na zatrudnitel'nykh uchastkakh rek. / Trudy Novosibirskogo instituta inzhenerov vodnogo transporta, vyp. 139, ed. O.I. Gordeev, Novosibirsk, NIIZHT Publ., 1979. -pp. 30 - 38. (InRuss)
5. Znamenskaya N.S. Gidravlichesкое modelirovanie ruslovykh protsessov. SPb., 1992. 239 p. (InRuss)
6. Shen H.W. Modeling of rivers. № 9. 1976. 745 p.
7. Klaven A. B., Kopaliani Z. D., Ekhspеrimеntal'nye issledovaniya i gidravlichesкое modelirovanie rechnykh potokov i rusloвого protsessа- SPb., Nestor-Istoriya Publ., 2011. - 543 p. (InRuss).
8. Kalashnikov A.A. Otsenka ustoichivosti dnouglubitel'nykh prorozеi na Novosibirskom plesе [Dredging cuts stability estimate on Novosibirsk river reach] Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka - Novosibirsk.: SGUVT, 2018. - s. 41-43. (InRuss). https://www.ssuwt.ru/images/files/nauchnye-izdaniya/2_2018.pdf
9. Lavygin A. M. Zanosimost' dnouglubitel'nykh prorozеi na pryamolineinykh uchastkakh rek i puti ee snizheniya: avtoref. dis. kand. nauk. — L.: LIVT, 1988. (InRuss)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Калашников Арсений Александрович,

старший преподаватель кафедры Водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: aakalashnikovvipgts@yahoo.com

Arsenii A. Kalashnikov, senior lecturer of the Department of Water Surveys, Ways and Hydrotechnical Construction, Siberian State University of Water Transport, 33, Shchetinkina st., Novosibirsk

Статья поступила в редакцию 16.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 16.06.2022; published online 20.09.2022.

УДК 627.423

DOI: 10.37890/jwt.vi72.295

Обоснование условий создания и использования судоходных глубин на Верхней Каме в экспедиционном периоде навигации

А.Н. Ситнов¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4720-8194>

Н.В. Кочкурова¹

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

Аннотация: Условия создания и использования судоходных глубин на Верхней Каме определялись посредством изучения уровня режима на участке от с. Бондюг до пгт. Тюлькино протяженностью 97 км, на котором осуществляются плотовые перевозки только в краткосрочном полноводном весеннем периоде, что ограничивает возможности использования водного транспорта. В целях продления периода вывода плотов на участке и установления на нем гарантированных габаритов судового хода в работе по предложенной методике обоснованы отметки проектных уровней по опорным гидропостам и оценены возможности установления гарантированных глубин. Определяющими условиями создания глубин являются разработанный комплекс путевых работ и гидравлические возможности реки с учетом особенностей русловых деформаций на участке. Приведены рекомендации по организации плотовых перевозок в зависимости от глубин в продленном экспедиционном периоде.

Ключевые слова: судоходная глубина, уровень режим, обеспеченность уровней воды, проектный уровень, деформации русла.

Substantiation of conditions for the creation and use of navigable depths on the Upper Kama in the expedition period of navigation

Alexander N. Sitnov¹

ORCID: [0000-0003-4720-8194](https://orcid.org/0000-0003-4720-8194)

Natalia V. Kochkurova¹

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

Abstract: The conditions for the creation and use of navigable depths on the Upper Kama were determined by studying the level regime in the section from Bondyug village to the Tyulkino urban settlement. On this section which is 97 km long, raft transportation is carried out only in the short-term full-flowing spring period, which limits the possibility of using water transport. In order to extend the period of withdrawal of rafts on the site and establish guaranteed dimensions of the ship's course, the proposed methodology substantiates the marks of the design levels for the reference hydraulic posts and evaluates the possibility of establishing guaranteed depths. The defining conditions for creating depths are the developed complex of track works and the hydraulic capabilities of the river, taking into account the peculiarities of channel deformations on the site. Recommendations on the organization of raft transportation depending on the depths in the extended expedition period are given.

Keywords: navigable depth, level regime, water level security, design level, channel deformations.

Введение

Водные пути Верхней Камы традиционно использовались для вывоза плотов зимней сплотки с верховьев реки основным потребителям леса в г. Соликамск. Однако на большей части пути гарантированные габариты судового хода не установлены и не поддерживаются, судоходные условия обеспечиваются только в полноводный весенний период, что ограничивает возможности судоходства, а грузопоток в значительной степени осваивается автотранспортом. Вместе с этим, по оценке специалистов, транспортировка леса от плотбищ до предприятий по воде на 60 % эффективнее, чем автотранспортом, а отсутствие действующих в течение всего года автомобильных дорог делает перевозки водным транспортом особенно актуальными.

Объектом исследования является участок р. Кама с опорными гидрологическими постами: Бондюг (77 км), Керчевский (0/2547 км от Южного порта Москвы), Тюлькино (2527 км), Березники (2467 км), показанными на рис. 1.

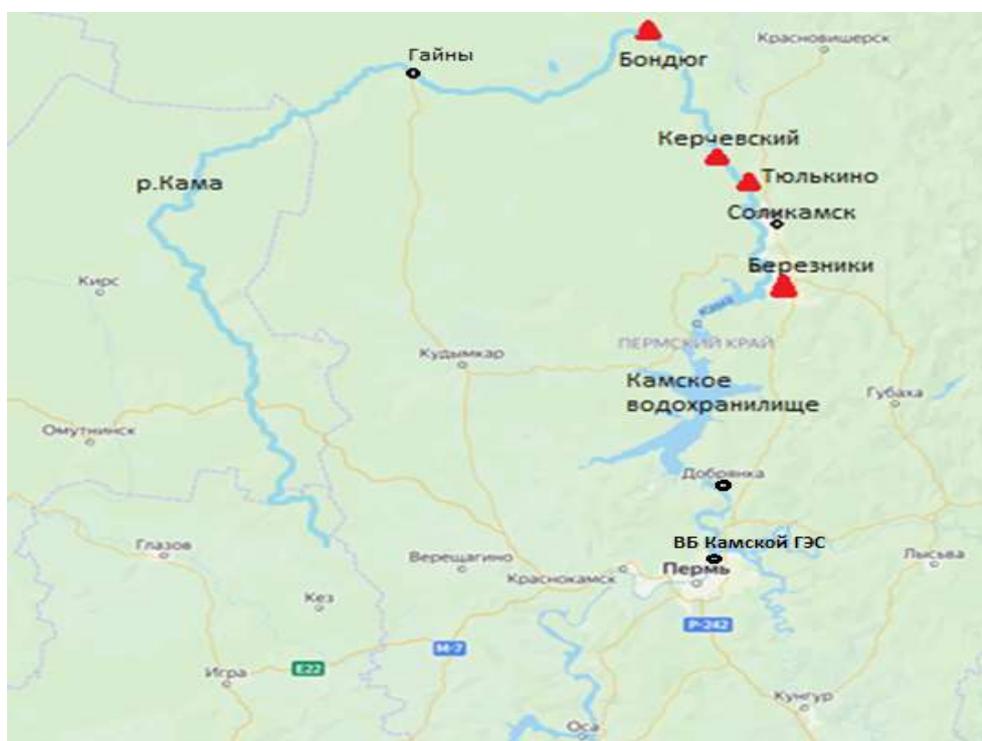


Рис. 1. Схема расположения гидрологических постов на исследуемом участке р.Кама (выделены красным цветом)

Особенности водного режима Верхней Камы (выше пгт. Керчевский), связанные с резким и высоким подъемом уровня воды в начале мая и последующим медленным спадом, заканчивающимся обычно в последней декаде июня, характерны также для нижерасположенного участка вплоть до пгт. Тюлькино. На графиках колебаний уровней воды по опорным гидропостам отчетливо виден период «высокой» воды, ограниченный, как правило, концом мая и продолжительностью в среднем до 25 сут. За этот период традиционно с Верхней Камы вывозился лес в плотках зимней сплотки в значительных объемах (до 1990-х годов свыше 2 млн. м³ древесины в год), что

осуществлялось за счет хорошей организации работ, привлечения большого числа буксирного флота и вспомогательных судов из других бассейнов, производства путевых работ. В настоящее время объемы плотовых перевозок резко сокращены и достигают примерно 500 тыс. м³, хотя по информации основных потребителей лесной продукции, объемы могут быть увеличены до 900 тыс. м³ – 1,1 млн. м³.

Таким образом, потеря провозной способности флота вследствие короткого срока навигации и необеспеченных габаритов пути составляет порядка 400-600 тыс. м³ древесины. При этом в маловодные годы перевозки становятся технически невозможными и экономически убыточными. В современных условиях увеличение объема перевозок на рассматриваемом участке р. Кама потребует при существующем сокращении буксирной тяги у перевозчиков и существующей организации работы флота увеличения продолжительности периода экспедиционного вывода плотов с Верхней Камы примерно в два раза (около 50 сут). Поэтому целью исследования является создание необходимых для транспортирования плотов судоводных условий в продленном экспедиционном периоде навигации, а задачи исследования заключаются в обосновании отметок проектных уровней воды по гидропостам Бондюг, Керчевский, Тюлькино и оценке возможности установления гарантированных габаритов судового хода в этом периоде. Механизм достижения гарантированных габаритов реализуется через разработку комплекса путевых работ с учетом обоснованных гидравлически допустимых глубин и характера изменений русловых деформаций на участке.

Методы

Достижение возможности продления периода экспедиционного вывода плотов связано с обеспечением расчетных уровней воды на участке.

В качестве расчетных для речных условий принимаются проектные уровни высокой обеспеченности. Следует отметить весьма большую неоднозначность установления величины обеспеченности проектных уровней на гидропостах в зависимости от классификации путей по разным признакам. Так, относительно навигационного оборудования судовых ходов [1] пути делились на 5 групп по интенсивности суточного прохождения участка судами (плотами). Применительно к плотовым перевозкам леса в I группу относились участки с прохождением пять и более плотовых составов в обоих направлениях за сутки; во вторую – до пяти плотов; в третью – участки, где нет регулярного сплава леса в плотях; в четвертую – участки с регулярным прохождением 1-2 судов за ночь; в пятую – при нерегулярном судоводстве на участке и только в дневное время.

Однако в основном обеспеченность проектных уровней устанавливается по признаку класса внутренних водных путей и их габаритам. В литературе [2] для сверхмагистралей значения обеспеченности проектных уровней даются в диапазоне 95-99%, для магистралей I и II разряда – 90-97%, для путей местного значения I и II разряда – 80-95%. Аналогично для путей местного значения обеспеченность проектного уровня приводится в диапазоне 80-90% [3]. В проекте Правил содержания судовых ходов [4] определено, что на участках ВВП со свободным течением воды проектные уровни устанавливаются по гидрологическим постам с среднемноголетней обеспеченностью в период навигации 95-99% при глубине на судовом ходу более 250 см; 90-95% при глубине от 150 до 250 см; 80-90% при глубине менее 150 см.

Наиболее подробно класс водных путей в зависимости от глубины на перспективу и используемого флота представлен в ГОСТе 26775-97 [5]. В соответствии с ним устанавливаются семь классов водного пути (участка), из которых для целей нашего

исследования рассмотрены пути местного значения 5,6,7 классов. Характеристики путей и флота для них применительно к плотовым перевозкам приведены в таблице 1.

Таблица 1

Классификация водных путей

Класс водного пути (участка)	Глубина судового хода на перспективу, м		Расчетные ширина / длина плотового состава, м
	гарантированная	средне-навигационная	
5-местного значения	Свыше 1,1 до 1,5	Свыше 1,3 до 1,7	50 / 590
6-местного значения	Свыше 0,7 до 1,1	Свыше 0,9 до 1,3	30 / 470
7-местного значения	0,7 и менее	От 0,6 до 0,9	20 / 300

В соответствии с ГОСТ 26775-97 [5] для установления класса водного пути, кроме глубины участка, необходимо учитывать расчетные параметры транспортного грузового флота (в нашем случае плотового) на перспективу.

Используемые на участке Верхней Камы суда и плотовые секции определяют особенности формирования схемы и габаритов буксируемого плотового состава.

В период высокой воды (май) глубины от с. Бондюг до пгт. Тюлькино достаточны для использования буксирного флота с повышенной осадкой и длиной (лимитирующий плотовод проекта Р-33Б мощностью 600 л.с.), а также плотовой секции с осадкой до 2,0 м. В продленный период экспедиционного вывода плотов (июнь), при падении уровней на участке и, соответственно, глубин использование буксиров и плотовых секций претерпевает изменения. Так, в качестве основного и вспомогательного буксиров – плотоводов принимается буксир – толкач проекта 911 мощностью 300 л.с., осадка плотовой секции должна соответствовать осадке буксира. Тогда гарантированная глубина T_{Γ} (м) на участке для базового варианта продленного периода эксплуатационного вывода плотов принимается по лимитирующему периоду и параметрам плотового состава в нем.

$$T_{\Gamma} = t_{\text{б(пл)}} + \Delta T_{\text{ПП}} \tag{1}$$

где $t_{\text{б(пл)}}$ – осадка буксира-плотовода (плотовой секции), м. Принимается с округлением равной 1,0 м.

$\Delta T_{\text{ПП}}$ – обобщенная величина, включающая запас воды под днищем буксира (под секцией) 0,2 м при глубине судового хода до 1,5 м [6], которая с учетом просадки корпуса буксира при движении на мелководье и последующим округлением до 10 см принимается равной 0,3 м.

Отсюда гарантированная глубина за продленный период экспедиционного вывода плотов принята $T_{\Gamma} = 1,3$ м., и по ее величине на перспективу рассматриваемый участок относится к путям местного значения пятого класса [5]. Из расчетных габаритов плотового состава ширина не принимается лимитирующей, поскольку на практике плотовые секции при высокой воде могут вестись сдвоенными по ширине (то есть общая ширина двух плотовых секций 54 м), при низкой воде – 27 м и более для разных условий организации перевозок.

Расчетная длина плотового состава включает длину буксира – толкача проекта 911, длину расчетной плотовой секции и расстояние от основного буксира до плотовой секции, что в целом несколько превышает 300 м и это соответствует седьмому классу участка [5].

Гарантированные габариты включают также радиус закругления судового хода, который по Правилам содержания судовых ходов [7], должен быть не менее пяти длин буксируемого состава, то есть более 1500 м. С учетом длины вспомогательного буксира-плотвода и длины оттяжных тросов с него, радиус закругления еще более увеличится, что может быть не выдержано на крутых излучинах участка, приведет к уменьшению длины плотовой секции и ухудшению эксплуатационно-экономических показателей перевозок, и это не дает основания для принятия более высокого класса пути.

По результатам выполненного анализа обеспеченность проектных уровней для путей местного значения принимается в диапазоне 80-90%, а для седьмого (низшего по значимости) класса она составит 80%, что и принято в дальнейших расчетах для гидрологических постов Бондюг, Керчевский, Тюлькино. Повышение обеспеченности проектных уровней на гидропостах до более высоких значений связано с понижением отметок уровней и усложнением достижения гарантированных габаритов судового хода, а также ухудшением экономических параметров.

Расчет обеспеченностей уровней воды по гидропостам произведен при обработке многолетних статистических рядов путем расчета эмпирической обеспеченности уровней $P, \%$ по принятой в гидрологических расчетах формуле [5, 8, 9 и др.].

$$P = \frac{m}{n + 1} 100 \quad (2)$$

где m – порядковый номер уровня воды в ранжированном статистическом ряду;

n – численность статистического ряда;

При расчете обеспеченности уровня воды статистический ряд ранжируют в порядке убывания характеристики (уровня воды), получая вероятность превышения рассматриваемого уровня над другими в статистическом ряду.

Аналогично выражению (2) определяют вероятность даты наступления какого-либо характерного события (в нашем случае даты окончания ледовых явлений на гидрологических постах), при этом ранжирование статистического ряда производится в порядке возрастания характеристики (даты).

Такой подход позволяет производить расчет обеспеченности (вероятности наступления какого-либо события) на любую дату с заданным временным шагом (даже ежедневно), используя современные способы обработки статистических рядов и возможности цифровой технологии. Это многократно снижает трудоемкость и временные затраты по расчету частоты (частости) и обеспеченности (вероятности распределения) случайной величины традиционным способом.

Одним из условий создания необходимых судоходных глубин на Верхней Каме в продленном экспедиционном периоде навигации является учет гидравлических возможностей реки, когда с понижением уровней воды и нехваткой глубин возникает необходимость углубления мелководных участков, что ведет к появлению т.н. «посадки» уровня. Если посадка уровня относительно невелика, существенно меньше получаемого приращения судоходной глубины и не оказывает заметного влияния на русловой режим реки, то транзитная глубина на плесе, при которой наблюдается такая посадка уровня, получила название гидравлически допустимой.

Известна совокупность способов ее расчета на основе уравнений гидравлики с учетом характерных особенностей морфологии русла, в первую очередь форм и параметров его поперечного сечения и асимметрии, неравномерности глубин по длине реки при чередовании плесов и перекатов; использовании в расчетах т.н. инварианта подобия (безразмерной глубины) и показателя руслового режима, через который устанавливается зависимость между расходом воды, глубиной и определяющими ее природными факторами на основе кривой связи расходов воды с

уровнями и др. методы, нашедшие отражение в работах [1, 10, 11, 12, 13, 14, 15], по которым произведены расчеты.

Немаловажным условием создания необходимых характеристик судоходства на участке является анализ русловых переформирований и причин деформации русла, в результате чего установлен характер русловых процессов с выявлением факторов, затрудняющих судоходство, и сделан прогноз русловых переформирований в перспективе. При установлении причинных связей между отдельными явлениями руслового процесса и составлении прогноза русловых деформаций наряду с руководящими и научными материалами [16, 17, 18, 19, 20, 21], имеющимися картографическими материалами, использованы также данные русловых исследований.

Для описания и анализа деформаций отобранный плановый материал русловых съемок объединен в хронологическую ленту сопоставленных и совмещенных планов. Если участок содержит несколько перекаатов, то такие ленты составлены для группы взаимосвязанных перекаатов.

Наиболее характерные планы совмещены попарно, давая наглядную картину деформаций и их интенсивности. Совмещение и сопоставление съемок различных лет дает картину деформации русла за рассматриваемый период времени и позволяет проследить ход деформаций и основные тенденции развития русла.

Результаты

Обеспеченность уровней воды определена для четырех опорных гидрологических постов участка Верхней Камы: с. Бондюг, пгт. Керчевский, пгт. Тюлькино и г. Березники с разной степенью детализации по временным и уровненным параметрам периодов и фаз водного режима.

Расчет обеспеченностей уровней воды производился по дням экспедиционного вывода плотов с 7 мая по 27 июня за многолетний период с переменным шагом по датам: в период подъема и начала спада половодья для выявления характерных особенностей графика колебаний уровней в районе пика половодья с шагом в одни сутки, в дальнейшем через 10 сут.

По результатам расчетов построены графики эмпирических кривых обеспеченностей уровней воды на горизонтальной логарифмической шкале обеспеченности, обычно принятой в гидрологических расчетах (на рис. 2 приведен пример по гидропосту Бондюг). На графиках показаны расчетные значения уровней разной обеспеченности и проходящая через них сглаживающая эмпирическая кривая, позволяющая определять значения уровней любой обеспеченности в их рассматриваемом интервале. Также приведена плоскость условного (проектного) уровня по посту относительно нуля графика, равная +300 см. Анализ графиков показывает, что сглаживающая эмпирическая кривая в начальный период физической навигации имеет отрицательную асимметрию (кривые имеют выпуклость вверх, то есть положительные отклонения уровней от среднего значения встречаются чаще, чем отрицательные) и крутизна выпуклости наибольшая в период пика половодья и около него (примерно 11.05 – 17.05), затем кривая обеспеченности начинает выправляться (18.05 – 27.05), а в июне (7.06 и далее) кривая обеспеченности имеет положительную асимметрию, выпукла вниз и отрицательные отклонения уровней от среднего встречаются чаще. В соответствии с видом кривой и ее асимметрией значения рабочих уровней в многолетнем периоде относительно условного уровня на посту также имеют схожую тенденцию. В начальный период фактические уровни воды превышают условный уровень, имея максимальную концентрацию случаев превышения в период 9.05 – 17.05, в этом периоде уровни ниже условного

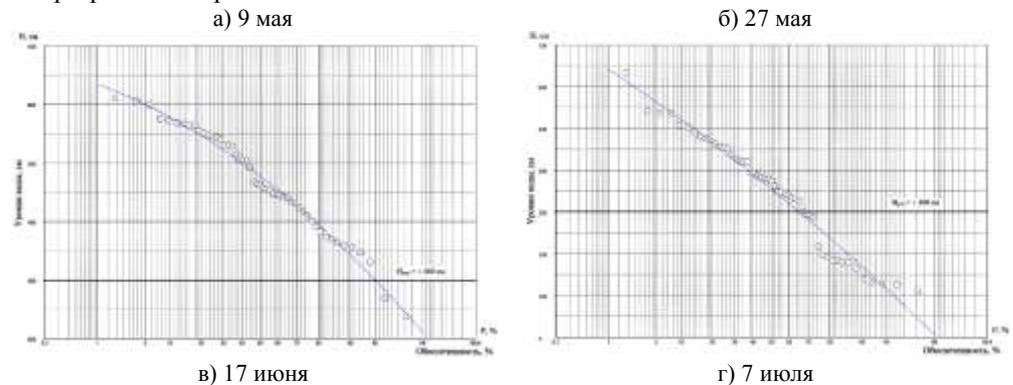
встречаются эпизодически. Тогда же наблюдаются наибольшие уровни, достигающие максимума к 13 – 17 мая. После 18 мая уровни начинают ускоренно понижаться, их число ниже условного уровня увеличивается, в начале июля становится преобладающим, в июле рабочие уровни выше условного появляются эпизодически, а с конца августа и далее уровни ниже условного. Кривые обеспеченности уровней на принятые даты (рис. 2) подтверждают выводы выполненного анализа.

На рис. 3 приведен совмещенный график колебаний уровней воды 80% обеспеченности по гидропостам Бондюг, Керчевский, Тюлькино, Березники, из которого следует практически совпадающий по динамике режим изменения уровней по постам Бондюг, Керчевский, Тюлькино на всем временном интервале экспедиционного периода и значительно отличающийся уровень режим на посту Березники с конца мая до конца июня из-за влияния подпора Камского водохранилища.

По результатам выполненных исследований для продленного экспедиционного периода вывода плотовых составов по гидропостам участка с. Бондюг – пгт. Тюлькино определены расчетные абсолютные и условные отметки проектных уровней 80% обеспеченности. В соответствии с ними для обеспечения гарантированной глубины на участке Бондюг – Тюлькино необходимо понизить дно от проектных уровней на 1,3 м.

На рис. 4 приведен продольный профиль участка от с. Бондюг до пгт. Керчевский, на котором показано фактическое положение дна по результатам гидрографических изысканий (сентябрь 2021 г.) и плановое положение дна для создания гарантированной глубины 1,3 м.

Укрупненный анализ соотношения положения свободной поверхности воды при проектных уровнях на постах и линии дна показывает, что на участке Бондюг – Керчевский в продленном экспедиционном периоде лимитирует достижение гарантированной глубины $T_r = 1,3$ м два переката, а на участке Керчевский – Тюлькино гарантированная глубина 1,3 м выдерживается в экспедиционном периоде без разработки перекатов.



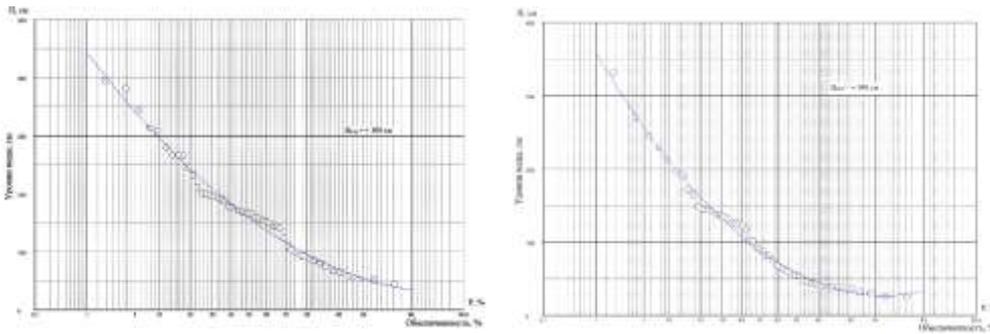


Рис. 2. Эмпирическая кривая обеспеченностей уровней воды по гидропосту Бондюг за многолетний период на даты: а) 9 мая; б) 27 мая; в) 17 июня; г) 7 июля.
 оооо – расчетные значения; — – сглаживающая кривая

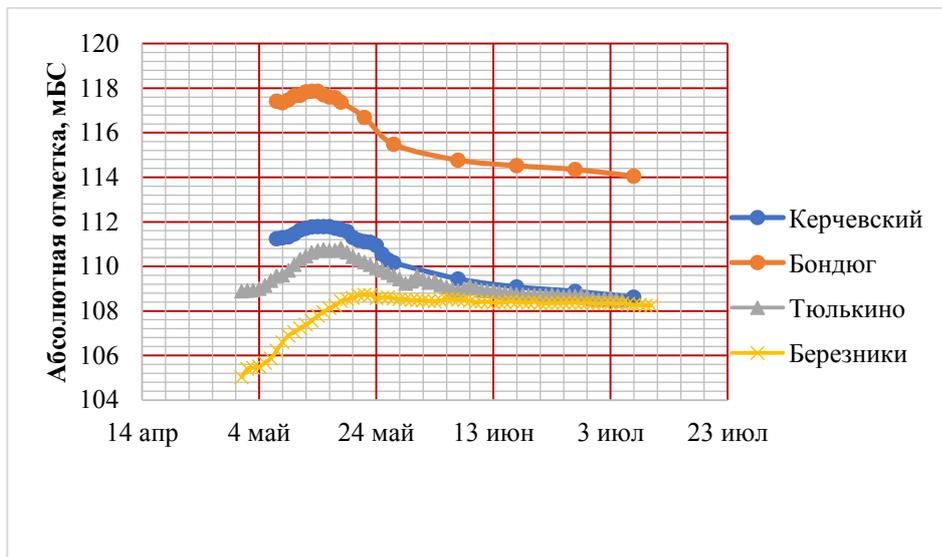


Рис. 3. Совмещенный график колебаний уровней воды 80 % обеспеченности по гидропостам на участке Бондюг – Березники (май - июль)

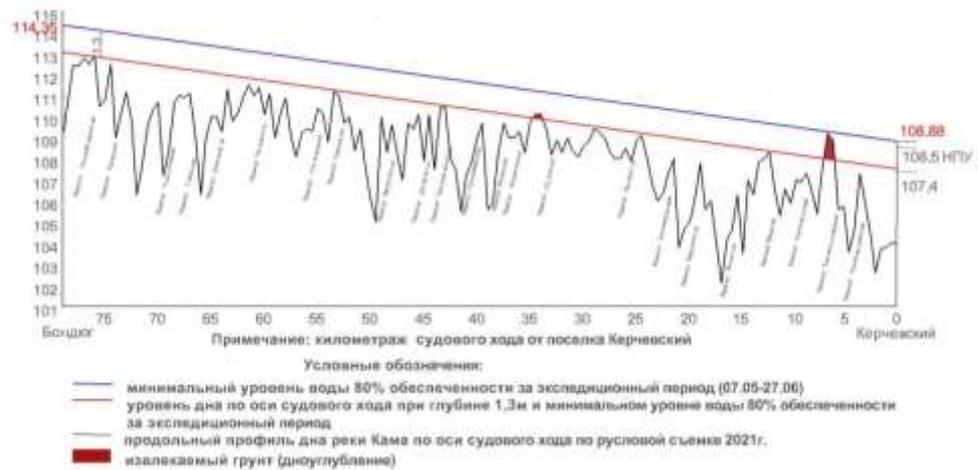


Рис. 4. Положение расчетных уровней воды 80% обеспеченности и линии дна для создания гарантированной глубины на участке Бондюг – Керчевский в продленном экспедиционном периоде

Оценка других условий создания судоходных глубин на Верхней Каме показывает, что полученная расчетом максимальная судоходная глубина (в нашем случае 2,28 м) является гидравлически допустимой с точки зрения морфометрических и гидравлических характеристик реки и назначенная гарантированная глубина на участке $T_{Г} = 1,3$ м этому не противоречит.

В результате выполненного анализа русловых переформирований и причин деформации русла р. Кама от с. Бондюг до г. Соликамск определены основные тенденции его развития по участкам в рассматриваемых границах и интенсивность русловых деформаций, приведена характеристика затруднительных для судоходства участков от с. Бондюг до г. Соликамск, в числе которых рассмотрены и оценены с точки зрения трудностей для судоходства имеющиеся перекаты.

Выполненный анализ русловых деформаций, вызывающих затруднения для судоходства, использован в дальнейшем для разработки рациональных вариантов улучшения судоходных условий, связанных с обоснованием положения судового хода и его габаритов, целесообразностью применения выправительных сооружений, строительства береговых гидротехнических сооружений и др.

Изменение уровня режима реки является основным фактором, влияющим на судоходные глубины на участке и их обеспечение.

В продленном периоде экспедиционного вывода плотов (базовый вариант) глубины на участке на время t определяются:

$$T_{\text{экс } t} = T_{Г} + \Delta T_t \quad (3)$$

где $T_{\text{экс } t}$ – навигационная глубина в экспедиционном периоде на текущее время t , м;

$T_{Г}$ – гарантированная (проектная) глубина на участке (минимальная на конец экспедиционного периода), м. Принята $T_{Г} = 1,3$ м;

ΔT_t – приращение навигационной глубины на текущее время t относительно гарантированной (проектной) глубины, м.

Поскольку достижение гарантированной глубины установлено на конец экспедиционного периода, характеризующегося высотной отметкой уровня воды

заданной обеспеченности, то приращение ΔT_t определяется разницей высот уровней на текущее время ($H_{abc t}$) и на конец периода (27 июня) $H_{abc27.06}$.

$$\Delta T_t = H_{abc t} - H_{abc27.06} \quad (4)$$

Обоснование минимальных навигационных глубин на участке производится в следующей последовательности:

1) строятся графики минимальных навигационных глубин по гидропостам в соответствии с (3), (4).

2) глубины на участке определяются по минимальным глубинам на опорных гидропостах. По результатам расчетов применительно к участку Бондюг – Керчево, глубина на участке в период с 7 мая по 27 мая лимитируется глубинами на посту Керчевский, с 27 мая по 27 июня – глубинами на посту Бондюг. Поэтому глубина на участке ограничивается нижними ветвями огибающих кривых глубин по гидропостам и в целом по участкам Бондюг – Керчево, Керчево – Тюлькино она показана на рис. 5. По результатам его построения разработан график рекомендуемого использования плотовых составов с разными параметрами для прохождения участков в течение экспедиционного периода (рис. 6).

Для построения графика назначены варианты плотовых составов с разными осадками в зависимости от лимитирующего звена в составе (буксир-плотовод или плот). Осадка буксира принимается равной 1,0 м (буксир мощностью 300 л.с.) или 1,5 м (буксир мощностью 600 л.с.), а глубина с учетом запаса воды под днищем и других факторов $\Delta T_{пл} = 0,3$ м (формула (1)) соответственно 1,3 и 1,8 м. Осадка буксируемого плота в этом случае изменяется от 1 м до 1,5 м. При осадке плота от 1,5 м до 2 м с учетом запаса воды глубина на участке должна составлять от 1,8 м до 2,3 м. Таким образом, граничные значения минимальных глубин, привязанных к схеме формирования плотового состава, принимаются равными 1,3 м; 1,8 м; 2,3 м (дополнительно принята граничная глубина 1,6 м для более точного построения графика). Дата наступления граничного значения для каждого участка отыскивается интерполированием между двумя смежными датами, в интервал времени между которыми попадает граничное значение минимальной глубины. Дата граничного значения глубины и продолжительность ее поддержания приведены в таблице 2.

По датам наступления граничных значений минимальных глубин на участках строятся кривые, ограничивающие области рекомендуемого использования плотовых составов в экспедиционном периоде при поддержании гарантированной глубины $T_T = 1,3$ м.

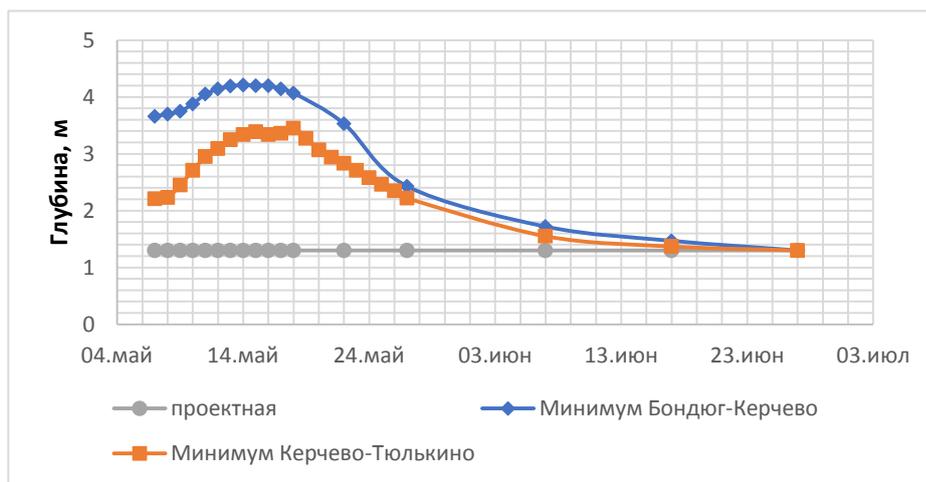


Рис. 5. Минимальные навигационные глубины по участкам Верхней Камы

Таблица 2

Временные параметры граничных значений минимальной глубины на участках

Граничные значения минимальной глубины, м	Бондюг - Керчевский		Керчевский - Тюлькино	
	Дата наступления глубины	Продолжительность поддержания глубины, сут.	Дата наступления глубины	Продолжительность поддержания глубины, сут.
1,3	27 июня	51	27 июня	51
1,6	12 июня	36	6 июня	29
1,8	7 июня	31	3 июня	26
2,3	29 мая	22	26 мая (спад уровня)	18
2,2 – 2,3	–	–	8 мая (подъем уровня)	1

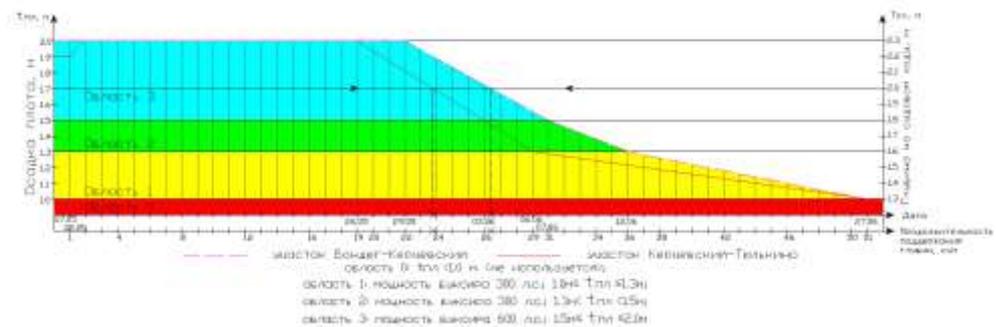


Рис. 6. График рекомендуемого использования плотовых составов для прохождения участков в экспедиционном периоде

На графике показаны области использования плотовых составов в зависимости от осадки буксира – плотовода, плота и глубины участка. Например, при осадке плота 1,7 м и минимальной глубине не менее 2,0 м (область III) проводка плотового состава за буксиром мощностью 600 л.с. целесообразна на участке Бондюг – Керчевский с 7 мая по 4 июня продолжительностью 27 сут, на участке Керчевский – Тюлькино с 7 мая по 31 мая продолжительностью 24 сут. Такой подход создает условия для разработки плановых графиков вывода плотов на исследуемом участке Верхней Камы и решения организационных вопросов.

Обсуждение

Обсуждению могут подлежать вопросы методического подхода обоснования обеспеченностей проектных уровней по опорным гидропостам, который в предложенном варианте нацелен на назначение обеспеченности отметок уровней воды, а не их продолжительности и по которому отметки будут выдерживаться практически весь рассматриваемый период навигации.

Заключение

Приведены результаты исследования уровенного и руслового режимов р. Кама на участке от с. Бондюг до г. Соликамск с обоснованием отметок проектных уровней на гидропостах Бондюг, Керчевский, Тюлькино и габаритов судового хода по глубине с 226

оценкой возможности установления ее гарантированной величины. Произведено обоснование гидравлически допустимой глубины на участке с. Бондюг – пгт. Тюлькино, выполнен анализ русловых переформирований и причин деформации русла р. Кама на исследуемом участке, вызывающих затруднения для судоходства.

Основные полученные результаты исследования:

1. Низкая обеспеченность существующего условного (проектного) уровня на гидропостах не создает условий для транспортного освоения участка с. Бондюг – пгт. Тюлькино за пределами экспедиционного периода вывода плотов с Верхней Камы, который в практических условиях длится при высокой воде до 25 сут. с начала физической навигации обычно до конца мая. За этот период необходимо вывести плоты зимней сплотки разного объема с осадкой 1-2 м.
2. Анализ грузопотоков на исследуемом участке показал, что объем вывода плотов с Верхней Камы за период 1999-2021 гг. доходил в отдельные годы до 500 тыс.м³, а потенциальные объемы могут быть увеличены до 900 тыс.м³ – 1,1 млн.м³. Это потребует при существующем сокращении буксирной тяги у перевозчиков увеличения продолжительности периода вывода леса в плотах в два раза (около 50 сут), что принято в качестве базового варианта продления периода экспедиционного вывода плотов с Верхней Камы.
3. Для достижения возможности продления периода экспедиционного вывода плотов произведено обоснование значений обеспеченности расчетных (проектных) уровней воды на участке по признаку класса пути, устанавливаемого с учетом гарантированных габаритов пути и габаритов плотового состава. Гарантированная глубина на участке принята для базового варианта по лимитирующему периоду (при падении уровней в продленный период экспедиционного вывода плотов) и параметрам плотового состава в нем, равной 1,3 м.
4. Расчет обеспеченностей уровней воды по гидропостам произведен при обработке многолетних статистических рядов через определение эмпирической обеспеченности уровней по принятой в гидрологических расчетах методике с установлением высотных отметок проектных уровней.
5. Укрупненный анализ соотношения положения свободной поверхности воды при проектных уровнях на гидропостах для разных временных периодов и линии дна по оси судового хода (руслевая съемка 2021 г.) показывает, что на участке Бондюг – Керчевский в продленном экспедиционном периоде лимитируют достижение гарантированной глубины 1,3 м два переката. На участке Керчевский – Тюлькино гарантированная глубина 1,3 м выдерживается в экспедиционном периоде без разработки перекатов.
6. Для продленного периода экспедиционного вывода плотов определены глубины при проектном уровне на конкретное время в периоде, по которым построены графики навигационных глубин по гидропостам Бондюг, Керчевский, Тюлькино и по участкам Бондюг – Керчево, Керчево – Тюлькино. На их основе разработан график рекомендуемого использования плотовых составов разных типоразмеров при разной мощности буксиров для прохождения участков в течение экспедиционного периода и решения организационных вопросов при логистическом сопровождении плотовых перевозок.

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. Правила содержания судовых ходов и судоходных гидротехнических сооружений (проект – официальный сайт Минтранса РФ)
<http://mintrans.gov.ru/activities/101/123/125/documents>
5. ГОСТ 26775-97. Межгосударственный стандарт. Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования. М. Введ. в действие с 01.01.1998 г. постановлением Госстроя России от 29.07.97 №18-42.
6. Правила плавания по внутренним водным путям Российской Федерации. – М. По Волге. – Рконсульт, 2003. – 128 с.
7. Правила содержания судовых ходов и судоходных гидротехнических сооружений. Утв. Приказом Минтранса РФ от 08.04.2010 №113. Зарегистрировано в Минюсте РФ от 09.06.2020 № 58613.
8. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Актуализированная редакция СНиП 2.01.14-83 [текст] / Минрегион России. – Введ. 2004-01-01.-М. Госстрой России, 2004.-75 с.
9. Гришанин К.В. Сорокин Ю.И. Гидрология и водные изыскания. Учебник для вузов / Под ред. К.В. Гришанина. – М. Транспорт, 1982. – 212 с.
10. 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.
11. Руководство по улучшению судоходных условий на свободных реках // С. Петербург, 1992. – 312 с.
12. Руководство по методам расчета планирования и оценки эффективности путевых работ на свободных реках // М.: Транспорт, 1978. – 104 с.
13. Маккавеев Н.И. Руслевой режим рек и трассирование прорезей. / Н.И. Маккавеев. – М.: Речиздат, 1949 г. – 202 с.
14. Воронина Ю.Е. Обоснование понятия гидравлически допустимой глубины. Вестник ВГАВТ. «Судовождение и безопасность плавания, водные пути, гидротехнические сооружения и экологическая безопасность судоходства». / Ю.Е. Воронина. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2007. – Вып. 23. – с. 62-64.
15. Воронина Ю.Е. Канализирование русла реки в результате интенсивных дноуглубительных работ (На примере участка реки Волги Горьковская ГЭС - Н. Новгород) Труды МГУ «Динамика потоков и эрозионно-аккумулятивные процессы» / Ю.Е. Воронина. – М.: МГУ, 2000. – с. 83-87.
16. Руководство по проектированию коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках свободных рек. – Л.: Транспорт, 1974. – 312 с
17. 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.
18. Чалов Р.С. Показатели устойчивости русла, их использование для оценки интенсивности русловых деформаций и пути совершенствования // Динамика русловых потоков / Р.С. Чалов – Л.: 1983.
19. Воронина Ю.Е. Трансформация поперечного сечения русла в условиях интенсивных дноуглубительных работ. Материалы научно-технической конференции посвященной 70-летию академии. Труды ВГАВТ. / Ю.Е. Воронина. – Н.Новгород: ВГАВТ, 2000. – Вып. 292. Часть 4. – с. 101-105.
20. 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.
21. 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. Pravila soderzhaniya sudovykh khodov i sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii (proekt – ofitsial'nyi sait Mintransa RF) [Rules for the maintenance of ship passages and navigable hydraulic structures (project – official website of the Ministry of Transport of the Russian Federation)] <http://mintrans.gov.ru/activities/101/123/125/documents>
5. GOST 26775-97. Mezhgosudarstvennyi standart. Gabarity podmostovye sudokhodnykh proletoz mostov na vnutrennikh vodnykh putyakh. Normy i tekhnicheskie trebovaniya. [Interstate standard. The dimensions of the scaffolding of navigable bridge spans on inland waterways. Norms and technical requirements] M. Vved. v deistvie s 01.01.1998 g. postanovleniem Gosstroya Rossii ot 29.07.97 №18-42.
6. Pravila plavaniya po vnutrennim vodnym putyam Rossiiskoi Federatsii [Rules of navigation on inland waterways of the Russian Federation]. – М. Po Volge. – Rkonsul't, 2003. – 128 s.
7. Pravila soderzhaniya sudovykh khodov i sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. Utv. Priказом Mintransa RF [Rules for the maintenance of ship passages and navigable hydraulic structures. Approved. By order of the Ministry of Transport of the Russian Federation] ot 08.04.2010 №113. Zaregistrirvano v Minyuste RF ot 09.06.2020 № 58613.
8. SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Determination of the main calculated hydrological characteristics]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 2.01.14-83 [tekst] / Minregion Rossii. – Vved. 2004-01-01.-M. Gosstroi Rossii, 2004.-75 s.
9. 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.
10. 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.
11. Rukovodstvo po uluchsheniyu sudokhodnykh uslovii na svobodnykh rekakh [Guidelines for improving navigable conditions on free rivers] // S. Peterburg, 1992. – 312 s.
12. 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.
13. Makkaveev N.I. Ruslovoi rezhim rek i trassirovanie prorezei [Riverbed regime and slot tracing] / N.I. Makkaveev. – М.: Rechizdat, 1949 g. – 202 s.
14. Voronina YU.E. Obosnovanie ponyatiya gidravlicheski dopustimoi glubiny [Substantiation of the concept of hydraulically permissible depth]. Vestnik VGAVT. «Sudovozhdenie i bezopasnost' plavaniya, vodnye puti, gidrotekhnicheskie sooruzheniya i ehkologicheskaya bezopasnost' sudokhodstva». / YU.E. Voronina. – N. Novgorod: Izd-vo FGOU VPO «VGAVT», 2007. – Vyp. 23. – s. 62-64.
15. Voronina YU.E. Kanalizirovanie rusla reki v rezul'tate intensivnykh dnouglubitel'nykh rabot (Na primere uchastka reki Volgi Gor'kovskaya GEHS - N. Novgorod) [Channeling of the riverbed as a result of intensive dredging (On the example of the section of the Volga river Gorkovskaya HPP - N. Novgorod)] Trudy MGU «Dinamika potokov i ehrozionno-akkumul'yativnye protsessy» / YU.E. Voronina. – М.: MGU, 2000. – s. 83-87.
16. Rukovodstvo po proektirovaniyu koren'nogo 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
17. 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. – M.: Transport, 1981. – 36 s.
 18. Chalov R.S. Pokazateli ustoichivosti 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.
 19. Voronina YU.E. Transformatsiya poperechnogo secheniya rusla v usloviyakh intensivnykh dnouglubitel'nykh rabot [Transformation of the cross-section of the riverbed in conditions of intensive dredging]. Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii posvyashchennoi 70-letiyu akademii. Trudy VGAVT. / YU.E. Voronina. – N.Novgorod: VGAVT, 2000. – Vyp. 292. Chast' 4. – s. 101-105.
 20. 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 ruslovykh protsessov». / YU.E. Voronina. – M.: MGU, 2002. – s. 76-81.
 21. Voronina YU.E. Ruslovykh deformatsii na uchastke nizhnego b'efa Chaikovskogo shlyuza [Channel deformations on the section of the lower reaches of the Tchaikovsky lock]. Ehrroziionnye, ruslovykh i ust'evykh protsessy (issledovaniya molodykh uchenykh universitetov) [sbornik statei po materialam KHI seminarov molodykh uchenykh vuzov, ob'edinyayemykh sovetom po probleme ehroziionnykh, 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

Ситнов Александр Николаевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Водных путей и гидротехнических сооружений», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: stnv1952@rambler.ru

Кочкурова Наталия Викторовна, 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: kochkurovanataly@mail.ru

Alexander N. Sitnov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: stnv1952@rambler.ru

Natalia V. Kochkurova, 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: kochkurovanataly@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28.04.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 28.04.2022; published online 20.09.2022.

УДК 627.8:624.145.4

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.296>

Беззаторный пропуск льда через гидроузлы в эксплуатационный период

Н. Н. Фомичева¹

<https://orcid.org/0000-0003-1278-3199>

В.Н. Кофеева¹

<https://orcid.org/0000-0002-7361-7947>

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

Аннотация. Актуальной на сегодняшний день остается задача обеспечения беспрепятственного прохождения льда во время весеннего ледохода через гидротехническое сооружение. Обеспечение беззаторного пропуска весеннего льда может быть достигнуто устройством конструкций, которые создают такие гидродинамические условия, при которых происходит разлом льдин на более мелкие. В работе поставлена цель: получения теоретических решений по определению сил, действующих на льдину при её прохождении через перепад; изгибающих моментов, создающих условия разлома льдин. Выделены и рассмотрены основные схемы прохождения льдины через сосредоточенный перепад. Получены решения по расчёту разлома. Определены архимедовы силы для всех пяти схем движения льдины. Получены уравнения для расчёта изгибающих моментов относительно произвольно выбранного сечения, дифференцирование которых даёт зависимость по определению расстояния до опасного сечения. Вводя некоторые допущения, разработан приближённый метод расчёта разлома льдин в любом сечении. Для создания сосредоточенного перепада предлагается устройство сооружения перед основным гидроузлом; конструкция подтверждена авторским свидетельством.

Ключевые слова: беззаторный пропуск льда; сосредоточенный перепад; низконапорные гидроузлы; разлом ледяных полей.

Non-congestion ice passage through hydraulic units during the operational period

Nyailya N. Fomicheva¹

<https://orcid.org/0000-0003-1278-3199>

Vera .N. Kofeeva¹

<https://orcid.org/0000-0002-7361-7947>

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

Abstract. The task of ensuring unhindered ice passage during the spring ice drift through hydraulic structures remains relevant today. Non-congestion passage of spring ice can be achieved by installation of structures that create such hydrodynamic conditions under which ice floes break into smaller ones. The aim of the research is to obtain theoretical solutions for determining the forces acting on an ice floe when passing through a drop; the bending moments that create conditions for breaking ice floes. The main schemes of ice floe passage through the concentrated drop are highlighted and examined. Solutions for calculating the ice break have been obtained. The Archimedean forces are determined for all five schemes of ice floe movement. The authors have obtained the equations for calculating bending moments relative to a randomly selected section, the differentiation of which gives a dependence on the determination of the distance to the dangerous section. Introducing some assumptions, an

approximate method for calculating the ice floes split in any section has been developed. To create a concentrated drop, it is proposed to build a structure in front of the main hydro unit; the design is confirmed by the author's certificate.

Keywords: uncontrolled ice passage; concentrated drop; low-pressure hydroelectric power plants; ice field fault.

Введение

Возведение гидротехнических сооружений на реках меняет их естественный гидрологический режим. На реках в условиях сурового климата могут возникать факторы, способствующие формированию заторов в весенний период. Заторы относятся к опасным явлениям, вызывающим затопление территории [1,2]. Поэтому проектирование гидроузлов должно выполняться с учётом пропуска льда.

Анализ и обобщение опыта пропуска льда на строящихся и построенных гидроузлах, теоретические разработки и развитие исследований по изучению прочностных свойств льда в весенний период, учёт гидродинамических процессов дают возможность грамотно и обоснованно компоновать ледобросные сооружения [3,4,5].

Однако предварительные расчёты показали, что ширина пролётных сооружений многих гидроузлов составляет от 5 до 12 метров. В таких случаях необходимо в эксплуатационный период предусматривать мероприятия по временному задержанию ледохода, уменьшению прочности и толщины ледяного покрова перед вскрытием, что ведёт к увеличению затрат при эксплуатации сооружений.

В связи с поставленной задачей следует рассмотреть новое конструктивное решение гидроузла, обеспечивающего успешный пропуск льда. Аналогом может служить схема пропуска льда в строительный период через не полностью разобранный перемычку, где формируется сосредоточенный перепад уровней.

Как показали исследования, мелкие льдины беспрепятственно проходят в нижний бьеф, заторных явлений перед сооружением и выше сосредоточенного перепада не наблюдалось. Таким конструктивным решением может служить создание вспомогательного порога, на котором формируется сосредоточенный перепад, способствующий разлому ледяных полей и пропуску отдельных льдин в нижний бьеф.

Успешный пропуск льда зависит от многих факторов, один из главных – размер льдины вдоль потока. Чем он меньше, тем при более узких пролётах возможен пропуск льда. Натурные наблюдения на р. Онеге и р. Иртыше показали, что длина льдин вдоль потока составляет от 30 до 50 метров. Пропуск их возможен при ширине пролётных отверстий от 20 до 24 м [6]. Поэтому целесообразно создать выше основного сооружения сосредоточенный перепад. Льдина, двигаясь через этот перепад испытывает напряжения. Если эти напряжения оказываются больше предела прочности, то льдина ломается.

Целью работы является получение теоретических решений для определения сил, действующих на перемещающуюся в потоке льдину и изгибающих моментов, возникающих в любом произвольно выбранном сечении. Предлагается конструкция низконапорного гидроузла, обеспечивающего беспрепятственный пропуск льда в эксплуатационный период. Рассматривается движение твердого тела, погруженного в жидкость.

Материалы и методы

Использование расчётно-теоретического метода ранее представлено в работах [7,8]. Также определённый интерес представляют методы, в которых учитываются динамика движения льдины и потока [9]. В изложенных методах учитываются силы, действующие на льдину со стороны потока, сила Архимеда, вес льдины и инерционные силы.

Проектируя действующие силы на оси M и N (рис.1), получим

$$\left. \begin{aligned} F_{\tau}^{(ui)} &= -\sum_{i=1}^n F_{ai} \sin \alpha + F_g \sin \alpha + F_T \cos(\alpha - \varphi) + F_i \sin(\alpha - \varphi); \\ F_i^{(ui)} &= \sum_{i=1}^n F_{ai} \cos \alpha - F_g \cos \alpha + F_T \sin(\alpha - \varphi) - F_i \sin(\alpha - \varphi). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

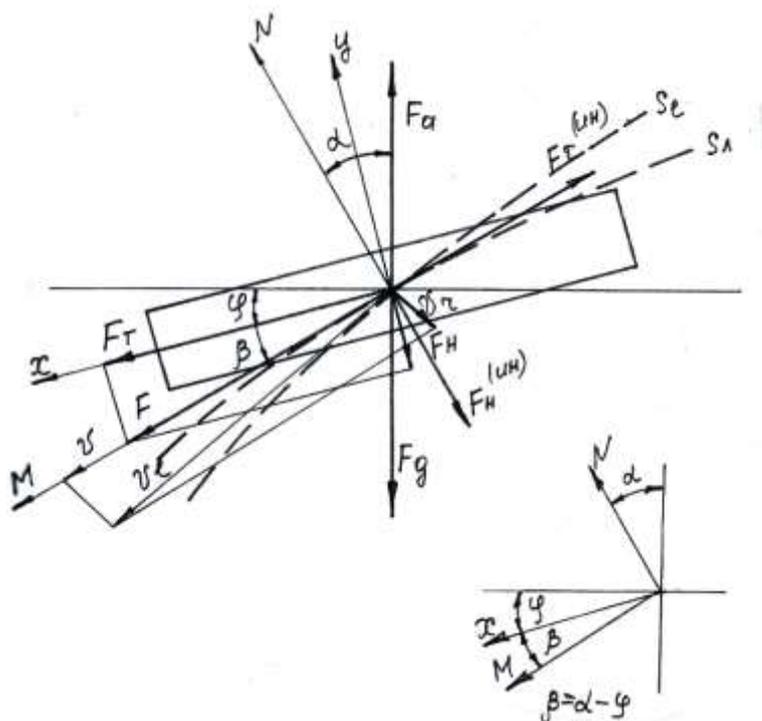


Рис. 1 Расчётная схема. Нагрузки, действующие на льдину

Значение архимедовой силы F_a определится по зависимости:

(2)

$$\sum_{i=1}^n F_{ai} = \rho_b \cdot g \cdot B \sum_{i=1}^n S_i, \quad (2)$$

где ρ_b – плотность воды;
 g – ускорение силы тяжести;

$\sum_{i=1}^n S_i$ – площадь части льдины, погруженной в воду, определяется как сумма площадей $S_1 + S_2 + \dots + S_n$ в зависимости от положения льдины на перепаде.

В процессе движения льда через сосредоточенный перепад можно выделить пять основных схем (рис.2). На схеме 1 передний торец льдины прошел сосредоточенный перепад и находится на расстоянии l , от оси ξ . Верхняя кромка переднего торца возвышается над свободной поверхностью воды в нижнем бьефе на величину C . Верхняя поверхность льдины не касается воды.

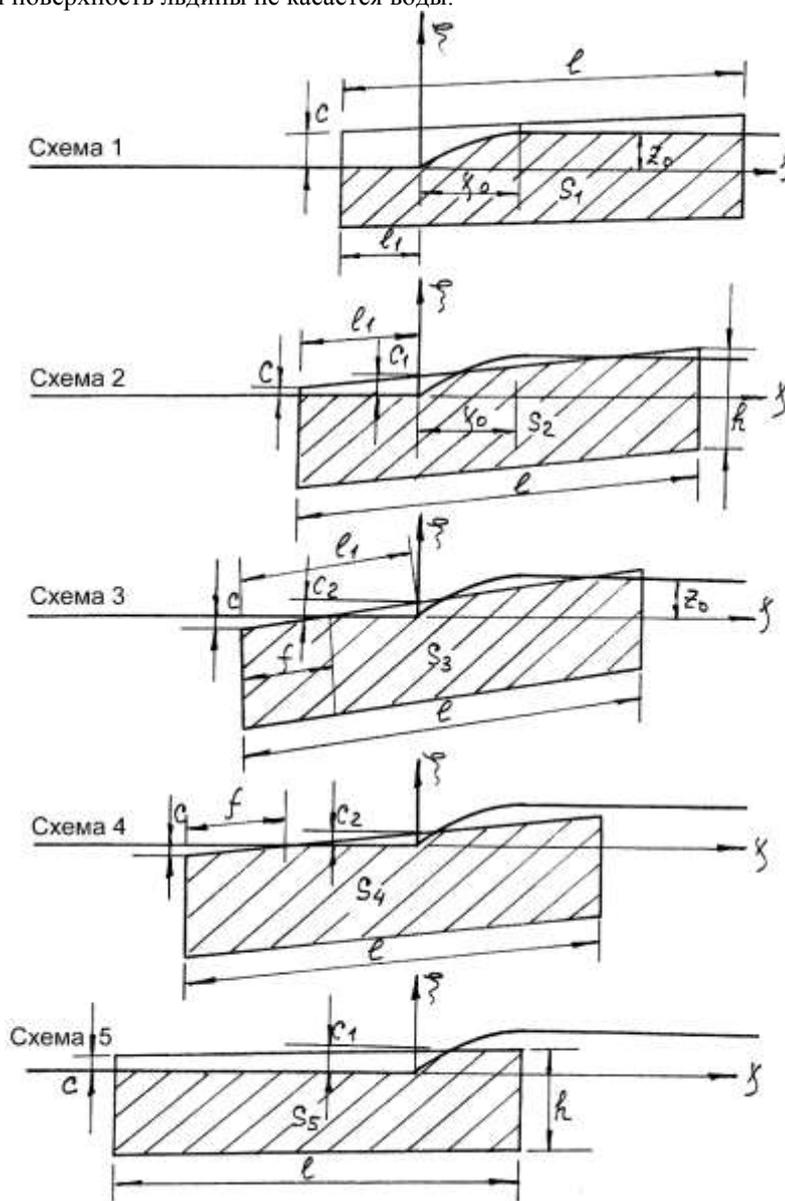


Рис. 2. Схемы движения льдины через сосредоточенный перепад

На схеме 2 – верхняя поверхность льдины в районе сосредоточенного перепада пересекается со свободной поверхностью воды в двух местах. На схеме 3 – расстояние от переднего торца льдины до точки пересечения верхней её поверхности со свободной поверхностью воды в нижнем бьефе равно f .

Согласно схемам, в напряженном состоянии могут находиться верхние, нижние слои льда или одновременно оба слоя. В процессе движения льдины, как внутри схемы, так и переходе одной в другую, меняется архимедова сила. Согласно (2) определение этих сил сводится, в основном, к отысканию площади продольного сечения льдины, погруженного в воду.

В системе уравнений (1) неизвестными остаются величины: угол наклона льдины φ и глубина погружения верхней части торца льдины C , которые определяются подбором.

Результаты

Полный комплекс выполненных теоретических исследований позволил получить уравнения для расчёта изгибающих моментов относительно произвольно выбранного сечения:

$$M = \cos \varphi \sum_{i=1}^n F_{ai} \cdot x_i + \frac{1}{2} F_{\tau}^{(ui)} \cdot x \sin \alpha - \frac{1}{2} F_g \cdot x \cos \varphi - \frac{1}{2} F_i \cdot x \cos(\alpha - \varphi) - \frac{1}{2} F_i^{(ui)} \cdot x \cos \alpha, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n F_{ai} \cdot x_i = \rho_b g B \sum_{i=1}^n S_i x_i$;

x_i – расстояние от центра тяжести элементарной площадки, погруженной в воду части льдины до рассматриваемого сечения.

Дифференцируя уравнение (3) по x и приравнивая его к нулю, получаем зависимость, по которой можно определить расстояние до опасного сечения.

Приближенный метод расчёта изгибающих моментов и расстояния до опасного сечения предполагает следующие допущения: действительная плавная кривая спада заменяется сосредоточенным перепадом; влияние инерционных сил не учитывается.

В результате получаем уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n F_{ai} &= F_g; \\ \sum_{i=1}^n F_{ai} \cdot l - \frac{1}{2} F_g \cdot l &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Значение момента архимедовой силы определится как

$$\sum_{i=1}^n F_{ai} \cdot l = \rho_b g B \sum_{i=1}^n S_{oi} \cdot l. \quad (5)$$

Значение изгибающего момента относительно выбранного сечения:

Обсуждение

В период эксплуатации гидротехнические сооружения подвергаются воздействию ледяных полей, которые вызывают повреждения отдельных элементов конструкций. В верхнем бьефе низконапорных гидроузлов могут наблюдаться заторные явления, приводящие к значительному повышению уровня. Для обеспечения пропуска льда в эксплуатационный период применяются различные технологические мероприятия. В данной работе предлагается использовать конструктивный метод решения проблемы. Разработаны конструкции в виде вспомогательного порога, обеспечивающая разлом ледяных полей на мелкие льдины и беспрепятственный пропуск его в нижний бьеф; предлагаемые конструкции защищены авторскими свидетельствами [10]. Одно из сооружений представлено на рис.4.

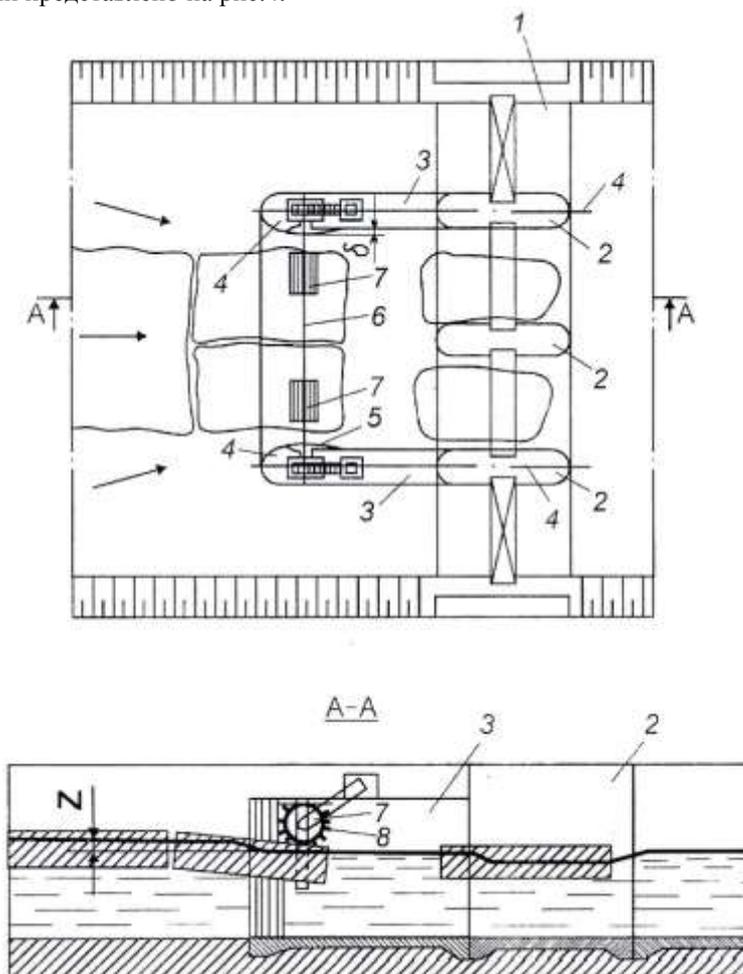


Рис. 4. Схема конструкций, обеспечивающая пропуск льда через гидросооружение.
1 – водослив; 2 – бычки; 3 – стенки; 4 – оголовки бычков; 5 – водоворотная зона шириной δ ; 6 – вал; 7 – полые барабаны; 8 – зубья

Сооружение для пропуска льда, показанное на рисунке 4 и схема его работы описаны в бюллетене изобретений [10].

Таким образом, достигнуты поставленные цели: предложена конструкция, обеспечивающая пропуск льда; разработан теоретический метод расчёта разлома льдин на сосредоточенном перепаде.

Заключение

1. Выделены основные схемы прохождения льдины через сосредоточенный перепад.
2. Определены архимедовы силы, действующие на льдину, для этих расчётных схем.
3. Разработан приближенный метод расчёта сил, действующих на отдельную льдину во время прохождения сосредоточенного перепада и изгибающего момента, возникающих в любом сечении для всех рассмотренных схем.
4. Разработана конструкция вспомогательного порога, устройство которого перед основным водосливом позволит создать перепад уровней и тем самым будет способствовать разлому ледяных полей и успешному пропуску льда.

Список литературы

1. *Болгов Н. В., Борщ С. В., Хазиахметов Р. М.* Опасные гидрологические явления: методы анализа, расчета и прогнозирования, смягчение негативных последствий. // Тезисы докладов. VII Всероссийский гидрологический съезд. СПб. 2013. С.6-12.
2. *Gelfan A., Gustafsson D., Motoviliv Y., Arheimer B., Kalugin A., Krylenko I., Lavrenev A.* Climate change impact on the water regime of two great Arctic rivers: modeling and uncertainty issues. *Clim Change*. 2017. Vol.141, pp.449-515. Doi 10.1007/s10584-016-1710-5.
3. *Панфилов Д. Ф.* Разрушение ледяных полей под влиянием местных изменений уровня воды // Гидротехническое строительство. 1965. № 12. С. 21–25.
4. *Коржавин К. Н.* Пропуск льда при строительстве и эксплуатации гидроузлов. М.: Энергия. 1973. 160 с.
5. *Fomicheva N. N.* The constructions, which provide passing of ice through low-pressure waterworks in spring period / Science. Education. Practice: materials of the International University Science Forum (Canada, Totonto). May 27. 2020. Infinity Publishing. pp. 225-231. Doi: 10.34660/INF.2020.23.42.001.
6. *Фомичев Б. С., Фомичева Н. Н., Кротов С. А.* Натурные исследования прочности льда Новосибирского водохранилища // Материалы Международной научно-практической конференции. Пермь: Пермский государственный университет. 2008. С.113-118.
7. *Fomicheva N., Panov D., Kalashnikov A.* Studies of the movement of ice through low-pressure waterwork. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Doi: 10.1088/1742-6596/2131/3/032072.
8. *Fomicheva N., Heckert E., Modina M., Beryoza I.* Calculation of the fracture of the ice fields at a concentrated drop. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Doi: 10.1088/1755-1315/867/1/012005.
9. *Циликин В. Ф.* Моделирование пропуска льда при проведении лабораторных гидравлических исследований // Исследования и расчёты заторов льда, вопросы ледотермики и гидродинамики. Л.: Гидрометеиздат. Вып.192. 1972. С.30-36.
10. Авторское свидетельство №1476061 – Сооружение для пропуска льда через гидротехническое сооружение. Фомичева Н. Н. – опубл. В БИ. 1989. №6.

References

1. *Bolgov N. V., Borshch S. V., Khaziakhmetov R. M.* Opasnye gidrologicheskie yavleniya: me-tody analiza, rascheta i prognozirovaniya, smygachenie negativnykh posledstviy. // Tezisy dokladov. VII Vserossiiskii gidrologicheskii s"ezd. SPb. 2013. S.6-12.

2. *Gelfan A., Gustafsson D., Motoviliv Y., Arheimer B., Kalugin A., Krylenko I., Lavrenev A.* Climate change impact on the water regime of two great Arctic rivers: modeling and uncertainty issues. *Clim Change*. 2017. Vol.141, pp.449-515. Doi 10.1007/s10584-016-1710-5.
3. *Panfilov D. F.* Razrushenie ledyanykh polei pod vliyaniem mestnykh izmenenii urovnya vody // *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 1965. № 12. S. 21–25.
4. *Korzhavin K. N.* Propusk l'da pri stroitel'stve i ehkspluatatsii gidrouzlov. M.: Ehnergiya. 1973. 160 s.
5. *Fomicheva N. N.* The constructions, which provide passing of ice through low-pressure waterworks in spring period / *Science. Education. Practice: materials of the International University Science Forum (Canada, Totonto)*. May 27. 2020. Infinity Publishing. pp. 225-231. Doi: 10.34660/INF.2020.23.42.001.
6. *Fomichev B. S., Fomicheva N. N., Krotov S. A.* Naturnye issledovaniya prochnosti l'da Novosibirskogo vodokhranilishcha // *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Perm': Permskii gosudarstvennyi universitet. 2008. S.113-118.
7. *Fomicheva N., Panov D., Kalashnikov A.* Studies of the movement of ice through low-pressure waterwork. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Doi: 10.1088/1742-6596/2131/3/032072.
8. *Fomicheva N., Heckert E., Modina M., Beryoza I.* Calculation of the fracture of the ice fields at a concentrated drop. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Doi: 10.1088/1755-1315/867/1/012005.
9. *Tsilikin V. F.* Modelirovanie propuska l'da pri provedenii laboratornykh gidravlicheskih issledovaniy // *Issledovaniya i raschety zatorov l'da, voprosy ledoter-miki i gidrodinamiki*. L.: Gidrometeoizdat. Vyp.192. 1972. S.30-36.
10. Avtorskoe svidetel'stvo №1476061 – Sooruzhenie dlya propuska l'da cherez gidrotekhnicheskoe sooruzhenie. Fomicheva N. N. – opubl. V BI. 1989. №6.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Фомичева Няиля Николаевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры Водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений Сибирский Государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: ginelli@ngs.ru.

Nyailya N. Fomicheva, Ph.D in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Water Surveys, Ways and Hydraulic Structures Siberian State University of Water Transport, 33, Shchetinkina st., Novosibirsk, 630099, e-mail: ginelli@ngs.ru

Кофеева Вера Николаевна, старший преподаватель кафедры Строительного производства, конструкций и охраны водных ресурсов, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: v.n.kofeeva@nsawt.ru

Vera N. Kofeeva, Senior Lecturer of the Department of Construction Production, Structures and Protection of Water Resources, Siberian State University of Water Transport" (FSFEI HE "SSUWT"), 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: v.n.kofeeva@nsawt.ru

Статья поступила в редакцию 18.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 18.05.2022; published online 20.09.2022.

УДК 627.4, 574.65
DOI: 10.37890/jwt.vi72.297

Обоснование гидравлической возможности установления гарантированных габаритов судового хода на участке р. Кама от с. Бондюг до пгт Керчевский

М.В. Шестова¹
М.А. Решетников¹
ORCID: 0000-0002-8492-0052

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

Аннотация. Установление гарантированных габаритов судового хода требует системного подхода. Увеличение глубины водотока вызывает посадку уровня воды, что может отрицательно сказаться на уровненом режиме водного объекта и экологической обстановке региона. Для участка реки Кама от с. Бондюг до пгт. Керчевский проведены исследования возможности установления гарантированной глубины 1,3 м для экспедиционного и навигационного периодов. В рамках исследований выявлена возможность установления гарантированных габаритов на Верхней Каме от с. Бондюг до пгт. Керчевский с учетом проведения дноуглубительных и выправительных работ только на продленный экспедиционный период навигации.

Ключевые слова: гидрологический режим, гарантированные габариты, судоводные условия, дноуглубительные работы, выправительные работы, лимитирующий перекап, посадка уровня воды.

Substantiation of the hydraulic possibility of establishing guaranteed ship's course dimensions on the Kama section from the village of Bondyug to the village Kerchevsky

Marina V. Shestova¹
Maksim A. Reshetnikov¹
ORCID: 0000-0002-8492-0052

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

Abstract. The establishment of guaranteed ship's course dimensions requires a systematic approach. An increase in the watercourse depth causes water level landing, which can negatively affect the level regime of the water body and the ecological situation of the region. For the section of the Kama River from the village of Bondyug to the village Kerchevsky the authors conducted the research of the possibility of establishing a guaranteed depth of 1.3 m for the expedition and navigation periods. As part of the research, the possibility of establishing guaranteed dimensions on the Upper Kama from the village of Bondyug to the village Kerchevsky was revealed with regard to dredging and straightening works only for the extended expedition period of navigation.

Keywords: hydrological regime, guaranteed dimensions, navigable conditions, dredging, straightening, limiting rolling, landing of the water level.

Введение

Объектом исследования являлся участок р. Кама от с. Бондюг до пгт. Керчевский протяженностью 77 км (рис. 1). В настоящее время судоходство на исследуемом участке осуществляется лишь в весенний полноводный период после очищения реки ото льда. При этом участок пути используется для вывоза продуктов лесопереработки, буксировки леса в плотках в период до 25 суток. Гарантированные габариты судового хода на исследуемом участке р.Кама не установлены и не поддерживаются. При этом потенциал и потребность в увеличении объемов грузоперевозок в регионе имеется.

В ходе выполнения исследований был предложен вариант с продлением навигации до 50 суток и для этого временного промежутка были обоснованы гарантированные габариты: глубина 1,3 м, ширина 60 м, радиус закругления 600 м. В качестве проектного уровня воды был принят и обоснован расчетный уровень воды 80% обеспеченности.

Для обеспечения гарантированных габаритов судового хода на исследуемом участке был разработан комплекс путевых работ, включающий дноуглубление и возведение выправительных сооружений. При этом было выделено восемь проблемных водных узлов на следующих километрах судового хода р. Кама: 7-11, 23, 28-35, 41, 43-46, 51-53, 56 и 75-77 км. Для каждого из восьми затруднительных участков разработана схема коренного улучшения судоходных условий, включающая проведение дноуглубительных или выправительных работ.

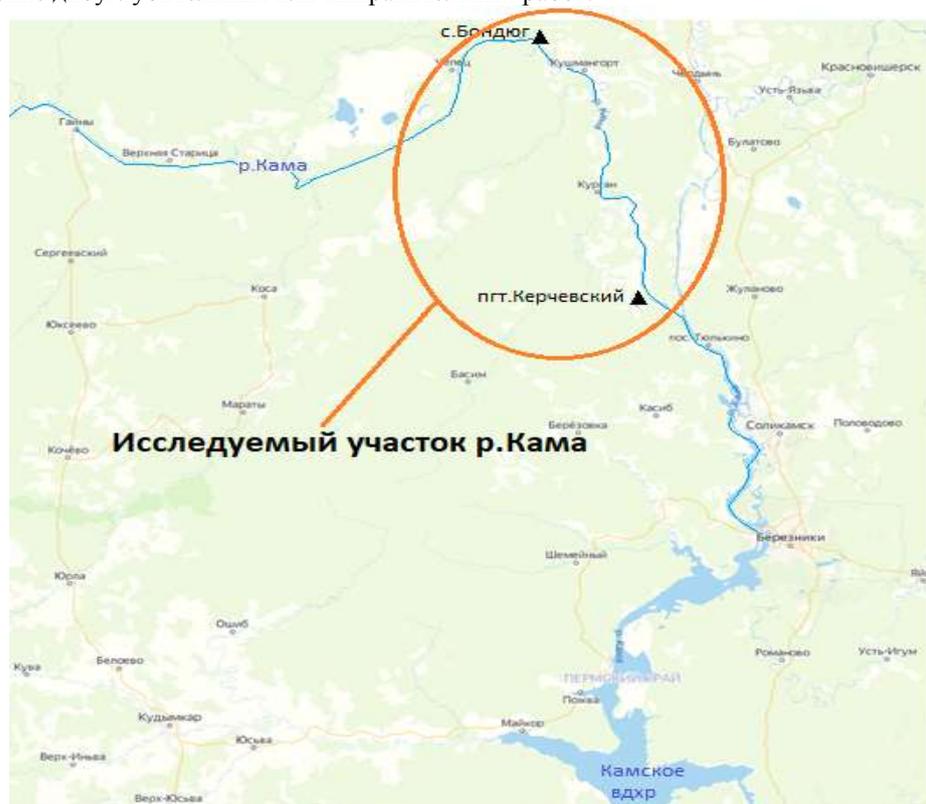


Рис. 1. Ситуационный план бассейна р. Кама

Однако определяющим в предложенном проекте улучшения судоходных условий на исследуемом участке р.Кама является обоснование гидравлической возможности установления гарантированных габаритов с учетом проведения дноуглубительных и выправительных работ и, в первую очередь, это касается прогноза возможной посадки уровня воды в пределах участка, где эти работы производятся. Оценка влияния на уровень воды в пределах участка, где эти работы производятся. Оценка влияния на уровень воды в пределах участка, где эти работы производятся. Оценка влияния на уровень воды в пределах участка, где эти работы производятся.

- 1 - гарантированные габариты поддерживаются в продленном экспедиционном периоде навигации (до 50 суток).
- 2 - гарантированные габариты обеспечиваются в течение всей навигации при осуществлении меженных расходов воды.

Оценка влияния дноуглубительных работ на гидрологический режим реки

В качестве исходного планового материала для выяснения конфигураций поперечных сечений русла и определения расстояний между ними были использованы планы русловых съемок, выполненные Бельским РВПиС в 2021г.

Расчетный участок реки Кама (с. Бондюг - пгт. Керчевский) общей протяженностью 77 км был разбит на расчетные участки различной длины 82 сечениями. Нумерация сечений производилась снизу вверх против течения; начальное сечение №1 расположено на 2,43 км (г/п Керчевский), а №82 – на 77км (г/п Бондюг).

Проектные габариты прорезей (глубина и ширина) назначены в зависимости от объемов извлекаемого грунта и определены по расчетным сечениям с учетом отметки уровня воды 80% обеспеченности. Параметры расчетных сечений также определялись с учетом проектируемых выправительных сооружений.

Для расчетов на всем протяжении рассматриваемого участка р. Кама от с. Бондюг до пгт. Керчевский принят постоянный расход воды, равный 238 м³/с. Данное значение было определено по кривой связи расходов и уровня воды по г/п Бондюг и соответствует уровню воды 80% обеспеченности (+70 см) в экспедиционный период навигации (рис. 2).

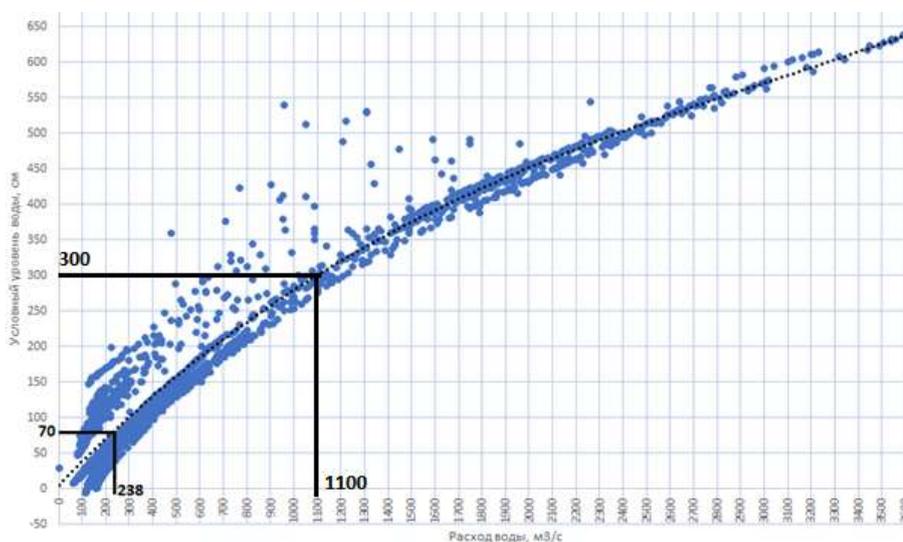


Рис. 2. Кривая зависимости уровней воды по г/п Бондюг (за период апрель-август)

Коэффициент шероховатости был определен осредненно для всего участка на основании данных гранулометрического состава донных отложений и принят равным 0,025.

Гидравлические расчеты возможной посадки уровня воды при производстве дноуглубительных и выправительных работ выполнялись по программе «Пережат», разработанной в ВГАВТ [1, 2]. Программа позволяет определить посадку уровня воды в реке на рассматриваемом участке при разработке дноуглубительной прорези, а также с учетом стеснения русла выправительными сооружениями и прохождении расчетного расхода воды. При исследовании были учтены нормативные документы и опыт предыдущих исследований [4, 5, 6, 7, 8].

Движение потока воды в реке считается установившимся. Русло реки не размывается потоком воды и не деформируется, движение потока воды в русле реки описывается дифференциальным уравнением движения:

$$\frac{dZ}{dl} - \frac{U^2}{C^2 R} - \frac{1 + \xi}{2g} \frac{\partial U^2}{\partial l} = 0 \quad (1)$$

и уравнением неразрывности потока:

$$Q = B \cdot U \cdot h, \quad (2)$$

где: Z – отметка свободной поверхности, l – продольная координата, U – скорость течения, h – средняя глубина потока в сечении, Q – расход воды, B – ширина реки по зеркалу, g – ускорение свободного падения, ξ – коэффициент местных сопротивлений, C – коэффициент Шези, R – гидравлический радиус.

Величина коэффициента местных сопротивлений на участках расширения потока определяется с использованием теоремы Борда:

$$\xi = \frac{\left[\frac{U_1}{U_2} - 1\right]^2}{1 - \left[\frac{U_1}{U_2}\right]^2}, \quad (3)$$

где: U_1 и U_2 – средние скорости течения, соответственно в верхнем и нижнем сечениях расчетного участка, в пределах которого произошло расширение потока.

Для выполнения расчетов рассматриваемый участок реки делится поперечными сечениями на расчетные участки. Длина каждого расчетного участка не должна превышать 3-4 кратной ширины реки на участке и корректируется с учетом местных условий, а именно: ширина реки на расчетном участке должна быть по возможности постоянной; площадь живого потока в поперечных сечениях по верхней и нижней границам расчетного участка должна быть, по возможности, постоянной.

Посадка уровня воды при дноуглублении (устройстве прорези) определяется по формуле:

$$\Delta Z_i = Z_{pi} - Z_{ri}, \quad (4)$$

где: Z_{pi} – отметка проектного уровня воды в расчетном створе, Z_{ri} – отметка расчетного уровня воды в расчетном створе после устройства прорези.

Отметки проектного уровня воды должны быть известны, отметки расчетного уровня воды после разработки прорези вычисляются.

Величина коэффициента шероховатости русла может определяться двумя способами, в зависимости от полноты исходных данных. При наличии данных о кривой свободной поверхности, значения коэффициента шероховатости определяются по отдельным участкам русла по формуле (5):

$$n_i = \frac{B_{cp} h_{cp}^{5/3}}{Q} \sqrt{\frac{\Delta Z - (1 + \xi) \frac{\Delta U^2}{2g}}{\Delta l_i}}, \quad (5)$$

где B_{cp} и h_{cp} – осредненные по длине участка значения ширины и средней глубины потока воды в расчетных сечениях, $\frac{\Delta U^2}{2g}$ – приращение кинетической энергии на участке, ΔZ – падение кривой свободной поверхности на участке Δl_i .

Результаты расчетов

При оценке первого варианта (гарантированные габариты поддерживаются в продленном экспедиционном периоде навигации (до 50 суток)) были получены следующие результаты. В районе с.Бондюг прогнозируемая посадка уровня воды составит 0,45 см. Максимальная величина понижения уровня воды получена на 45,7 км (по старому судовому ходу) и составляет 6,67 см. При этом прогнозируемая глубина на отдельных лимитирующих перекатах (от 1,23 до 1,29 м) меньше рекомендуемой гарантированной глубины 1,3 м. Однако максимальная осадка принятого расчетного судна в плотовом составе, работающего на перевозках по Верхней Каме в продленном периоде экспедиционного вывода плотов, составляет 1,22 м. Это дает основание для осуществления планируемых проектных работ по выправлению русла и его дноуглублению. Графическое изображение результатов расчетов положения кривых свободной поверхности воды представлены на рисунке 3.

Анализ полученных результатов показал, что резерва для дальнейшего понижения уровней воды на участке практически нет, и он исчерпан при выполнении путевых работ для достижения гарантированной глубины 1,3 м в экспедиционном периоде. Поэтому возможность установления гарантированной глубины 1,3 м в течение всей физической навигации будет определяться значением посадки уровня воды в данном периоде.

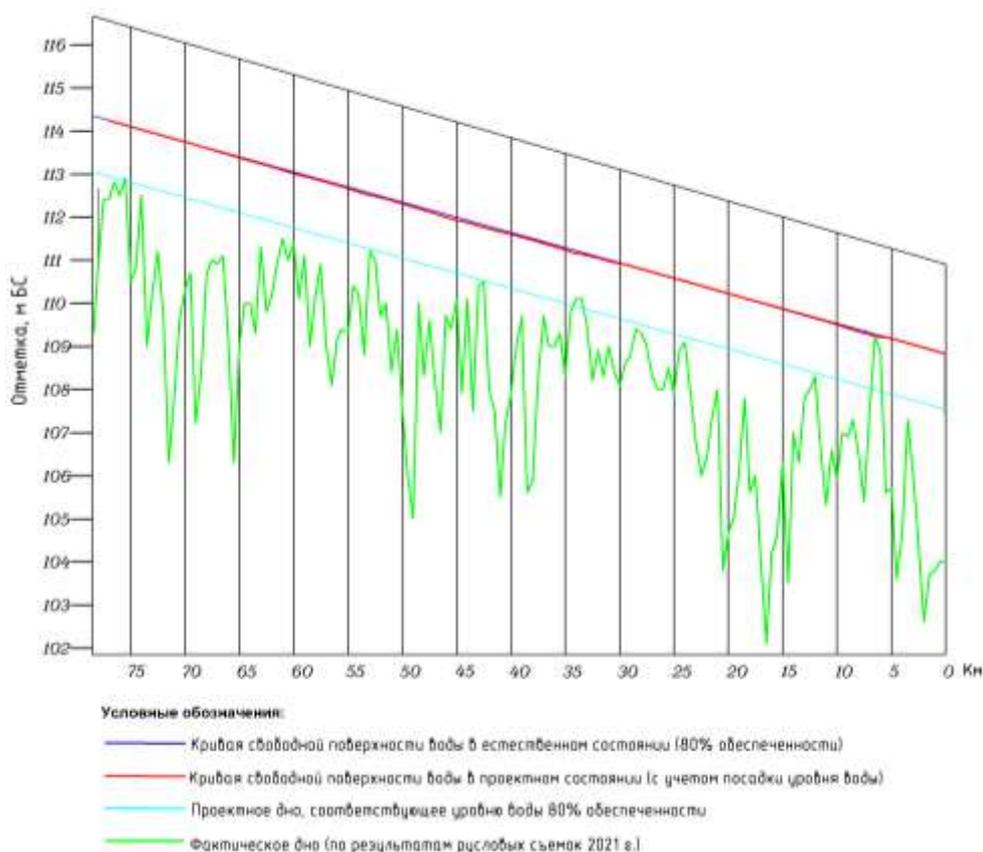


Рис. 3. Кривая свободной поверхности воды до и после выполнения дноуглубительных и выправительных работ в экспедиционный период навигации

При оценке второго варианта (гарантированные габариты обеспечиваются в течение всей навигации при осуществлении межженных расходов воды) был выполнен укрупненный расчет возможной посадки уровня воды от производства дноуглубительных работ. Предварительно объем дноуглубительных работ при этом составит порядка 785 тыс. м³ (рис. 4).

В качестве расчетной была принята кривая свободной поверхности воды с абсолютными отметками на г/п Бондюг - 113,84 мБС, на г/п Керчевский – 107,78 мБС (рис.4). Положение проектного дна на рисунке 4 определено с учетом глубины разработки, равной 1.3 м. Принятые условия соответствуют уровню и межженным расходам воды в целом по навигации.

Посадка уровня воды при выполнении дноуглубительных работ в условиях продления навигации в районе с. Бондюг составит 12,41 см. Максимальная величина посадки уровня воды прогнозируется на 45,7 км (по старому судовому ходу) и составит 38,5 см. При этом минимальные прогнозируемые глубины на лимитирующих перекатах могут составить порядка 0,93-1,15 м. В свою очередь это свидетельствуют о невозможности поддержания гарантированной глубины в течение всей навигации при межженных расходах воды.

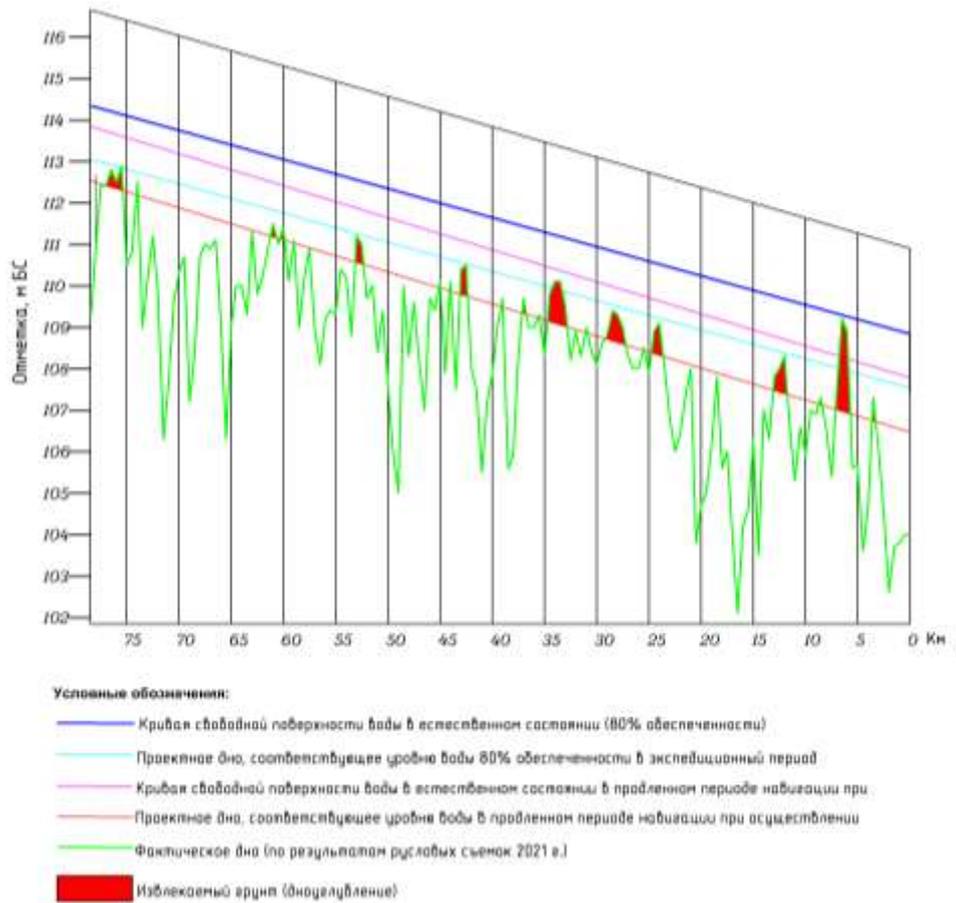


Рис. 4. Определение объемов дноуглубительных работ

Полученные результаты по достижению и поддержанию гарантированной глубины $T_c=1,3$ м на участке с. Бондюг - пгт. Керчевский в разных временных периодах показали, что рекомендуемая гарантированная глубина может быть выдержана лишь в продленном экспедиционном периоде вывода плотов, а в течение всей навигации не выдерживается.

Заключение

Таким образом, обобщая результаты выполненных исследований, сделан вывод о гидравлической возможности установления гарантированных габаритов на Верхней Каме от с. Бондюг до пгт. Керчевский с учетом проведения дноуглубительных и выправительных работ только на продленный экспедиционный период навигации и невозможности ее поддержания в течение всей навигации при осуществлении меженных расходов воды.

Вариант установления гарантированных габаритов на весь период навигации приведет к значительному росту объемов дноуглубительных работ. Их укрупненный расчет на участке р.Кама (с. Бондюг - пгт. Керчевский) при условии поддержания

гарантированной глубины в течение всей навигации показал, что полный объем дноуглубления составит порядка 785 тыс. м³.

Список литературы

1. 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.
2. Гришанин К.В. Основы динамики русловых потоков. – М.: Транспорт, 1990. 319 с.
3. СТО 52.08.31-2012. Добыча НСМ в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров /Министерство природных ресурсов и экологии РФ/. СПб, 2010 г.
4. Чалов Р.С., Павлушкин С.В., Беркович К.М. Техногенная трансформация русла р. Обь в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла и её влияние на состояние водного пути // РЕЧНОЙ ТРАНСПОРТ (XXI ВЕК). – 2021. – № 4. – С. 30-35. – ISSN 1729–4258
5. Влияние добычи НСМ на русловой режим и судоходные условия на нижней Каме // Совершенствование проектирования, реконструкции содержания воднотранспортных гидротехнических сооружений, организации производства путевых работ (Сб. Трудов ЛИВТа). – 1992. – С. 126–145.
6. Ситнов А.Н. Особенности разработки пойменных карьеров НСМ в меандрирующих руслах рек (на примере р. Белая) / А.Н. Ситнов, М.В. Шестова, Ю.Е. Воронина // Труды 22-го международного научно–промышленного форума «Великие реки – 2020». – Н. Новгород: ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – С. 42. – ISBN 978-5-901722-67-1
7. Беркович К. М. Природно-ориентированные подходы к добыче аллювиальных строительных материалов из речных русел и пойм / К. М. Беркович, Л. В. Злотина, Л. А. Турыкин // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. – 2012. – № 3. – С. 3–13. – ISSN 2412-9518
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. 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.
2. Grishanin K.V. Osnovy dinamiki ruslovykh potokov. – M.: Transport, 1990. 319 s.
3. STO 52.08.31-2012. Dobycha NSM v vodnykh ob'ektakh. Uchet ruslovogo protsessa i rekomendatsii po proektirovaniyu i ehksploatatsii ruslovykh kar'erov /Ministerstvo prirodnykh resursov i ehkologii RF/. SPb, 2010 g.
4. Chalov, R.S., Pavlushkin, S.V., Berkovich, K.M., Ruleva, S.N. "Tekhnogennaya transformatsiya rusla r. Ob' v nizhnem b'efe Novosibirskogo gidrouzla i eyo vliyanie na sostoyanie vodnogo puti" RECHNOJ TRANSPORT (XXI VEK).– 2021. – № 4. – P. 30-35. – ISSN 1729–4258
5. Vliyanie dobychi NSM na ruslovoi rezhim i sudokhodnye usloviya na nizhnei Kame // Sovershenstvovanie proektirovaniya, rekonstruktsii soderzhaniya vodnotransportnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii, organizatsii proizvodstva putevykh rabot (Sb. Trudov LIVTa). – 1992. – S. 126–145.
6. Sitnov, A.N. «Features of development of NSM floodplain quarries in meandering river beds (using the example of the Belaya river)» V sbornike: Trudy 22-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki-2020».
7. K. M. Berkovich, L. V. Zlotina, L. A. Turykin "Prirodno-orientirovannye podhody k dobyche allyuvial'nykh stroitel'nykh materialov iz rechnykh rusel i pojim" Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o zemle. – 2012. – № 3. – pp. 3–13. – ISSN 2412-9518
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

Решетников Максим Алексеевич, к.т.н.,
старший преподаватель кафедры водных путей
и гидросооружений, Волжский
государственный университет водного
транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г.
Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail:
serfskiwind@gmail.com

Maksim A. Reshetnikov Ph.D. in Engineering
Science, senior lecturer of the Department of
waterways and hydraulic structures, Volga
State University of Water Transport, 5,
Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 29.04.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 29.04.2022; published online 20.09.2022.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК 654.16

DOI: 10.37890/jwt.vi72.300

Влияние гелио-геофизической активности на надежность коротковолновой связи на транспорте

Ф.И.Выборнов¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9406-9214>

О.А.Шейнер²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5745-3308>

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

²*Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Н.И.Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Представлены результаты исследований влияния корональных выбросов массы и высокоскоростных потоков солнечного ветра на характеристики ионосферы. Для анализа используются ионосферные данные станции вертикального зондирования CADI (г. Васильсурск, Нижегородская область) и данные ЛЧМ-станций наклонного зондирования ионосферы на разных трассах Евразийского региона России: трех субавроральных (Ловозеро-Васильсурск, Соданкюля-Васильсурск и Салехард-Васильсурск) и одной среднеширотной (Горьковская, Ленинградская область-Васильсурск). Рассмотрен комплекс параметров космической погоды (тип и скорость корональных выбросов массы, высокоскоростная скорость солнечного ветра), что позволило выявить доминирующие физические связи между динамикой ионосферы и этими двумя солнечными явлениями, которые определяют надежность коротковолновой радиосвязи между морскими судами и берегом, особенно в районе северного морского пути.

Ключевые слова: космическая погода, гелиогеофизическая активность, коротковолновая радиосвязь, техносферная безопасность, морской транспорт, ионосфера, ионосферные возмущения, вертикальное зондирование, наклонное зондирование

Helio-geophysical activity impact on reliability of transport short-wave communication

Fedor I. Vybornov¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9406-9214>

Olga A. Sheiner²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5745-3308>

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

²*Radiophysical Research Institute UNN, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The results of studies of the influence of coronal mass ejections and high-velocity solar wind streams on the characteristics of the ionosphere are presented. The authors used for the analysis ionospheric data from the CADI vertical sounding station (Vasilsursk,

Nizhny Novgorod region) and data from chirp stations for oblique ionospheric sounding on different paths of the Eurasian region of Russia: three subauroral (Lovozero-Vasilsursk, Sodankyulya-Vasilsursk and Salekhard-Vasilsursk) and one mid-latitude (Gorky, Leningrad region-Vasilsursk). A set of space weather parameters (type and speed of coronal mass ejections, high-speed solar wind speed) is considered, which made it possible to reveal the dominant physical relationships between the ionospheric dynamics and these two solar phenomena, which determine the reliability of short-wave radio communication between ships and the coast, especially in the area of the northern sea way.

Keywords: space weather, heliogeophysical activity, shortwave radio communication, technosphere safety, naval transport, ionosphere, ionospheric disturbances, vertical sounding, oblique sounding

Введение

Несмотря на широкое распространение спутниковых и сотовых систем связи и глобализацию их применения, магистральная радиосвязь в коротковолновом диапазоне не только не утратила свою актуальность, но и привлекает все большее внимание. Так, например, наиболее рациональным и экономически выгодным решением задачи обеспечения автотранспорта Крайнего Севера радиосвязью является вариант коротковолновой радиосвязи. Передача данных по коротковолновым каналам связи обходится в десятки и даже сотни раз дешевле, чем их передача с помощью спутниковых систем связи.

Основным преимуществом радиосвязи является ее мобильность, способность передавать различную информацию в движении, не ограничивая свободу действий платформы, на которой установлена радиостанция: автомобиля, самолета, судна.

Сегодня корабли используют радио, радиолокационные и электронные системы для точного определения местоположения своего судна и других судов для обеспечения безопасной навигации. Они также используют радиосвязь для оперативного использования, а радиосигналы бедствия – для оповещения поисково-спасательных служб в случае чрезвычайной ситуации.

Одна из возможностей повышения эффективности КВ-радиосвязи – это применение метода наклонного зондирования ионосферы, что позволит выбирать оптимальные рабочие частоты. Коротковолновая радиосвязь, использующая дальней распространение радиоволн за счет их отражения от ионосферы, имеет недостаток, вытекающий из физической природы среды распространения радиоволн и самого принципа радиосвязи – зависимость от состояния ионосферы. Это влияние, главным образом, сводится к эффектам рефракции и запаздывания радиосигнала, приводящим к радиолокационным ошибкам измерения угла места и дальности соответственно [1]. На ионосферу Земли оказывает сильное влияние изменение гелиогеофизической обстановки: меняются критические частоты, наблюдается сильное поглощение радиоволн коротковолнового диапазона.

Согласно современным представлениям, существуют два основных сценария передачи возмущения от Солнца к магнитосфере: первый связан с корональными выбросами массы (СМЕ), второй – с корональными дырами, которые порождают высокоскоростные потоки солнечного ветра на орбите Земли (HSS) [2].

В последние годы активно изучается роль СМЕ и HSS во влиянии на степень возмущенности ионосферы [3] как среду распространения радиоволн, полностью определяющую надежность дальней коротковолновой связи, особенно в районе северного морского пути. Реакция ионосферных характеристик на корональные выбросы массы и высокоскоростные потоки солнечного ветра для отдельных мощных солнечных событий рассмотрена в [4].

В данной работе приводится анализ причин возникновения и степени ионосферных возмущений, влияющих на распространение радиоволн, по результатам экспериментальных исследований, выполненных на трассах наклонного и вертикального зондирования в центральном и северном регионе европейской части России. Проиллюстрировано влияние солнечных корональных выбросов массы и высокоскоростных потоков солнечного ветра на характеристики ионосферных возмущений.

Данные и метод

Для получения параметров ионосферной плазмы можно использовать два типа данных наземного зондирования ионосферы: вертикальное и наклонное зондирование. Данные вертикального зондирования ионосферы дают самую высокую частоту отражения, критическую частоту ионосферного слоя F2 (f^oF_2 , в МГц) при вертикальном распространении радиоволны. Метод наклонного зондирования – это метод, который позволяет в режиме реального времени получать данные о высокочастотном ионосферно-зависимом распространении радиоволн [5]. Максимальная частота, которая еще может отражаться от ионосферы на данной высоте отражения, называется максимальной наблюдаемой частотой (MOF, в МГц) для траекторий наклонного зондирования; она определяется критической частотой ионосферного слоя F2 в точке отражения и геометрией пути.

В данной работе для анализа используются как ионосферные данные станции вертикального зондирования, так и данные трасс наклонного зондирования. Регулярные наблюдения за состоянием ионосферы на разных трассах Евразийского региона России проводились с помощью ЛЧМ-станций на трех субавторальных (Ловозеро-Васильсурск, Соданкюля-Васильсурск и Салехард-Васильсурск) и одной среднеширотной (Горьковская, Ленинградская область-Васильсурск) трассах. Карта с отмеченными пунктами приема-передачи приведена на рис.1, параметры пунктов приема-передачи приведены в таблице 1. Приемно-передающие пункты Горьковская (Ленинградская область) и Соданкюля расположены практически на одной долготе (по середине пути), а приемопередающие пункты Соданкюля, Ловозеро и Салехард расположены почти на одной широте (по середине пути).

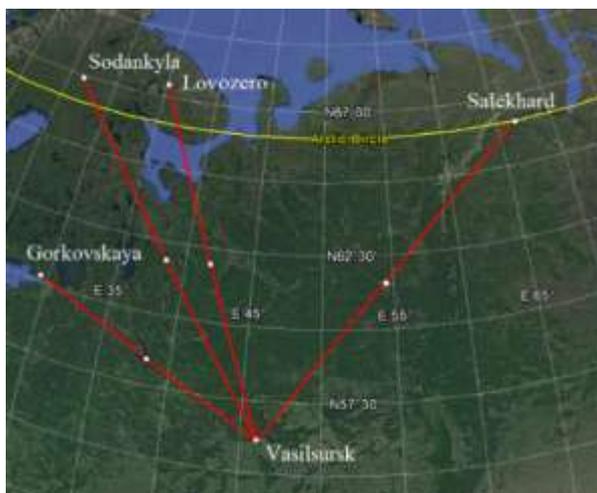


Рис. 1. Карта с изображением пунктов приема-передачи

Параметры пунктов приема-передачи

Трасса	Длина, км	Координаты передающих ЛЧМ-станций
Ловозеро – Васильсурск	1767	68.00°N, 35.02°E
Соданкюля – Васильсурск	1236	67.4°N, 26.6°E
Салехард – Васильсурск	1581	66.52°N, 66.37°E
Горьковская – Васильсурск	1500	60.27°N, 29.38°E

Данные вертикального зондирования ионосферы f^oF_2 получены с помощью современного цифрового ионозонда CADI (www.sil.sk.ca) из регулярных наблюдений в обсерватории НИРФИ ННГУ «Васильсурск» (56.15° с.ш., 46.10° в.д., вблизи Нижнего Новгорода), отмечена на рис.1. Васильсурск расположен по долготе между Соданкюлей и Салехардом.

Для исследования возмущений ионосферы по данным вертикального и наклонного зондирования F2 слоя ионосферы использовался метод, описанный в [6]. Он основан на расчете девиации первого порядка временных изменений частот отражения радиосигнала, измеренных с помощью вертикального (Δf^oF_2) и наклонного (ΔMOF) зондирования, новом ионосферном индексе [6].

Для данных вертикального зондирования f^oF_2 , например, ионосферный индекс определяется, как:

$$\Delta f^oF_2_{jk} = f^oF_2_{jk} - \overline{f^oF_2}_j \tag{1}$$

где $\overline{f^oF_2}_j = \sum_{k=1}^N f^oF_2_{jk} / N$, $f^oF_2_{jk}$ – измеренное значение, j – номер точки в течение дня, k – номер дня в месяце, N – число дней в месяце. Аналогичная процедура используется для анализа данных наклонного зондирования ΔMOF .

Результаты

Для выяснения причин возникновения и степени ионосферных возмущений, влияющих на распространение радиоволн, нами проведено сопоставление отклонений критической частоты ионосферного слоя F2 (Δf^oF_2) и данных наклонного зондирования (ΔMOF) с поведением индекса Dst, характеризующего возмущенность магнитного поля, и мощными явлениями солнечной активности. Приведем результаты анализа ионосферных возмущений для каждого рассматриваемого периода.

Май 2017 г.

На рис. 2 представлены результаты совместного анализа ионосферных индексов, поведения индекса Dst, скорости солнечного ветра HSS. Кроме того, на рисунках показано время регистрации CME согласно КАТАЛОГУ CME SOHO LASCO за май 2017 г.

Горизонтальная ось на рис.2 – дни месяца; левая вертикальная ось: на рис.2б – значения скорости в км/с, на рис.2а и 2в-2ж – время суток. Регистрация корональных выбросов показана на рис.2б. Данные пояснения относятся ко всем последующим рисункам.

Как видно из рис. 2а, слабые магнитные возмущения наблюдались 20.05.17. Тем не менее, как на среднеширотной трассе Горьковская-Васильсурск, так и на 252

субавроральной трассе прослеживается сильное уменьшение на несколько МГц (синий цвет) мгновенных Δf_{OF2} и ΔMOF . При этом можно заметить незначительное увеличение уровня депрессии в продольном направлении (см. рис. 3в-3ж).

Обратим внимание на то, что на субавроральной и среднеширотной трассах временная задержка по широте или долготе отсутствует. Сильная магнитная буря ($Dst_{max} = -125$ нТл) началась 27.05.17 примерно в 23 UT с главной фазой 28.05.17 в 07 UT. Фаза восстановления продолжалась до начала июня (см. рис. 2а). На всех трассах также фиксируется сильное уменьшение на несколько МГц (синий цвет) мгновенных Δf_{OF2} и ΔMOF . Более того, увеличение на несколько МГц (оранжевый и красный цвета) мгновенных Δf_{OF2} и ΔMOF совпадает по времени с увеличением значений Dst , и этот факт можно охарактеризовать как своего рода ионосферный предвестник сильной магнитной бури.

Сильные понижения Δf_{OF2} и ΔMOF в мае 2017 г. (рис.2в-2ж), коррелированные с геомагнитной бурей 20.05.2017 г., наблюдаются при высокой скорости HSS (около 700 км/с), тогда как сильные понижения Δf_{OF2} и ΔMOF коррелируют с большой геомагнитной бурей 28.05.2017, наблюдаемой при умеренных скоростях HSS около 300 км/с. Но сравнение со временем регистрации СМЕ позволяет предположить, что второе снижение может быть связано с корональным выбросом масс, произошедшим за 2 дня до этого.

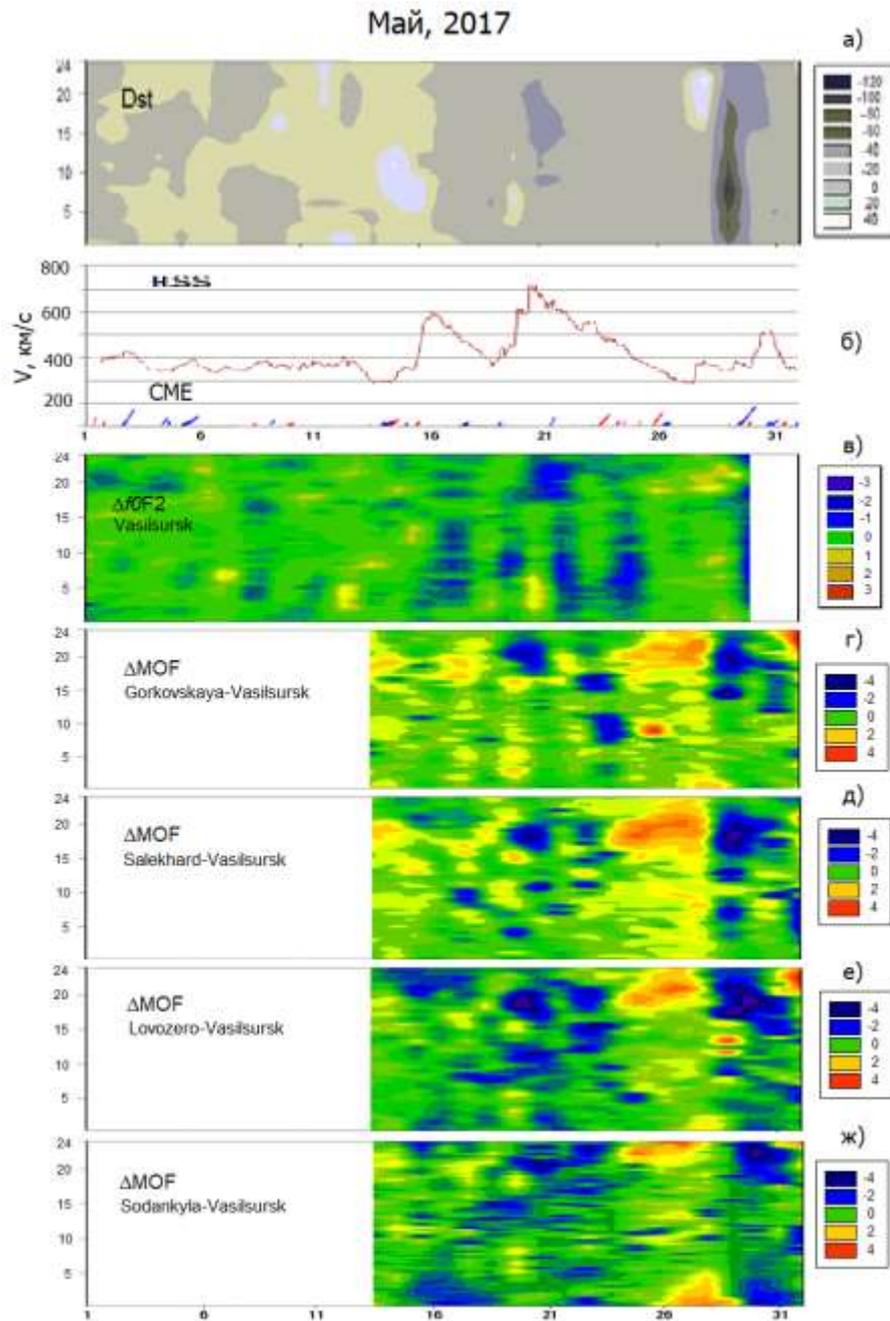


Рис. 2. Результаты совместного анализа данных за май 2017 г.

Июль 2017 г.

На рис. 3, представлены результаты совместного анализа ионосферных индексов, поведения индекса Dst, скорости солнечного ветра HSS и времени регистрации CME согласно КАТАЛОГУ CME SOHO LASCO за июль 2017 г.

В июле 2017 г. наблюдались как слабые магнитные возмущения (9-10, 27 июля), так и умеренная буря (см. рис. 3а). Геомагнитная буря началась 16 июля (начало в 06 UT), Dst-индекс достиг минимального значения -72 нТл в 15 UT, фаза восстановления продолжалась до 20 июля.

На всех трассах видно уменьшение на несколько МГц мгновенной ΔMOF во время умеренного шторма (см. рис. 3в-ж), а увеличение наблюдается на этапе восстановления и перед умеренным штормом. Аналогичный отклик наблюдается и для суббурь, причем увеличение $\Delta f\text{O}F2$ отмечается в начале каждой суббури (см. рис. 3в).

В июле 2017 г. (рис. 3б) скорость HSS не превышает 600 км/с в течение всего месяца. А понижения $\Delta f\text{O}F2$ и ΔMOF , коррелированные с геомагнитной бурей 20.07.2017, соответствуют нескольким СМЕ, зарегистрированным LASCO C2.

Август 2018 г.

На рис. 4, представлены результаты совместного анализа ионосферных индексов, поведения индекса Dst, скорости солнечного ветра HSS и времени регистрации СМЕ согласно КАТАЛОГУ СМЕ SOHO LASCO за август 2018 г.

Слабые возмущения геомагнитного поля зарегистрированы 15–17 августа, когда индекс Dst достигал значений до -37 нТл. Наблюдались сильные магнитные бури, начавшиеся с увеличения индекса Dst в 03 UT 25.08.18. Основная фаза длилась с 18 UT 25.08.18 до 07 UT 26 августа, когда Dst-индекс достиг своего минимального значения -174 нТл (см. рис. 4а). Фаза восстановления наблюдалась до конца августа 2018 года.

Как и в другие рассматриваемые периоды, на всех трассах прослеживается умеренное уменьшение для слабой геомагнитной бури и сильное уменьшение мгновенных $\Delta f\text{O}F2$ и ΔMOF для сильной бури.

Не совсем понятно, чем вызваны понижения $\Delta f\text{O}F2$ и ΔMOF , коррелированные со слабой геомагнитной бурей 15-16 августа 2018 г. (рис. 4в-4ж): скорость высокоскоростных потоков солнечного ветра умеренная (около 500 км/с), СМЕ регистрируется за 2 дня до бури. Что касается крупной магнитной бури 26 августа 2018 г., то коррелированные с ней понижения $\Delta f\text{O}F2$ и ΔMOF также могут быть реакцией на высокоскоростные потоки солнечного ветра.

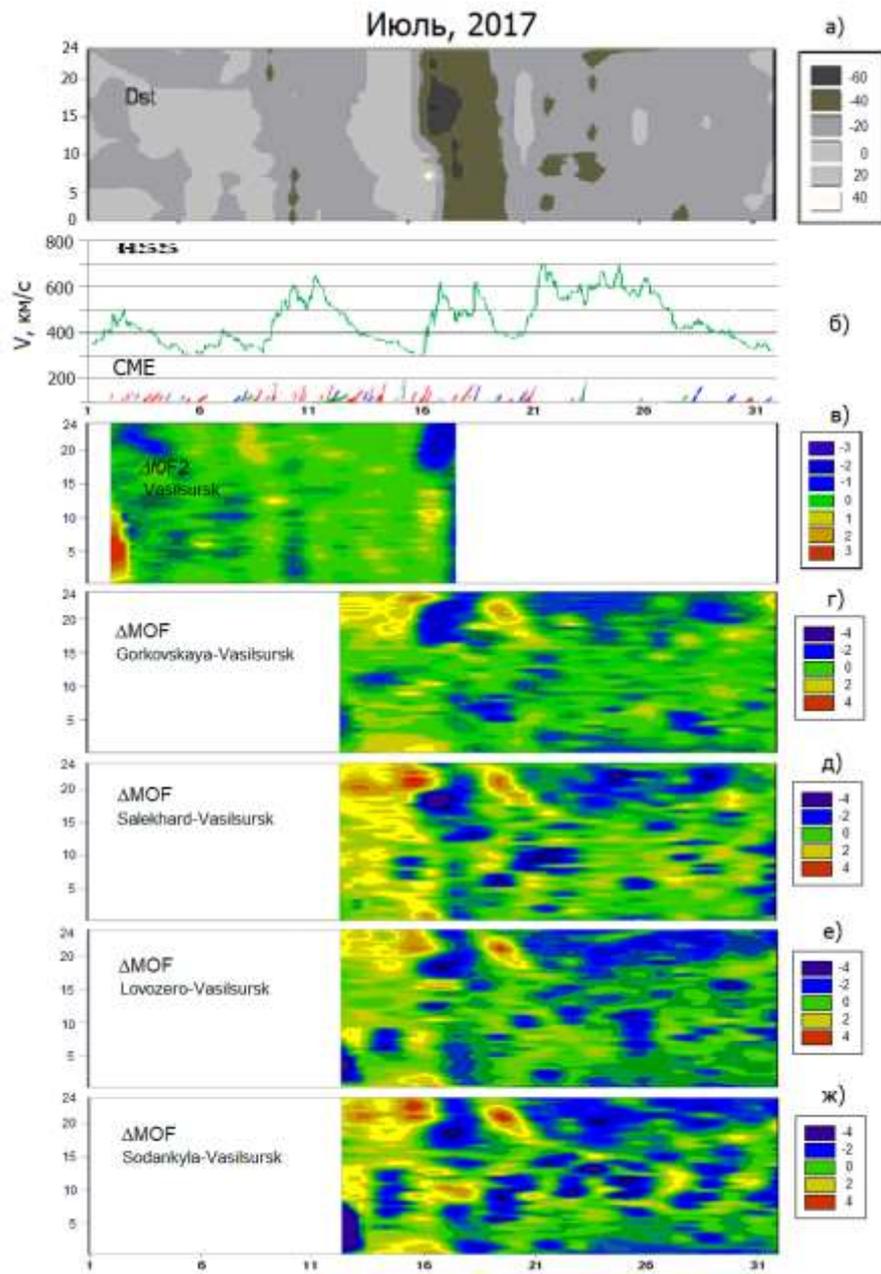


Рис. 3. Результаты совместного анализа данных за июль 2017 г.

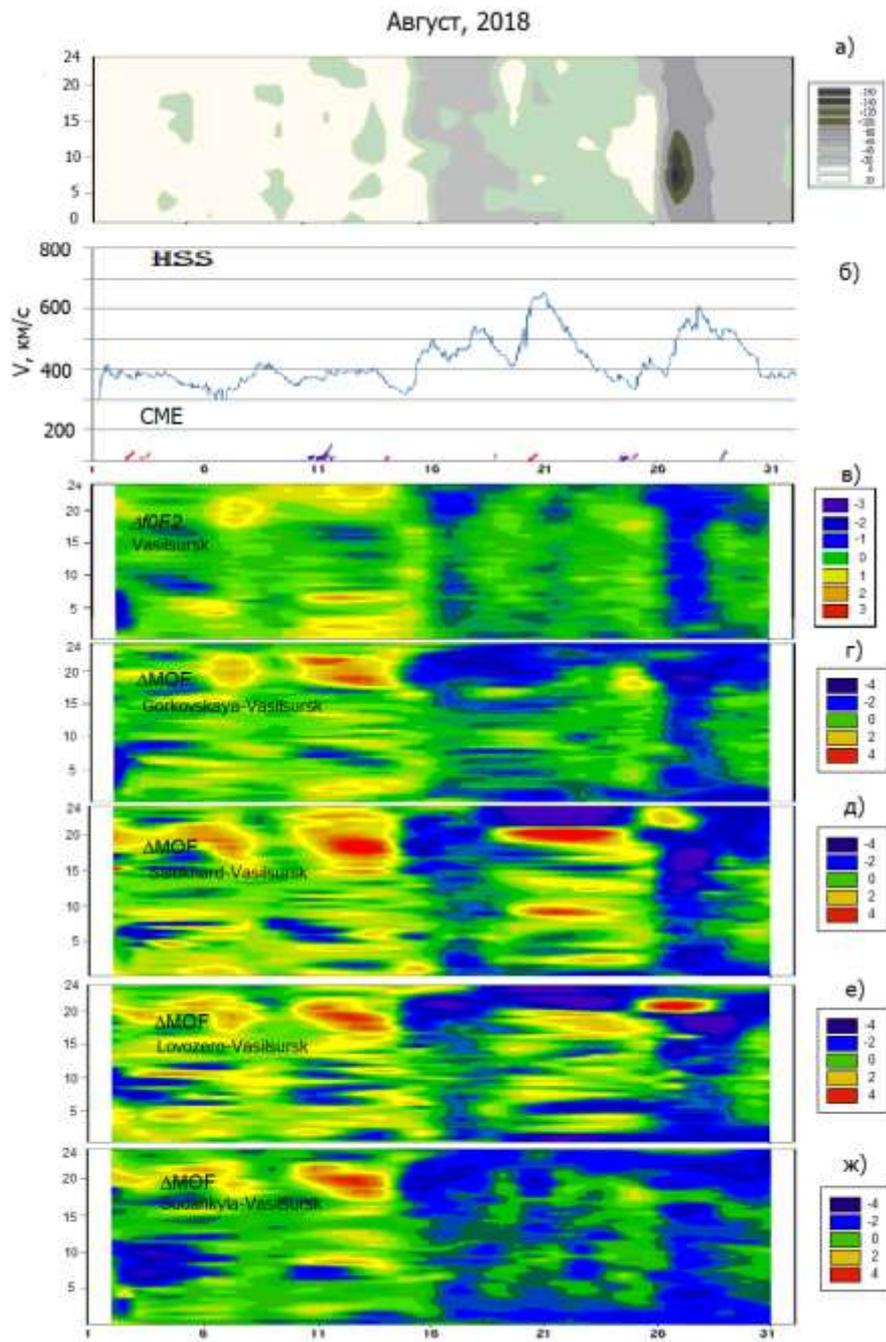


Рис. 4. Результаты совместного анализа данных за август 2018 г.

Заключение

В начале и середине XX века основным потребителем информации о космической погоде стала отрасль радиосвязи. Негативные последствия воздействия факторов

космической погоды – это и помехи в работе наземной и космической связи, и дальней радиолокации. Состояние ионосферы, среды распространения коротких радиоволн, совокупность причин и физических процессов, формирующих условия для возникновения возмущений – все это главная проблема при решении задачи надежности радиосвязи, в том числе, и на транспорте.

Одной из причин возникновения возмущений в ионосфере, определяющих само наличие возмущений и их уровень, как показали исследования, являются мощные солнечные события: корональные выбросы массы и высокоскоростные потоки солнечного ветра.

В статье приведены результаты эксперимента на трех субавроральных (Ловозеро-Васильсурск, Соданкюля-Васильсурск, Салехард-Васильсурск) и одной среднеширотной (ст. Горьковская Ленинградской области-Васильсурск) трассах, полученные в спокойных и возмущенных условиях, которые подтверждают и дополняют ранее полученные результаты исследований распространения коротковолновых сигналов на высокоширотных трассах при магнитно-ионосферных возмущениях различной интенсивности [7].

Отметим, показана четкая временная корреляция отклика всех процессов на магнитные бури на субавроральных трассах, которая выражается в наличии отчетливых предвестников в течение нескольких дней (увеличение Δf_{OF2} и ΔMOF) и их уменьшение во время магнитной бури. Отмечается запаздывание отклика увеличения или уменьшения Δf_{OF2} в Васильсурске относительно остальных трасс.

Сравнительный анализ данных станции вертикального зондирования CADI (г. Васильсурск) и данных, полученных на трассах Ловозеро-Васильсурск, Соданкюля-Васильсурск, Салехард-Васильсурск и Горьковская, Ленинградская область-Васильсурск, позволяет констатировать, что наклонное зондирование ионосферы является более предпочтительным для применения используемого метода анализа ионосферных данных.

На наш взгляд, хорошее совпадение результатов обработки на разных трассах свидетельствует о быстром распространении ионосферных возмущений в рассматриваемых интервалах времени.

Экспериментальные исследования, выполненные на трассах наклонного и вертикального зондирования в центральном и северном регионе европейской части России, в сочетании с анализом зарегистрированных в эти периоды солнечных корональных выбросов массы и высокоскоростных потоков солнечного ветра показали исключительную роль мощных солнечных явлений в создании возмущенных условий в ионосфере. Указанное сильное влияние HSS и CME на параметры ионосферы ограничивает надежность коротковолновой радиосвязи и может повлиять на степень техносферной безопасности в районах морского судоходства.

Исследования выполнены по проекту № 0729-2020-0057 Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

Обработка данных ЛЧМ станции наклонного зондирования ионосферы в Васильсурске выполнена в рамках гранта РФФИ № 20-17-00050 (Ф.И. Выборнов).

Список литературы

1. Кравцов Ю.А., Фейзулин З.И., Виноградов А.Г. *Прохождение радиоволн через атмосферу Земли*. Москва: Радио и связь, 1983. 224 с.
2. Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю. Солнечные и межпланетные источники геомагнитных бурь: Аспекты космической погоды // Геофиз. Проц. и Биосф. 2009. Т. 8. № 1. С. 5-35.
3. *Rodriguez-Zuluaga J., Radicella S.M., Nava B., Amory-Mazaudier C., Mora-Paez H., Alazo-Cuartas K.* Distinct responses of the low-latitude ionosphere to CME and HSSWS: The role

- of the IMF Bz oscillation frequency // *J. Geophys. Res. Space*. 2016. Vol. 121. – Pp. 11528–11548.
4. *Rakhlin A., Sheiner O., Vybornov F., Pershin A.* About factors of solar radiation influenced on the ionosphere // *Proceedings IAU Symposium 335 “Space Weather on the Heliosphere: Processes and Forecasts”*. 2018. P. 171–174.
 5. *Uryadov V.P., Vertogradov G.G., Vertogradova E.G.* Influence of an inhomogeneous structure of the high-latitude ionosphere on the long-distance propagation of high-frequency radio waves // *Radiophys. Quantum Electron*. 2012. Vol. 55. – Pp. 232–240.
 6. *Sheiner O., Rakhlin A., Fridman V., Vybornov F.* New ionospheric index for Space Weather service // *Advances in Space Research*. 2020. Vol. 66. – P. 1415.
 7. *Uryadov V.P., Vybornov F.I., Kolchev A.A., Vertogradov G.G., Sklyarevsky M.S., Egoshin I.A. et al.* Impact of heliogeophysical disturbances on ionospheric HF channels // *Advances in Space Research*. 2018. Vol. 61. – Pp. 1837-1849.

References

1. *Kravtsov Yu.A., Feiszulin Z.I., Vinogradov A.G.* The passage of radio waves through the Earth's atmosphere. Moscow: Radio and communications, 1983. 224 p.
2. *Yermolaev Yu.I., Yermolaev M.Yu.* Solar and interplanetary sources of geomagnetic storms: Space weather aspects // *Geophysical Processes and Biosphere*. 2009. Vol. 8, N 1. Pp. 5-35.
3. *Rodriguez-Zuluaga J., Radicella S.M., Nava B., Amory-Mazaudier C., Mora-Paez H., Alazo-Cuartas K.* Distinct responses of the low-latitude ionosphere to CME and HSSWS: The role of the IMF Bz oscillation frequency // *J. Geophys. Res. Space*. 2016. Vol. 121. – Pp. 11528–11548.
4. *Rakhlin A., Sheiner O., Vybornov F., Pershin A.* About factors of solar radiation influenced on the ionosphere // *Proceedings IAU Symposium 335 “Space Weather on the Heliosphere: Processes and Forecasts”*. 2018. P. 171–174.
5. *Uryadov V.P., Vertogradov G.G., Vertogradova E.G.* Influence of an inhomogeneous structure of the high-latitude ionosphere on the long-distance propagation of high-frequency radio waves // *Radiophys. Quantum Electron*. 2012. Vol. 55. – Pp. 232–240.
6. *Sheiner O., Rakhlin A., Fridman V., Vybornov F.* New ionospheric index for Space Weather service // *Advances in Space Research*. 2020. Vol. 66. – P. 1415.
7. *Uryadov V.P., Vybornov F.I., Kolchev A.A., Vertogradov G.G., Sklyarevsky M.S., Egoshin I.A. et al.* Impact of heliogeophysical disturbances on ionospheric HF channels // *Advances in Space Research*. 2018. Vol. 61. – Pp. 1837-1849.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Выборнов Федор Иванович, д.ф.-м.н., доцент, зав. кафедры Физики, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: vybornov@nirfi.unn.ru

Fedor I. Vybornov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physics, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Шейнер Ольга Александровна, д.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский радиопизический институт ННГУ им. Н.И.Лобачевского (НИРФИ ННГУ), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Б. Печерская д.25/12А, e-mail: rfj@nirfi.unn.ru

Olga A. Sheiner, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of Radiophysical Research Institute UNN, 25/12A, B.Pecherskaya st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 16.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022.
Received 16.05.2022; published online 20.09.2022.

УДК 574.5; 572.4
DOI: 10.37890/jwt.vi72.301

Определение совместного влияния тяжелых металлов и нефтепродуктов на фитотоксичность почв

И.Б. Мясникова¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2352-2659>

С.М. Павлова¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9110-7334>

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

Аннотация. Урбанизированные территории подвержены высокой антропогенной нагрузке. Наиболее опасными поллютантами являются нефтепродукты и тяжелые металлы. Однако изучение их совместного влияния на свойства почв подробно не проводилось. В данной работе было определено совместное влияние нефтепродуктов и тяжелых металлов на фитотоксичность почвы. Эксперимент проводили на модельных системах. Установили, что при небольшом загрязнении тяжелыми металлами ведущим фактором фитотоксического эффекта является загрязнение нефтепродуктами. При значительном загрязнении тяжелыми металлами и нефтепродуктами фитотоксическое действие носит аддитивный характер от содержания данных поллютантов. С помощью программного комплекса STATISTICA 8.0 определена математическая зависимость фитотоксичности от содержания нефтепродуктов и тяжелых металлов.

Ключевые слова: нефтепродукты, тяжелые металлы, фитотоксичность, совместное влияние, поллютанты, математическое уравнение

Determination of the joint effect of heavy metals and petroleum products on soil phytotoxicity

Irina B. Myasnikova¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2352-2659>

Svetlana M. Pavlova¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9110-7334>

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

Abstract. Urbanized territories are subject to high anthropogenic pressure. The most dangerous pollutants are oil products and heavy metals. However, the study of their joint influence on soil properties has not been carried out in detail. In this work, the combined effect of oil products and heavy metals on soil phytotoxicity was determined. The experiment was carried out on model systems. It was found that with a small amount of heavy metal pollution, the leading factor in the phytotoxic effect is oil pollution. With significant pollution by heavy metals and oil products, the phytotoxic effect is additive in nature from the content of these pollutants. Using the software package STATISTICA 8.0, the mathematical dependence of phytotoxicity on the content of oil products and heavy metals was determined.

Keywords: oil products, heavy metals, phytotoxicity, joint effect, pollutants, mathematical equation

Введение

Почва – сложная гетерогенная система. Она выполняет множество важных функций, в том числе предоставляет жизненное пространство для живых организмов.

Рост городов и транспортной системы приводит к уменьшению доли почв, находящихся в естественном состоянии. Образуется отдельный тип измененных почв - урбаноземы. На этих землях представлен широкий спектр типов антропогенного воздействия, что значительно ухудшает их санитарно-гигиенические, биосферные и экологические функции [1].

При всем разнообразии антропогенного воздействия на урбаноземы наиболее опасными поллютантами признаны нефтепродукты (НП) и тяжелые металлы (ТМ) [2, 3]. НП изменяют морфологические, химические, биохимические и физико-химические свойства почвы, вызывая гибель растений и микроорганизмов, способствующих её самоочищению [4]. ТМ влияют на обмен веществ организмов, изменяют осмотическое давление почвенного раствора.

Однако изучение совместного влияния НП и ТМ на свойства почв столь подробно не проводилось [5]. Для оценки состояния почвы был выбран интегральный показатель качества почв – фитотоксичность по показателям прорастания и интенсивности начального роста растений [6], поскольку эти показатели отличаются высокой чувствительностью к этим поллютантам. Поэтому целью нашей работы было – определить совместное влияние тяжёлых металлов и нефтепродуктов на фитотоксичность почв и определения ведущего фактора фитотоксического эффекта.

Методы

Исследование фитотоксичности проводилось в соответствии с ГОСТ 32627-2014 и ГОСТ Р ИСО 22030-2009.

Для определения ведущего фактора фитотоксического эффекта загрязнителей определили фитотоксичность (ФТ) модельных систем: почвогрунт-НП-ТМ. В качестве тест-культуры использовали редис сорта Чемпион. В емкость высевали по 10 растений. Число параллельных опытов для каждого образца составило 3.

Почвогрунт загрязняли НП и ТМ (катионами железа III) из расчета 0ПДК, 0,25ПДК, 0,5ПДК, 1ПДК и 2ПДК. ПДК (НП) = 2г/кг (средний уровень загрязнения) ПДК (ТМ) подвижная форма = 0,5 г/кг в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06.

Модельные системы находились в местах с контролируемой температурой и освещенностью при поддержании постоянной влажности.

Расчет ФТ проводили по формуле (1)

$$ФТ = \left(1 - \frac{N_i}{N_{\phi}}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где N_i - число проростков в i -ой модельной системе,

N_{ϕ} – число проростков в модельной системе без загрязнений.

Результаты

Ошибка определения ФТ не превышала 12%.

Результаты эксперимента представлены на рис. 1, 2, 3.

По данным рисунков видно, что до значения 1ПДК как по НП, так и по ТМ ФТ не выходит за пределы 20-40%. При загрязнении ТМ до 2ПДК наблюдается резкий рост ФТ при увеличении загрязнения НП. Как видим из рис. 1, 2, 3, эта тенденция сохраняется для различных вариантов расчёта фитотоксичности (проростки, длина растения, длина корня), и на рис.4 приведен обобщённый вариант влияния загрязнителей на фитотоксичность.

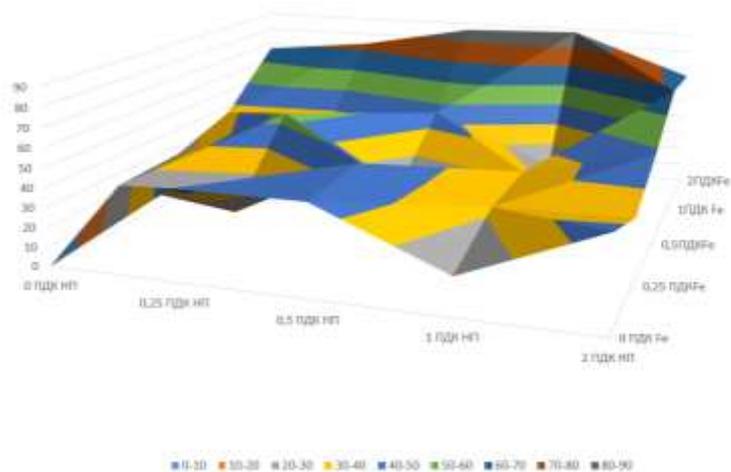


Рис. 1. Фитотоксичность по длине корня

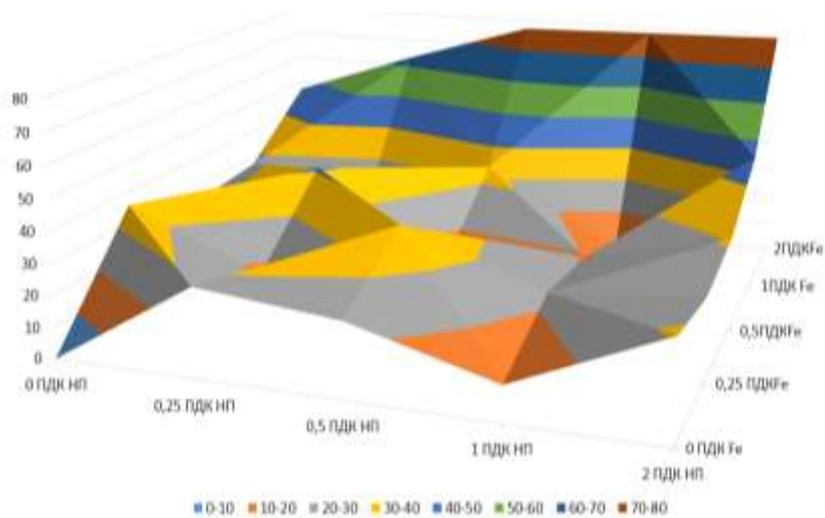


Рис. 2. Фитотоксичность по длине растения

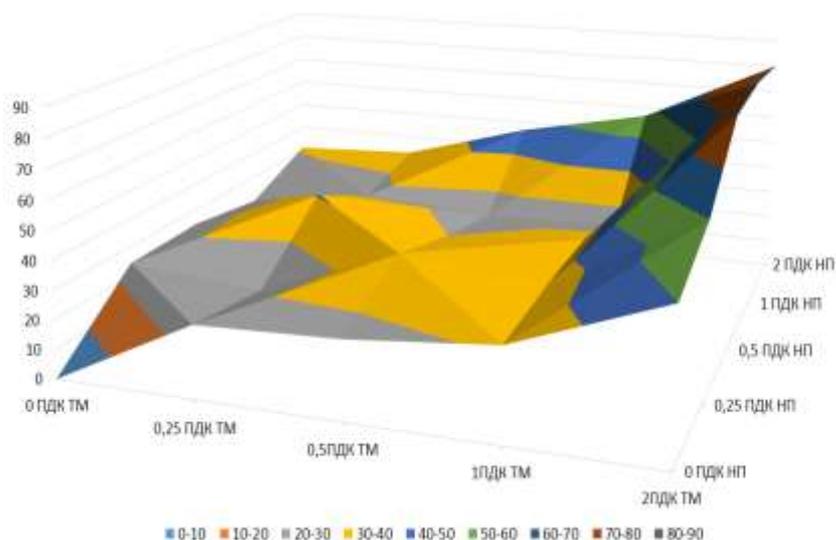


Рис. 3. Фитотоксичность по числу проростков.

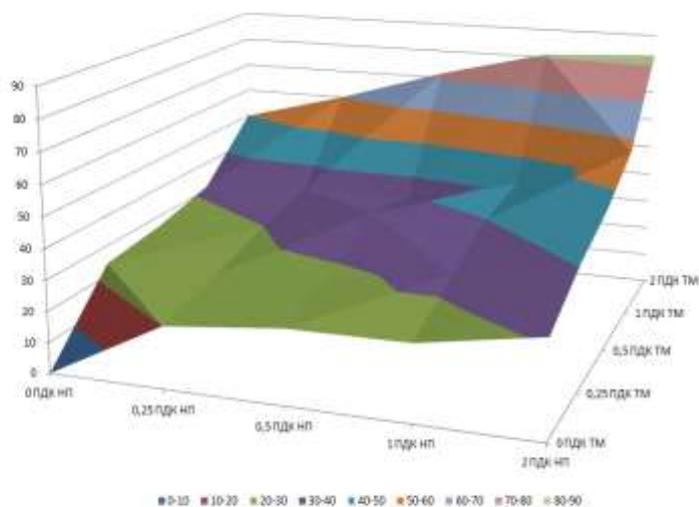


Рис. 4 Зависимость средней фитотоксичности от содержания НП и ТМ

С помощью программного комплекса STATISTICA 8.0 определили математическую зависимость ФТ от содержания НП и ТМ: $ФТ = 12,4423 + 22,2367(НП) + 17,1087(ТМ) - 6,1531(НП)^2 + 2,801(НП)(ТМ) + 1,8815(ТМ)^2$ $R^2 = 0,92$, что свидетельствует о хорошей сходимости результатов. На рис. 5 представлены результаты работы в программном комплексе STATISTICA 8.0.

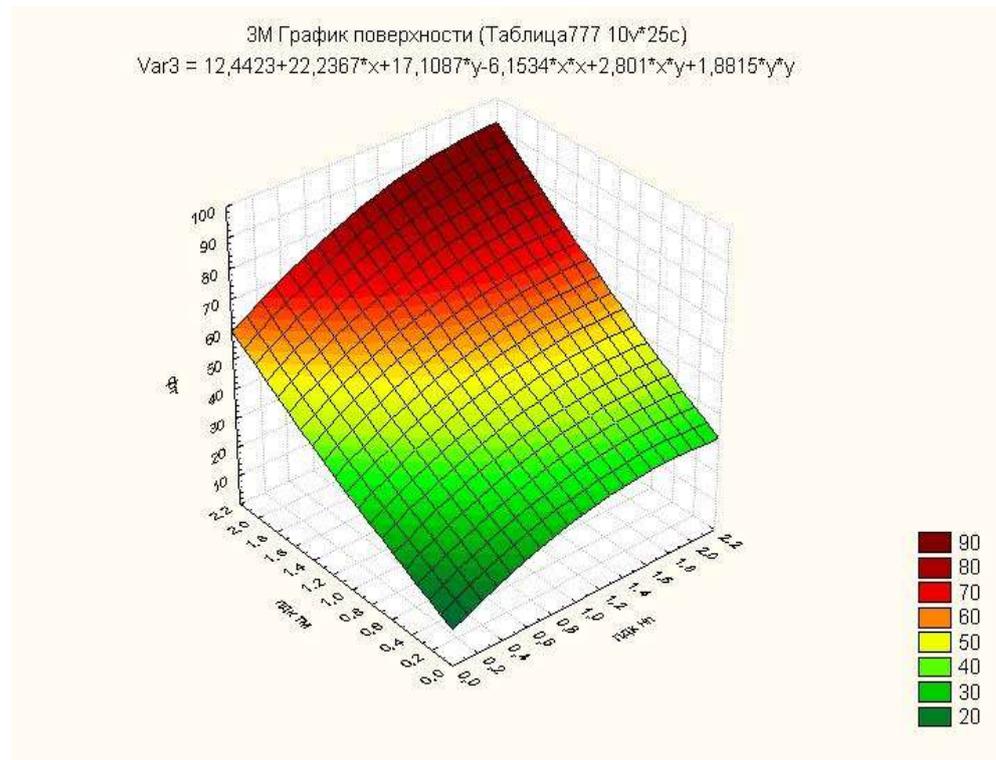


Рис. 5 График и зависимость фитотоксичности почвы от совместного влияния нефтепродуктов и тяжелых металлов.

Обсуждение

При невысоком содержании ТМ ведущая роль фитотоксического эффекта принадлежит НП, которые даже в небольших количествах вызывают укрупнение агрегатов, ухудшают влаго- и воздухопроницаемость за счет гидрофобизирующего действия. В итоге изменяются не только морфологические свойства почвы, но и свойства почвенно-поглощательного комплекса. Гидрофобизированные частицы почвы затрудняют поступление влаги к корням растений, что приводит к физиологическим изменениям последних.

Напротив, ТМ в малых дозах вызывают стимулирование функциональных резервов растений при стрессовых воздействиях. При высоких концентрациях подвижных форм ТМ могут ингибировать окислительно-восстановительные реакции в клетках и влиять на отдельные этапы углеводно-липидного и аминокислотного обмена. Выше значений 1 ПДК как для НП, так и для ТМ фитотоксическое действие данных поллютантов носит аддитивный характер.

Заключение

Было изучено совместное влияние НП и ТМ на фитотоксичность модельных систем. Установили, что при небольших концентрациях ТМ ведущая роль фитотоксического эффекта принадлежит НП, а при высоких концентрациях как ТМ, так и НП, вклад поллютантов носит аддитивный характер. С помощью программного комплекса STATISTICA 8.0 определили математическую зависимость ФТ от содержания НП и ТМ.

Благодарности

Выражаем благодарность коллегам Пластинину А.Е и Каленкову А.Н., за помощь при работе с программным комплексом STATISTICA 8.0.

Список литературы

1. Феоктистова И.Д., Сахно О.Н., Журавлева А.Г. Оценка экологического состояния почв урбанизированных территорий, загрязненных нефтепродуктами// Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №1(5). С. 1233-1239.
2. Михайлова А.А., Попова Л.Ф., Труфанова Н.Е. Степень загрязнения почв нефтепродуктами как показатель воздействия автотранспорта// Экологические проблемы человечества: материалы научно-практической конференции. – М.: 2009. С. 56-59.
3. Лапина Г.П., Чернавская Н.М., Литвиновский М.Е., Сазанова С.В. Физико-химические характеристики загрязнения окружающей среды при техногенных катастрофах (разлив нефти)// Химическая и биологическая безопасность. 2007. №1(31). С. 24 -32.
4. Назаров А.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения// Вестник Пермского университета. Биология. 2007. Вып. 5 (10). С. 134-141.
5. Ляпина Н.Ш., Мясникова И.Б., Усова Л.С., Колосов Е.С. Определение фитотоксичности почв как метод оценки ее загрязнения// II Всероссийская научно-практическая конференция «Образование России и актуальные вопросы современной науки» МНИЦ ПГАУ. Часть 1. Пенза: РИО ПГАУ. 2019. С. 257 -260.
6. Кузина А. А., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние загрязнения тяжелыми металлами и нефтью на фитотоксичность почв Черноморского побережья Кавказа.// Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2016. №2. С. 68 – 71.

References

1. Feoktistova I.D., Saxno O.N., Zhuravleva A.G. Ocenka e`kologicheskogo sostoyaniya pochv urbanizirovanny`x territorij, zagryaznenny`x nefteproduktami// Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2011. №1(5). S. 1233-1239.
2. Mixajlova A.A., Popova L.F., Trufanova N.E. Stepen` zagryazneniya pochv nefteproduktami kak pokazatel` vozdejstviya avtotransporta// E`kologicheskie pro-blemy` chelovechestva: materialy` nauchno-prakticheskoy konferencii. – M.: 2009. S. 56-59.
3. Lapina G.P., Chernavskaya N.M., Litvinovskij M.E., Sazanova S.V. Fiziko-ximicheskie karakteristiki zagryazneniya okruzhayushhej sredy` pri texnogenny`x katastrofax (razliv nefti)// Ximicheskaya i biologicheskaya bezopasnost`. 2007. №1(31). S. 24 -32.
4. Nazarov A.V. Vliyanie neftyanogo zagryazneniya pochvy` na rasteniya// Vestnik Permskogo universiteta. Biologiya. 2007. Vy`p. 5 (10). S. 134-141.
5. Lyapina N.Sh., Myasnikova I.B., Usova L.S., Kolosov E.S. Opredelenie fito-toksichnosti pochv kak metod ocenki ee zagryazneniya// II Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Obrazovnie Rossii i aktual`ny`e voprosy` sovremennoj nauki» MNICz PGAU. Chast` 1. Penza: RIO PGAU. 2019. S. 257 -260.
6. Kuzina A. A., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. Vliyanie za-gryazneniya tyazhely`mi metallami i nef`yu na fitotoksichnost` pochv Chernomorskogo poberezh`ya Kavkaza.// Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazkij region. Estestvenny`e nauki. 2016. №2. S. 68 – 71.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Мясникова Ирина Борисовна, к.х.н., доцент, доцент кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г.

Irina B. Myasnikova, Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection and Industrial Safety, Volga State University of Water Transport, 5, st. Nesterova, Nizhny

Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail:
irina120669@yandex.ru

Novgorod, 603951

Павлова Светлана Михайловна, ассистент
кафедры охраны окружающей среды и
производственной безопасности, Волжский
государственный университет водного
транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г.
Нижний Новгород, ул. Нестерова, 2, e-mail:
s.pavlova2774334@gmail.com

Svetlana M. Pavlova, Assistant of the
Department of Environmental Protection
and Industrial Safety, Volga State
University of Water Transport, 5, st.
Nesterova, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 08.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 08.06.2022; published online 20.09.2022.

УДК 629.12.002.8

DOI: 10.37890/jwt.vi72.302

Анализ экологических аспектов эксплуатации судов в навигационный период

В.С. Наумов¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0155-7324>

И.Б. Кочнева¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5612-3742>

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

Аннотация. Жизненный цикл судна состоит из стадий – проектирование, постройка, эксплуатация, утилизация. В статье рассмотрены источники антропогенной нагрузки судна на окружающую среду, а также требования классификационных обществ к мероприятиям по защите окружающей среды от деятельности судна. Анализ рассмотренных вопросов позволил установить экологические аспекты на стадии «проектирование» жизненного цикла судна и выявить процессы и операции на стадии «эксплуатация», связанные с навигационным периодом судна, для которых также возможно применять данные экологические аспекты. Для обозначенных экологических аспектов определены соответствующие воздействия на окружающую среду и параметры, по которым идет ограничение их воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: экологическая безопасность, воздействие на окружающую среду, жизненный цикл, экологические аспекты, судно

Analysis of environmental aspects of ship operation during the navigation period

Victor S. Naumov¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0155-7324>

Irina B. Kochneva¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5612-3742>

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

Abstract. The life cycle of the ship consists of stages – design, construction, operation, recycling. The article considers the sources of anthropogenic load of the ship on the environment, as well as the requirements of classification societies for measures to protect the environment from the activities of the ship. The analysis of the issues considered made it possible to establish environmental aspects at the stage of "designing" the life cycle of the ship and to identify processes and operations at the stage of "operation" related to the navigation period of the ship, for which it is also possible to apply these environmental aspects. For the designated environmental aspects, the relevant environmental impacts and the parameters by which their impact on the environment is limited are determined.

Keywords: environmental safety, environmental impact, life cycle, environmental aspects, ship

Введение

В настоящее время вызывает озабоченность состояние окружающей среды. В связи с этим рассмотрение вопросов безопасности (взрыво-, пожаробезопасность и

т.д.) для технических объектов, производственного оборудования, технологических процессов в отрыве от их воздействия на окружающую среду в настоящее время стало невозможным и к ним предъявляются требования по экологической безопасности.

В соответствии с федеральным законом «Об охране окружающей среды» [1] под экологической безопасностью понимают состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Для обеспечения экологической безопасности необходимо идентифицировать элементы деятельности организации, ее продукции, которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Этап идентификации экологических аспектов является основополагающим в деятельности управления охраной окружающей среды, оценки воздействия на окружающую среду, экологической безопасности. При этом выявление экологических аспектов необходимо проводить на всех этапах жизненного цикла рассматриваемого объекта.

Методы

В работе использованы материалы национальных и международных классификационных обществ и международных стандартов ISO 14000, а также метод оценки жизненного цикла продукции.

Результаты

Жизненный цикл судна состоит из стадий проектирования, постройки, эксплуатации и утилизации. В данной работе рассмотрим стадию эксплуатации.

Стадия эксплуатации судна связана с выполнением его хозяйственной задачи – перевозкой грузов, пассажиров, выполнением технических работ на водных путях и т.д.

Так, источниками биохимической нагрузки, создаваемой судном на окружающую среду, могут стать вредные жидкие вещества, перевозимые на танкерах, химовозах, газовозах в виде: балластных и промывочных вод из танков; льяльных вод, накапливающихся в льялах помещений, где находятся устройства и механизмы для перегрузки вредных жидких веществ; аварийные сбросы груза (преднамеренные или непреднамеренные), при обстоятельствах, которые не могут быть заранее предусмотрены (при столкновениях, посадках на мель, пожарах, воздействии стихии, спасении человеческой жизни).

Загрязнение гидросферы вредными веществами, перевозимыми в упаковке возможно промывочной водой или водными растворами, применяемыми на судах для удаления рассыпанного или вытекшего из упаковки груза, мусором, продуктами сепарации или другими материалами, удаляемых из помещений, где произошла россыпь или протечка груза, аварийными сбросами груза [2] – [5].

Эксплуатация судна сопряжена с работой, техническим обслуживанием механизмов и оборудования судовых систем и устройств.

В связи с этим воздействие судна на окружающую среду может быть связано с нефтесодержащими водами, возникающими вследствие слияния под сланью воды, свободной от нефтепродуктов (образуется в результате работы теплообменников, водотечности корпуса, конденсата водяного пара) и различного вида нефтепродуктов, поступающих из-за пропусков через неплотности в путевых соединениях трубопроводов, через сальники насосов, перекачивающих нефтепродукты.

Источниками антропогенной нагрузки могут служить образующиеся на судах мусор и пищевые отходы, различные виды отходов в результате технического

обслуживания судового оборудования, систем и механизмов (краски и растворители, нефтеостатки от сепараторов, шлам, отходы производства судовых мастерских и т.д.).

Для контроля дифферента, крена, осадки, остойчивости или напряжений судна на борт судна принимаются балластные воды. Слив балласта может сопровождаться поступлением в воду большого количества организмов и загрязняющих веществ.

Жизнедеятельность пассажиров и экипажа является источником хозяйственно-бытовых сточных вод, образующиеся на судах в процессе водоотведения от санитарных приборов кают, камбуза, прачечных, душевых, санузлов и медицинских учреждений, также сухого бытового мусора и твердых пищевых отходов [6].

При работе систем судовых энергетических установок, а также в результате аварии, может возникнуть химическое, шумовое, вибрационное, тепловое, радиационное загрязнение атмосферы [7] – [9]. При этом химическое загрязнение сопровождается выбросом в атмосферу отработавших газов котлов и двигателей внутреннего сгорания.

Для решения вопросов защиты окружающей среды от работы судна в навигационный период на стадии проектирования закладываются требования по предотвращению загрязнения окружающей среды с судов.

Таким образом, к настоящему времени в правилах классификационных обществ предусматриваются защита от загрязнения нефтью, сточными водами, мусором с судов, вредных веществ, перевозимых на судне, атмосферы выпускными газами судовых двигателей, предотвращение использования озоноразрушающих веществ, требования по энергоэффективности судов [10] – [14].

Для защиты окружающей среды от образующихся при эксплуатации сточных, нефтесодержащих вод, мусора, остатков перевозимого груза предусматриваются два варианта: либо сбор и сохранение загрязнений на судне до момента сдачи их на внесудовые приемные устройства, либо очистка до нормативных значений с последующим сбросом в окружающую среду.

Если при эксплуатации судна предполагается сброс сточных вод в воду, то устанавливаются станции для очистки, которые очищают сточные воды до установленных правилами нормативов. При этом используются следующие показатели: взвешенные вещества (мг/л), БПК₅ (мг/л), коли-индекс, ХПК (мг/л), pH, остаточный хлор (мг/л), содержание азота (мг/л), содержание фосфора (мг/л), концентрация нефтепродуктов (мг/л). Данные нормативы обусловлены тем, что хозяйственно-бытовые сточные воды содержат поверхностно-активные вещества, фосфаты, азот аммонийный, взвешенные вещества, нефтесодержащие воды в качестве вредного вещества – нефтепродукты.

Отработанные газы, выделяющиеся от работы судовых энергетических установок, содержат разнообразные группы вредных веществ: окислы углерода, азота, серы, углеводородные соединения, альдегиды, сажу. Для предотвращения загрязнения отработанными газами судовых двигателей установлен нормируемый параметр – удельный средневзвешенный выброс каждого *i*-го вредного вещества с выпускными газами двигателя (г/(кВт·ч)). При этом контролю в отработанных газах подлежат окиси азота (NO_x), серы (SO_x), углерода (CO) и углеводородов (CH). Нормируемыми параметрами дымности выпускных газов двигателей являются натуральный показатель ослабления светового потока (K, м⁻¹), коэффициент ослабления светового потока, приведенный к шкале дымомера оптического типа (L=0,43 м) (N, %), дымовое число фильтра, приведенное к шкале дымомера фильтрационного типа (L_F=0,405 м) (FSN, у.е.).

Кроме того, предусматривается защита окружающей среды от разливов нефти на судах наличием судового комплекта по борьбе с разливами нефти, конструкции и оборудование судов по ограничению и ликвидации разливов нефти на палубе, а также

на судах устанавливаются системы управления сбросом сточных вод с судов, обеспечивающие контроль за соблюдением регламентированных параметров сброса.

Помимо этого классификационными обществами к судам предъявляются дополнительные требования по экологической безопасности, при выполнении которых присваивается знак повышенной экологической безопасности [15].

Эти требования, например, могут включать конструктивные меры и оборудование по предотвращению разливов нефти при грузовых операциях и бункеровке топлива (продольные оградительные комингсы на грузовой палубе, палубная шпигатная система), требования к конструкции (двойное дно и двойные борта в районе грузовых помещений, минимальные толщины элементов корпуса, требования к элементам посадки и остойчивости поврежденного корпуса). Также могут предъявляться требования к топливу, по предотвращению загрязнения при утилизации судов (иметь одобренную ведомость опасных материалов). Плюс ко всему может быть назначен ответственный член администрации судна по защите окружающей среды, который должен, например, проводить контроль соблюдения требований по предотвращению загрязнения окружающей среды, следить за выполнением соответствующих процедур, ведением соответствующих судовых журналов, проводить обучение и тренировки персонала по осуществлению мер, направленных на защиту окружающей среды.

Обсуждение

Рассмотренные источники антропогенной нагрузки считаем экологическими аспектами, так как они являются частью процесса, который приводит к воздействию на окружающую среду и, кроме того, для них установлены параметры, по которым идет контроль воздействия на окружающую среду (табл. 1).

Таблица 1

Реестр экологических аспектов

№ п/п	Процесс	Элемент деятельности	Экологический аспект	Воздействие на окружающую среду
1	Эксплуатация судна	Техническое обслуживание	Сброс нефтесодержащих вод: концентрация нефтепродуктов	нефтепродукты
			Слив загрязненных балластных вод	микроорганизмы, загрязняющие вещества
Образование отходов, возникающих в процессе технического обслуживания судна	материалы, оказывающие физико-химические и биологические воздействие на гидросферу, литосферу и их обитателей			
		Жизнедеятельность пассажиров и экипажа	Сброс хозяйственно-бытовых сточных вод: взвешенные вещества, БПК ₅ , коли-индекс, ХПК, рН, остаточный хлор,	поверхностно-активные вещества, фосфаты, азот аммонийный,

			содержание азота, содержание фосфора	взвешенные вещества
			Образование отходов: сухой бытовой мусор; твердые пищевые отходы	материалы, оказывающие физико-химические и биологические воздействие на гидросферу, литосферу и их обитателей
		Работа СЭУ	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу: удельный средневзвешенный выброс окиси азота (NO _x), серы (SO _x), углерода (CO) и углеродов (CH); параметры дымности	окислы углерода, азота, серы, углеводородные соединения, альдегиды, сажа
			Внешний шум: Уровень звукового давления	физическое загрязнение
2	Перевозка груза	Промывка грузовых танков	Сброс загрязненной (мытьевой) воды	загрязняющие вещества
		Погрузочно-разгрузочные работы	Образование остатков груза от погрузочно-разгрузочных работ	загрязняющие вещества, попадающие в атмосферу, гидросферу, литосферу
		Аварии	Выбросы (сбросы) загрязняющих веществ	Загрязняющие вещества, попадающие в атмосферу, гидросферу, литосферу
		Транспортировка и промежуточное хранение нефтепродуктов и других вредных легкоиспаряющихся жидкостей	Выбросы летучих органических соединений	Выбросы в атмосферу летучих органические соединения

Требования классификационных обществ по предотвращению загрязнения окружающей среды также подтверждают, что рассмотренные элементы деятельности принимаются на практике за процессы, приводящие к изменениям в окружающей среде, то есть за экологические аспекты.

Заключение

Проведенный анализ экологических аспектов эксплуатации судна в навигационный период затрагивает воздействия судна на окружающую среду при выполнении хозяйственной задачи в навигационный период. От воздействий на окружающую среду, рассмотренных экологических аспектов, необходимы

мероприятия по защите окружающей среды, которые закладываются на этапе проектирования судна.

Список литературы

1. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения 25.05.2022).
2. Environmental impacts of grey water discharge from ships in the Baltic Sea/ Erik Ytreberg, Martin Eriksson, Ilja Maljutenko, Jukka-Pekka Jalkanen, Lasse Johansson, Ida-Maja Hassellöv, Lena Granhag// Marine Pollution Bulletin. – 2020. – Vol. 152, 110891.
3. Пластинин А.Е. Оценка риска возникновения разливов нефти на внутренних водных путях // Наука и техника транспорта. 2015. № 1. С. 39-44.
4. Naumov V. Forecasting the Boundaries of Dangerous Oil Spills in Sea and River Ports Areas // ICMRP Proceeding. – Singapore, 2015. – Vol. 3. – Pp. 106-111.
5. Пластинин А.Е. Оценка размера вреда, причиненного почве, при разливах нефти с судов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2015. № 3 (31). С. 74-83. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-74-83.
6. Environmental impact, treatment technology and monitoring system of ship domestic sewage: A review/ QingChen, WanqingWu, YafeiGuo, JingtaiLi, FangWei// Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 811, 151410.
7. Valuating environmental impacts from ship emissions – The marine perspective/ Erik Ytreberg, Stefan Åströmb, Erik Fridell// Journal of Environmental Management. – 2021. – Vol. 282, 111958.
8. Techno-economic and Environmental Comparison of Internal Combustion Engines and Solid Oxide Fuel Cells for Ship Applications/ Lukas Kistner, Fritjof L. Schubert, Christine Minke, Astrid Bensmann, Richard Hanke-Rauschenbach// Journal of Power Sources. – 2021. – Vol. 508, 230328.
9. Decisions on sailing frequency and ship type in liner shipping with the consideration of carbon dioxide emissions/ Chuanxu Wang, Shanshan Yu, Lang Xu// Regional Studies in Marine Science. – 2022. – Vol. 52, 102371.
10. ФАУ «Российский Речной Регистр». Правила классификации и постройки судов. URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/izveshenia/Rossiyskiy-Rechnoy-Registr.-PRAVILA-2019.-May-2021.pdf>. (дата обращения 25.05.2022).
11. ФАУ «Российский морской регистр судоходства». Правила классификации и постройки морских судов. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules?ln=ru>. (дата обращения 25.05.2022).
12. DNV GL. Rules for classification: General. URL: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2021-07/DNV-RU-SHIP-Pt1Ch2.pdf> (дата обращения 26.05.2022 г.)
13. Bureau Veritas. Rules for the classification of steel ships. URL: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/nr467-rules-classification-steel-ships> (дата обращения 26.05.2022 г.)
14. Evaluation of environmental performance indices for ships/ Martin Gibson, Alan J. Murphy, Kayvan Pazouki// Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2019. – Vol. 73, p. 152-161.
15. Руководство Р.029-2010. Требования к судам повышенной экологической безопасности. URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/r-029-2010.pdf>. (дата обращения 25.05.2022).

References

1. Federal'nyj zakon "Ob ohrane okruzhayushchej sredy" ot 10.01.2002 N 7-FZ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (accessed 25.05.2022).
2. Environmental impacts of grey water discharge from ships in the Baltic Sea/ Erik Ytreberg, Martin Eriksson, Ilja Maljutenko, Jukka-Pekka Jalkanen, Lasse Johansson, Ida-Maja Hassellöv, Lena Granhag// Marine Pollution Bulletin. – 2020. – Vol. 152, 110891.

3. Plastinin A.E. Ocenka riska vznikoveniya razlivov nefi 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).
4. Naumov V. Forecasting the Boundaries of Dangerous Oil Spills in Sea and River Ports Areas // ICMRP Proceeding. – Singapore, 2015. – Vol. 3. – Pp. 106-111.
5. Plastinin A.E. Ocenka razmera vreda, prichinennogo pochve, pri razlivax nefi s sudov [Assessment of the amount of damage caused to the soil during oil spills from ships] *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2015, no 3(31), pp. 74-83. (In Russ). DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-74-83.
6. Environmental impact, treatment technology and monitoring system of ship domestic sewage: A review/ QingChen, WanqingWu, YafeiGuo, JingtaiLi, FangWei// *Science of The Total Environment*. – 2022. – Vol. 811, 151410.
7. Valuating environmental impacts from ship emissions – The marine perspective/ Erik Ytreberg, Stefan Åströmb, Erik Fridell// *Journal of Environmental Management*. – 2021. – Vol. 282, 111958.
8. Techno-economic and Environmental Comparison of Internal Combustion Engines and Solid Oxide Fuel Cells for Ship Applications/ Lukas Kistner, Fritjof L. Schubert, Christine Minke, Astrid Bensmann, Richard Hanke-Rauschenbach// *Journal of Power Sources*. – 2021. – Vol. 508, 230328.
9. Decisions on sailing frequency and ship type in liner shipping with the consideration of carbon dioxide emissions/ Chuanxu Wang, Shanshan Yu, Lang Xu// *Regional Studies in Marine Science*. – 2022. – Vol. 52, 102371.
10. FAU «Rossiiskii Rechnoi Registr». Pravila klassifikatsii i postroiki sudov. URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/izveshenia/Rossiyskiy-Rechnoy-Registr.-PRAVILA-2019.-May-2021.pdf>. (accessed 5.04.2022).
11. FAU «Rossijskij morskoy registr sudoxodstva». Pravila klassifikatsii i postrojki morskix sudov. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules?ln=ru>. (accessed 5.04.2022).
12. DNV GL. Rules for classification: General. URL: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2021-07/DNV-RU-SHIP-Pt1Ch2.pdf> (accessed 26.05.2022)
13. Bureau Veritas. Rules for the classification of steel ships. URL: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/nr467-rules-classification-steel-ships> (accessed 26.05.2022)
14. Evaluation of environmental performance indices for ships/ Martin Gibson, Alan J. Murphy, Kayvan Pazouki// *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. – 2019. – Vol. 73, p. 152-161.
15. Rukovodstvo R.029-2010. Trebovaniya k sudam povy`shennoj e`kologicheskoy bezopasnosti. URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/r-029-2010.pdf>. (accessed 25.05.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Наумов Виктор Степанович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой охраны окружающей среды и производственной безопасности, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kaf_oospb@vsuwt.ru

Victor S. Naumov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of the Environmental Protection and Industrial Safety, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

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

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

Статья поступила в редакцию 15.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 15.06.2022; published online 20.09.2022.

УДК 656.62: 504.054

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.304>

Внесудовая очистка нефтесодержащей подсланевой воды при эксплуатации судов внутреннего плавания

В.И. Решняк¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0639-9684>

О.Л. Домнина²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9098-313X>

¹ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, г. Санкт Петербург, Россия

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

Аннотация. Настоящая статья посвящена проблеме защиты водоемов от загрязнения нефтепродуктами, которые содержатся в судовой подсланевой воде (НПВ), образующейся в процессе эксплуатации судов на внутренних водных путях. Несмотря на имеющийся в настоящее время опыт, эта проблема пока не нашла своего сколь-нибудь эффективного решения. Применяемые судовые установки не обеспечивают достаточную степень очистки. Кроме того, на многих судах внутреннего плавания отсутствует возможность размещения установок для очистки подсланевой воды. По этим причинам наиболее эффективным решением исследуемой проблемы является применение комплекса технических средств внесудовой очистки НПВ. При этом в статье предлагаются все действия, которые при этом претерпевает подсланевая вода, представлять как технологию процесса ее перемещения. Содержание этой технологии зависит от участков водных путей. Установлены факторы, которые будут определять указанное содержание технологии перемещения НПВ. Такой подход позволяет обеспечить требуемую очистку всей подсланевой воды, которая образуется в рассматриваемом районе водных путей с наименьшими затратами и при обеспечении навигационной безопасности.

Ключевые слова: нефтесодержащая подсланевая вода, очистка, технология внесудовой очистки

Off-vessel purification of oil-containing bilge water of inland navigation vessels

Valery I. Reshnyak¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0639-9684>

Olga L. Domnina²

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9098-313X>

¹Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, St. Petersburg, Russia

²Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This article is devoted to the problem of protecting reservoirs from pollution by petroleum products in ship's bilge water formed during the operation of inland navigation vessels. Despite the current experience, this problem has not yet found any effective solution. The ship's installations used do not always reliably provide the required degree of purification, and, in addition, many inland navigation vessels do not have the possibility of placing installations for the purification of oil bilge water. It is shown that for these reasons, the most effective solution to the problem under study is the use of a complex of technical means of off-vessel cleaning of oil bilge water. At the same time, the article represents all the actions that the oil bilge water undergoes as the technology of the process of its movement. It

is also shown that this technology will be different for different sections of waterways. The factors that will determine the specifics of the oil bilge water movement technology have been established. This approach makes it possible to ensure the required purification of bilge water that is formed in the considered area of waterways at the lowest cost and while ensuring navigation safety.

Keywords: oil bilge water, purification, off-vessel purification technology

Введение

Одним из негативных факторов транспортной деятельности, влияющим на загрязнение окружающей среды и ее техносферную безопасность, является попадание в реки нефтесодержащей подсланевой воды (НПВ). Влияние этого фактора регулируется природоохранным законодательством в области эксплуатации судов [1-3].

Анализ современных природоохранных требований показывает, что удовлетворение этих требований обеспечивается применением технических средств – систем очистки подсланевой воды [4-5].

К таким системам на судах морского плавания, эксплуатация которых должна отвечать международным требованиям, относятся судовые установки для очистки льяльной воды (подсланевой воды). В ряде работ [5-9] описан опыт их создания и применения. Но в основном эти исследования касаются морского транспорта. На судах внутреннего плавания такой способ решения не всегда целесообразен и даже возможен. Основными причинами этого являются недостаток места в машинном отделении судна для размещения оборудования очистки загрязнений, а также условия водоотведения очищенной воды. Поэтому при эксплуатации судов внутреннего плавания должна быть применена другая стратегия – использование внесудовой очистки, когда очистка судовых загрязнений осуществляется вне судна.

На практике мы уже в настоящее время встречаем примеры применения стратегии внесудовой очистки подсланевой и сточной воды – суда-сборщики судовых загрязнений, плавучие очистные комплексы – станции очистки НПВ, суда для комплексной переработки отходов (СКПО). Однако перечень вариантов реализации этой стратегии может быть существенно расширен, что дает возможность выбора, который, в свою очередь, позволяет находить наиболее приемлемые варианты.

Целью данной работы является разработка механизма определения вариантов расположения плавучих очистных станций.

Для реализации этой цели были поставлены следующие задачи:

- выявление задач технологического процесса внесудовой очистки;
- анализ способов передачи подсланевой воды и особенности их применения;
- определение критериев определения вариантов расположения плавучих очистных станций.

Материалы и методы

Исследования проводились в области эксплуатации судов внутреннего плавания. В качестве метода исследования использовался анализ возможных способов перемещения нефтесодержащей подсланевой воды от судна-источника накопления НПВ до водоотведения очищенной подсланевой воды в водоем. Учтены условия формирования требований к водоотведению. Результаты анализа являлись отправной информацией для формирования технологии перемещения нефтесодержащей подсланевой воды при условии обеспечения требований экологической безопасности. В целом предлагаемый метод решения проблемы защиты окружающей среды от ее

загрязнения нефтесодержащей подсланевой водой дает возможность организации внесудовой очистки.

Результаты

Внесудовая очистка включает в себя ряд таких операций, как транспортировка, временное хранение, очистка подсланевой воды и ее водоотведение [10]. Поэтому существование подсланевой воды от момента образования до сброса очищенной воды в речной водоем можно считать ее транспортировкой, а сам процесс перемещения - технологией перемещения посланевой воды.

При этом в целом такая технология должна обеспечивать решение следующих задач:

- обеспечение безопасности перемещения НПВ всеми техническими средствами, осуществляющими этот процесс;
- обеспечение требуемой очистки НПВ перед сбросом в водоем или передачей ее в приемную канализацию;
- обеспечение наименьших затрат на реализацию внесудовой очистки НПВ.

Условия реализации этих задач предполагают выбор стратегии с точки зрения многих факторов – навигационных условий, типов судов, количества образующейся в границах рассматриваемого района водных путей посланевой воды, требований к водоотведению уже очищенной воды, наличия мест расположения внесудовых технических средств (ВТС) и некоторых других. Поэтому решение указанных задач может различаться и достигаться разным набором технических средств, разными технологиями. Например, передача подсланевой воды с обслуживаемого судна может быть осуществлена на следующие средства внесудовой очистки:

- на береговые накопительные емкости или плавучие средства при подходе к ним судов;
- на специализированные суда при подходе их к обслуживаемому судну;
- на береговые очистные сооружения при подходе к ним судов.

При необходимости организации транспортировки НПВ (схема с использованием судов-сборщиков) возникает вопрос о местах расположения ВТС на участке водных путей. Оно должно обеспечивать наименьшие затраты времени транспортировки судовых загрязнений. На рис. 1 показан пример размещения ВТС, который поясняет сказанное.

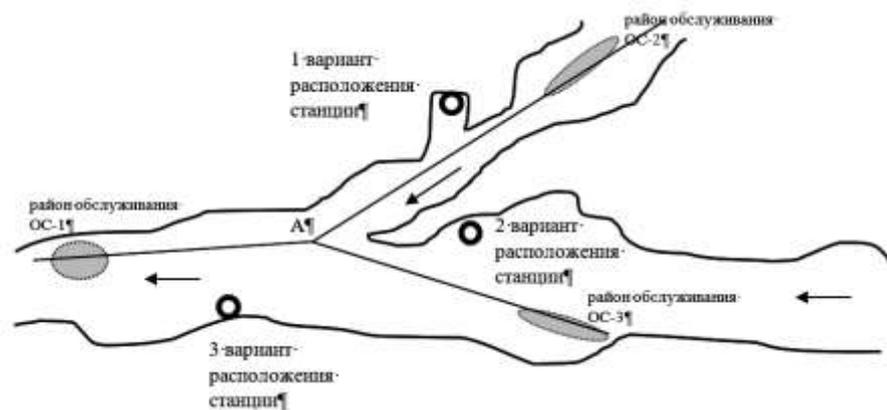


Рис. 1. Различные варианты расположения плавучих внесудовых очистных станций.

Как видно из рис.1, в качестве примера рассматривается три варианта расположения внесудовых очистных станций. «Судно-сборщик» подходит к судну, забирает подсланевую воду и отвозит ее станцию, затратив на перевозку время t_{ij} , где i – признак судна, j – признак варианта расположения станции. Тогда затрачиваемое время можно выразить формулой:

n_{ij} – общее количество рейсов, выполненных по маршруту $i \rightarrow j$.

$$t_{ij} = \frac{2 \cdot L_{ij}}{\vartheta_{ij}} + t_{пр} \quad (1)$$

где L_{ij} – расстояние от «судна-сборщика» до внесудовой очистной станции по j -му варианту;

ϑ_{ij} – средняя скорость движения «судна-сборщика»;

2 – коэффициент, учитывающий необходимость возвращения «судна-сборщика» в свой район обслуживания;

$t_{пр}$ – время приема НПВ с обслуживаемого судна на судно-сборщик.

При этом затраты времени на обслуживание судов при j -ом варианте расположения внесудовой станции составит:

$$T_j = \sum_i (N_{ij} \cdot t_{ij}) \quad (2)$$

где N_{ij} – количество рейсов «судно-сборщика» за навигацию по j -му варианту размещения очистной станции.

Выбор конкретного расположения определяется по критерию минимума совокупных временных затрат:

$$T_j = \sum_i (N_{ij} \cdot t_{ij}) \rightarrow \min \quad (3)$$

Принципиальные схемы плавучих очистных станций могут различаться по назначению, конструкции и обеспеченности оборудованием. Станции могут быть получены в процессе изготовления базового варианта, в которой предусмотрена возможность оснащения (по принципу разных вариантов комплектации) и получения любого, требуемого для определенных условий, то есть варианта технологии внесудовой очистки НПВ, сооружения.

Обсуждение

Стратегия внесудовой очистки подсланевой воды является наиболее целесообразным, а часто единственно возможным способом, позволяющим добиться экологической безопасности эксплуатации судов на внутренних водных путях. При этом такая внесудовая очистка должна рассматриваться как технология перемещения НПВ. Ее содержание определяется условиями: экологическими, навигационными и логистическими, которые могут быть разными для разных участков внутренних водных путей.

Формирование технологии практически всегда может предполагать несколько ее вариантов. Наличие выбора конкретной технологии дает возможность применения оптимального варианта в тех или иных условиях.

При формировании возможных для рассматриваемого участка водных путей технологий допустимо и целесообразно использовать при необходимости принцип размещения отдельных очистных устройств на разных средствах ВПТС. При проектировании и изготовлении очистных устройств целесообразно пользоваться

принципом базового варианта, дооснащение которого позволяет получить любой другой.

Авторами рассмотрен наиболее простой вариант нахождения оптимального решения задачи организации транспортировки НПВ. На практике организация расстановки внесудовых природоохранных технических средств может выглядеть сложнее. Например, может иметь место необходимость расстановки не одной, а нескольких станций. В других случаях технология внесудовой очистки НПВ может включать более узкий круг операций. Иногда операции могут осуществляться одновременно.

Необходимо также отметить, что операции очистки могут быть выполнены с помощью различных технических средств или разными способами. Поэтому при формировании технологии перемещения НПВ необходимо также учитывать возможность расположения отдельных очистных устройств из возможного состава ВТС, а также возможность реализации технологии очистки с применением разных технических средств. Могут быть рассмотрены следующие варианты организации процесса очистки НПВ:

- использование накопительных барж в качестве устройства для организации процесса очистки седиментацией, а процесс окончательной очистки (например, адсорбцией) осуществлять в адсорбционных фильтрах, размещенных на специализированных судах [6, 11];
- использование очистных сооружений, энергетическое обеспечение которых осуществляется от отдельных источников – береговых или специализированных судов (см. выше);
- использование очистных сооружений, оснащенных собственной СЭУ;
- использование очистных сооружений с разным видом их обслуживания – периодическое, постоянное, без обслуживающего персонала.

Заключение

Таким образом, в работе получены следующие результаты:

- показано, что внесудовая очистка НПВ является более актуальной, а часто и единственно возможным способом решения проблемы предотвращения загрязнения окружающей среды;
- показана необходимость формирования технологии перемещения НПВ от судов до сброса очищенной воды в водоем с учетом условий водоотведения и условий эксплуатации судов;
- показаны возможность и целесообразность оптимизации размещения технических средств внесудовой очистки.

Установлены факторы, определяющие упомянутую технологию перемещения НПВ, что позволяет формировать оптимальные ее варианты, которые определяют состав комплекса – инфраструктуру.

Список литературы

1. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года и Протокол 1978 года. — СПб.: Изд-во ЦНИИМФ, 2008. — 706 с.
2. Правила Речного Регистра: в 4 т. — М.: Речной регистр, 2008. — 1430 с.
3. Правила охраны поверхностных вод. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_18252.htm (дата обращения: 11.06.2022).
4. Якименко А.В. Системы очистки сточной воды предприятий как обязательный компонент сохранения окружающей среды// В сборнике: Экологическая безопасность в техносферном пространстве. сборник материалов Третьей Международной научно-

- практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов. Екатеринбург, 2020. С. 211-213.
5. Пластинин А.Е., Домнина О.Л. Оценка экологического риска транспортных происшествий на водных объектах в республике Татарстан// В сборнике: ВЕЛИКИЕ РЕКИ' 2017. труды научного конгресса 19-го Международного научно-промышленного форума: в 3 томах. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. 2017. С. 322-325
 6. Решняк В. И. Регулирование эксплуатационного и аварийного загрязнения окружающей среды на объектах водного транспорта / В. И. Решняк, З. Юзвяк, А. Г. Щуров // Журнал университета водных коммуникаций. — 2013. — № 17. — С. 85–90.
 7. Li Yu, Mei Han, Fang He, A review of treating oily wastewater, Arabian Journal of Chemistry, Volume 10, Supplement 2, May 2017, Pages S1913-S1922, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.020>
 8. Hekkenberg, R. G. Technological Challenges and Developments in European Inland Waterway Transport, Book Chapter published 2015 in Operations Research/Computer Science Interfaces Series on pages 297-313, https://doi.org/10.1007/978-3-319-16133-4_16.
 9. Решняк В. И. Теоретические основы технологии перемещения подсланевой воды, образующейся при эксплуатации судовых энергетических установок / В. И. Решняк, А. И. Каляуш, А. Н. Григорьев // Вестник АГТУ. — Сер.: Морская техника и технология. — 2016. — № 2. — С. 70–76.
 10. Решняк В.И. Система управления экологической безопасностью судов на внутренних водных путях: монография/Решняк В.И.- СПб, Изд-во ГУМРФ им. С.О. Макарова, 2017, 148 с.
 11. Решняк В.И., Пластинин А.Е., Наумов В.С., Слюсарев А.С. Применение озона в процессах очистки нефтесодержащей льяльной (подсланевой) воды// Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4-2 (46). С. 168-173

References

1. The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships of 1973 and the Protocol of 1978. — St. Petersburg: Publishing House of TSNIIMF, 2008. - 706 p
1. 2. Rules of the River Register: in 4 volumes. — M.: River Register, 2008. — 1430 p.
2. Rules for the protection of surface waters. [electronic resource]. — Access mode: http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_18252.htm (date of application: 11.06.2022).
3. Yakimenko A.V. Wastewater treatment systems of enterprises as a mandatory component of environmental conservation// In the collection: Environmental safety in the technosphere space. collection of materials of the Third International Scientific and Practical Conference of teachers, young scientists and students. Yekaterinburg, 2020. pp. 211-213.
4. Plastinin A.E., Domnina O.L. Assessment of environmental risk of transport accidents on water bodies in the Republic of Tatarstan// In the collection: GREAT RIVERS' 2017. proceedings of the Scientific Congress of the 19th International Scientific and Industrial Forum: in 3 volumes. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. pp. 322-325
5. Reshnyak V. I. Regulation of operational and emergency environmental pollution at water transport facilities / V. I. Reshnyak, Z. Yuzvyak, A. G. Shchurov // Journal of the University of Water Communications. - 2013. — No. 17. — pp. 85-90.
6. Li Yu, Mei Han, Fang He, A review of treating oily wastewater, Arabian Journal of Chemistry, Volume 10, Supplement 2, May 2017, Pages S1913-S1922, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.020>
7. Hekkenberg, R. G. Technological Challenges and Developments in European Inland Waterway Transport, Book Chapter published 2015 in Operations Research/Computer Science Interfaces Series on pages 297-313, https://doi.org/10.1007/978-3-319-16133-4_16.
8. Reshnyak V. I. Theoretical foundations of the technology of moving subslane water formed during the operation of ship power plants / V. I. Reshnyak, A. I. Kalyaush, A. N. Grigoriev // Bulletin of ASTU. — Ser.: Marine engineering and technology. - 2016. — No. 2. — pp. 70-76.

9. Reshnyak V.I. Environmental safety management system of vessels on inland waterways: monograph/Reshnyak V.I.- St. Petersburg, Publishing House of GUMRF named after S.O. Makarov, 2017, 148 p.
10. Reshnyak V.I., Plastinin A.E., Naumov V.S., Slyusarev A.S. The use of ozone in the processes of purification of oil-containing bilge (sublayer) water// Marine intelligent technologies. 2019. No. 4-2 (46). pp. 168-173

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Решняк Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и экологии, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: rv53@mail.ru

Valery I. Reshnyak, Dr.Sci.(Eng), Professor, Head of the Department of Chemistry and Ecology, Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, 198035, St. Petersburg, Dvinskaya str., 5/7, e-mail: rv53@mail.ru

Домнина Ольга Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: o-domnina@yandex.ru

Olga L. Domnina, Ph.D.(Eng), assistant professor, Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterovast., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: o-domnina@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 16.05.2022; published online 20.09.2022.

**Научные проблемы
водного транспорта**

**Russian Journal of Water
Transport**

№72(3), 2022

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 17,63. Уч.-изд. л. 24,68.
Заказ 067. 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.