

ISSN 2713-1858 (print)
ISSN 2713-1866 (online)

Russian Journal of Water Transport



**Научные проблемы
водного транспорта**



Издается с 1930 года

Научные проблемы водного транспорта № 68 (3) 2021

№68 (3) 2021



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

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

Научные проблемы водного транспорта

№68 (3) 2021

Предыдущее название «Вестник ВГАВТ» (2002-2019)

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».

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:

- 05.08.01 Теория корабля и строительная механика
- 05.08.03 Проектирование и конструкция судов
- 05.08.04 Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства
- 05.08.05 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

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

Корнев Андрей Борисович, к.т.н., доцент, проректор по научной работе, 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;

Волков Иван Андреевич, д.ф.-м.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, 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;

Зув Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, Институт транспортных систем Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия;

Иванов Валерий Михайлович, к.т.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

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

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;

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

Матвеев Юрий Иванович, д.т.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;

Озина Альбина Михайловна, д.э.н., профессор, Нижегородский институт управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Нижний Новгород, Россия;

Отделкин Николай Станиславович, д.т.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, 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 "Numeerieck 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 №68 (3) 2021

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:

- 05.08.01 Theory of the ship and structural mechanics
- 05.08.03 Ship design and construction
- 05.08.04 Technology of shipbuilding, ship repair and organization of shipbuilding production
- 05.05.05 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: Valeriy.I. Mineev, Dr. Sci. (Econ.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia

Editor In chief deputy: Andrey B. Kornev, Dr. Sci. (Tech.), Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia

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

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

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

Editorial board

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

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

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

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

Ivan A. Volkov, Dr. Sci. (Phys-Math.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

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

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

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

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

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

Valeriy A. Zhev, Dr. Sci. (Tech.), professor, honored worker of Sciences of Russian Federation, Institute of Transportation System NSTU, named after E. Alekseyev;

Valeriy M. Ivanov, Cand. Sci. (Tech.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

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

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 university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

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

Al'bina M. Ozina, Dr. Sci. (Econ.) Dr., professor, Russian academy of national economy and public service under the President of Russian Federation, Moscow, Russia;

Nikolay S. Otdelkin, Dr. Sci. (Tech.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Council

Alekseyev V.Ju., General Manager of public corporation “Port of Kolomna”, Kolomna, Russia;
Bessmertny 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

Е.Г. Бурмистров, Т.А. Михеева Стеклопластики как альтернатива металлам в судоремонте	15
С.Н. Гирич Сопоставительный анализ требований правил Российского Речного Регистра и Российского морского регистра судоходства к конструкции и прочности судов на подводных крыльях	28
И.Ю. Гордлева, С.Д. Гордлеев, И.В. Никитаев Обзор импортозамещения на рынке хаусботов и предложение по выбору силового агрегата с применением гидроприводов.....	40
И.А. Гуляев, Е.П. Роннов Расчет грузоподъемности комбинированных судов в задаче оптимизации главных элементов.....	59
В.С. Игнатович, А.В. Кузьмина, К.В. Перепадя Анализ тяжелых плавучих кранов и особенностей их эксплуатации	68
Ю.А. Кочнев, И.Б. Кочнева Оценка объемов образования отходов металла при утилизации судна.....	81
А.Г. Назаров О пропорциях катамаранов и нормировании их остойчивости.....	88

Эксплуатация судового энергетического оборудования

С.Е. Андрусенко, О.Е. Андрусенко, В.В. Колыванов, Ю.И. Матвеев Механизмы управления рабочим процессом дизельного двигателя	98
А.К. Тюльканов, С.В. Петрашёв, А.А. Панасенко, М.И. Моисеенко Струйная смесительная установка для ввода легкого сыпучего вещества в поток жидкости.....	109

Экономика, логистика и менеджмент на транспорте

Е. В. Зарецкая, С.Г. Митрошин Многофункциональные грузопассажирские линии: предпосылки, история, перспектива и технологические особенности новых концептов.....	120
Н.А.Маркова Анализ денежных доходов населения: вызов времени	134
С.В. Милославская, Е.С. Плотникова Финансирование воднотранспортной инфраструктуры: зарубежный опыт	150
А.И. Телегин, С.В. Милославская, Д.А. Коришонов, Е.С. Наседкина Концепция и алгоритм обоснования транспортно-логистических схем доставки экспортно-импортных сухогрузов с участием речного транспорта России	163

**Эксплуатация водного транспорта, судовождение
и безопасность судоходства**

О.Ю. Васильева, М.В. Никулина, Ю.И. Платов

Выбор эффективных судов по критерию предельной стоимости
при эксплуатационном обосновании 172

В.А. Лобанов

Ледовые инерционные характеристики судов с нетрадиционным
формообразованием 182

CONTENTS

Shipbuilding, ship repair and ecological safety of the ship

- Evgeniy G. Burmistrov, Tatiana A. Mikheeva***
Fiberglass as an alternative to metals in ship repair..... 15
- Stanislav N. Girin***
Comparative analysis of the requirements of the rules of the Russian River Register and the Russian maritime register of shipping to the design and strength of ships on underwater wings..... 28
- Irina Y. Gordleeva, Sergey D. Gordleev, Igor V. Nikitaev***
Overview of import substitution in the houseboat market and a proposal for choosing a power unit using hydraulic drives..... 40
- Ilya A. Gulyaev, Evgeniy P. Ronnov***
Cargo carrying capacity calculation for combined ships in optimization problem for ship's main elements 59
- Vladilen S. Ignatovich, Anna V. Kuzmina, Konstantin V. Perepadya***
Analysis of heavy floating cranes and features of their operation 68
- Yuri A. Kochnev, Irina B. Kochneva***
Estimation of the volume of metal waste generated during ship recycling..... 81
- Albert G. Nazarov***
On proportions of catamarans and regulation of their stability..... 88

Operation of ship power equipment

- Sergey E. Andrusenko, Oleg E. Andrusenko, Vladimir V. Kolyvanov, Yuri I. Matveev***
Work process control mechanisms of diesel engine 98
- Artur K. Tyulkanov, Sergey V. Petrashev, Andrey A. Panasenko, Mikhail I. Moiseenko***
Jet mixing unit for introducing a light bulk substance into a liquid stream..... 109

Economics, logistics and transport management

- Ekaterina V. Zaretskaya, Sergey G. Mitroshin***
Multifunctional cargo and freight lines: prerequisites, history, perspectives and technological highlights of new concepts 120
- Natalya A. Markova***
Analysis of monetary income of the population: time challenge..... 134
- Svetlana V. Miloslavskaya, Elena S. Plotnikova***
Financing of water transport infrastructure: foreign experience 150
- Anatoly I. Telegin, Svetlana V. Miloslavskaya, Dmitry A. Korshunov, Ekaterina S. Nasedkina***
Concept and algorithm of justification of transport and logistics schemes for delivery of export-import dry cargo with participation of river transport of Russia 163

Operation of water transport, navigation and safety of navigation

Oksana Y. Vasileva, Marina V. Nikulina, Juri I. Platov

Selection of efficient ships according to the criterion of marginal price at the feasibility study..... 172

Vasily A. Lobanov

Ice inertial characteristics of vessels with nontraditional form..... 182

СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА

SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ECOLOGICAL SAFETY OF THE SHIP

УДК 629.12

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.202>

Стеклопластики как альтернатива металлам в судоремонте

Е.Г. Бурмистров¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0385-0847>

Т.А. Михеева¹

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

Аннотация. В статье приводятся промежуточные результаты исследования, выполняемого с целью определения перспектив снижения металлоёмкости судоремонта. Областью исследования является судоремонт, в частности, ремонт корпусов и надстроек металлических судов, а объектом – применяемые при ремонте стеклопластики, их прочность и долговечность. Исследования выполнялись с применением известных методов – самопроизвольного отслаивания, среза, предельных состояний. Полученные результаты позволили установить, что применение стеклопластиков позволяет снизить металлоёмкость ремонта судов в три раза. Кроме того, в статье излагается методика расчёта толщины стеклопластикового покрытия, равноценного по прочности металлическому дублёру, а также приводятся выражения для оценки расчётного сопротивления покрытия, определяющего его долговечность. В заключение сделан вывод о необходимости расширения зоны исследования применимости стеклопластиков при ремонте судов, не ограничивая её только такими очевидными объектами ремонта как корпус, надстройка, трубопроводы.

Ключевые слова: судоремонт, металлоёмкость, стеклопластик, адгезия, когезия, прочность клеевого соединения.

Fiberglass as an alternative to metals in ship repair

Evgeniy G. Burmistrov¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0385-0847>

Tatiana A. Mikheeva¹

¹*Volga State University of Water Transport, Russia*

Abstract. The article presents the intermediate results of a research carried out to determine the prospects for reducing the metal consumption of ship repair. The area of research is ship repair, in particular, the repair of hulls and superstructures of metal ships, and the object is fiberglass used in the repair, in particular, their strength and durability. The studies were carried out using well-known methods - spontaneous peeling, shearing, limiting states. The results obtained made it possible to establish that the use of fiberglass plastics can reduce the metal consumption of ship repairs by three times. In addition, the article describes the method for calculating the thickness of a fiberglass coating, which is equivalent in strength to a metal backup, and also provides expressions for evaluating the calculated resistance of the coating, which determines its durability. In conclusion, it was concluded that it is necessary

to expand the study area of the applicability of fiberglass during the repair of ships, not limiting it only to such obvious objects of repair as the hull, superstructure, and pipelines.

Keywords: ship repair; metal consumption; fiberglass; adhesion; cohesion; strength of adhesive joint

Введение

В процессе эксплуатации речные и морские суда получают различные повреждения. Это может происходить при погрузо-разгрузочных работах, швартовных операциях, посадке на мель, усталости металла при длительном сроке эксплуатации и т.п. [1]. При этом повреждения получает не только металлический корпус судна, но и стенки надстроек, рубок, элементы движительно-рулевого комплекса (ДРК), трубопроводы, детали и узлы различных механизмов.

В настоящее время на судоремонтных предприятиях восстановление повреждённых при эксплуатации корпусов и иных элементов судов в основном осуществляется с применением металла (сталь, сплавы на основе алюминия). Значительно реже используются альтернативные материалы: древесина, железобетон, пластмассы. Однако в связи со значительным подорожанием на мировых рынках металла, а также в связи с высокой материалоемкостью судоремонта, в мире активизировались поиски более дешёвых и в то же время сопоставимых по характеристикам прочности, надёжности, долговечности заменителей. В качестве одного из таких заменителей рассматриваются стеклопластики, которые представляют собой самостоятельную группу полимеров сложной композиции (смола с различными добавками и армирующий материал). Благодаря ряду характерных только для стеклопластиков свойств, в частности возможности варьирования в широком диапазоне соотношения клеевой композиции и наполнителя, можно получать значительно различающиеся по техническим характеристикам материалы и создавать изделия под конкретные задачи [2, 3]. Именно это свойство делает стеклопластики весьма перспективными для применения в судоремонте.

Стеклопластиковые дублёры характеризуются: отличными антикоррозионными свойствами, хорошей стойкостью против химических, электрохимических и биологических разрушений; инертностью к воздействию ультрафиолетовых лучей, высокой влажности, атмосферным осадкам. Кроме того, стеклопластики имеют значительно меньшую плотность и массу и при этом прочность на уровне высококачественных конструкционных сталей. Коридор температур эксплуатации составляет от -60°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Уникальные физические свойства, как то: электроизолирующая способность, низкие влагопоглощение, коэффициент теплового расширения, теплоёмкость и теплопроводность, относительная низкая, по сравнению со сталью, стоимость производства, делают стеклопластики достойной альтернативой металлам. Несмотря на наличие некоторых недостатков (низкий модуль упругости, слабая износостойкость, снижение прочности со временем и возникновение деформаций), в настоящее время стеклопластик можно считать материалом, в котором хорошо сочетаются высокие технологические и прочностные качества и доступная цена [4].

Методы

Исследование применимости стеклопластиков в судоремонте проводится на базе кафедры проектирования и технологии постройки судов с конца 1980-х гг. по настоящее время. За этот период накоплена обширная статистическая база не только по объектам ремонта на судах с применением стеклопластиков, но и по работоспособности в различных эксплуатационных условиях (то есть надёжности и долговечности). Поскольку в судоремонте в указанный период использовались в

основном стеклопластики на основе многокомпонентных клеевых составов советского, а затем и российского производства серии «Спрут» со стандартными техническими характеристиками, соответствующими патенту SU 668334 и РД 39-30-968-83, полученная статистика характеризует эту группу стеклопластиков как наиболее востребованную.

Целью исследований является оценка перспектив снижения металлоёмкости судоремонта за счёт расширения применения стеклопластиков для восстановления характеристик и свойств объектов ремонта на современных судах (корпус, надстройки, ДРК, трубопроводы и т.д.).

В исследовании задействованы различные теоретические и экспериментальные методы. В частности, адгезионная прочность стеклопластиковых композиций определялась методом самопроизвольного отслаивания и методом среза с учётом результатов исследований межфазной прочности композитов, выполненных Б. Махато, В. Бабаринде, С. Абаимова и др. [5-7], а также по методу предельных состояний. С целью сравнения в табл. 1 представлены основные характеристики альтернативных материалов, применяемых в судоремонте.

Таблица 1

Характеристики материалов для судоремонта

Наименование характеристики	Армированный стеклопластик	Пластмассы	Углеродистая сталь	Алюминиево-магние-вые сплавы	Материалы на основе древесины
Плотность, т/м ³	1,6...2,0	1,4	7,8	2,7	0,5...0,6
Предел прочности при изгибе, МН/м ²	690...1240	80...110	400	275	48,5...68,0
Разрушающее напряжение (изгиб), МПа	690...1240	80...110	400	275	48,5...68,0
Разрушающее напряжение (растяжении/сжатие), МПа	410...1180	41...48	410...480	80...430	20,8...87,8
Модуль упругости, ГПа	21...41	2,8	210	70	8,7...10,3
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	0,30...0,35	0,3	46	140...190	0,26...0,28
Коэффициент расширения, 10 ⁻⁶ м С ⁻¹	5...14	57...75	11...14	2,2...2,3	29,7...31,3

Плотность и масса стеклопластикового композита определяется объёмом армирования и применяемым для этого материалом. В среднем она составляет 1,6...2,0 т/м³. Анализ табл. 1 показывает, что стеклопластик примерно в 5 раз легче стали и примерно в 2 раза легче алюминиевых сплавов. При этом предел его прочности существенно ниже, чем у стали, но и удельная прочность заметно выше. То есть, известный из работ [1-8] и исследований других авторов тезис о превосходстве современных композиционных материалов над традиционными конструкционными по многим параметрам, находит своё подтверждение.

В условиях серьёзной конкуренции на мировом рынке судоремонтных услуг весьма остро стоит вопрос о сокращении сроков ремонта судов. Как показывают исследования авторов, а также результаты, представленные в работе [9], применение стеклопластиков может способствовать решению и этой задачи. То есть, в конечном счёте, повысить экономическую эффективность судоремонта.

Одной из важнейших проблем при эксплуатации судов является повышенный коррозионный износ конструкций их корпусов и надстроек, так как они непрерывно подвергаются повышенному агрессивному воздействию окружающей среды. Возникновение и интенсивность коррозии обусловлены многими факторами и хорошо описаны, например, в работе [10]. В практике судоремонта выделяют

несколько видов коррозии (см. рис. 1). Обычно коррозия на связях корпуса распределена более или менее равномерно по всей поверхности связи. Однако часто встречаются и случаи коррозии пятнами или в виде язв.

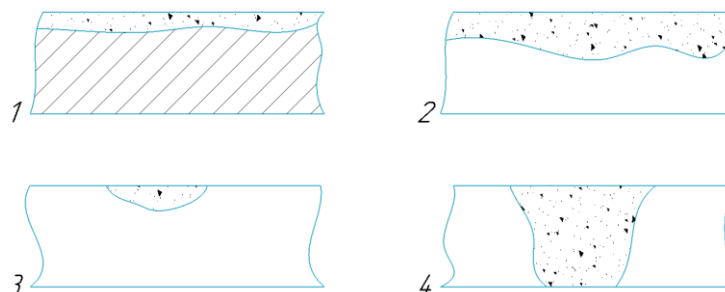


Рис. 1. Виды коррозии: 1 – равномерная; 2 – неравномерная; 3 – пятнами; 4 – сквозная

Fig. 1. Types of corrosion: 1 - uniform; 2 - uneven; 3 - spots; 4 – through

Показательными в этом отношении являются результаты обследования корпусов пассажирских теплоходов «Денис Давыдов», «Александр Невский», «Лев Толстой» (пр. 508), «Пётр Андрианов» (пр. 80) и др. Данные дефектации показали, что корпусные конструкции, в частности, открытые палубы указанных теплоходов, характеризуются всеми возможными видами коррозионных разрушений [10]. Для металлических палуб этих судов, при непосредственном участии авторов, была разработана технология их ремонта с помощью стеклопластика на основе клеевой композиции «Спрут-9М». Технология, в целом, предполагает выполнение традиционных технологических операций от специальной подготовки поверхности до финишной обработки. Принципиально важным здесь является толщина наносимого клеевого слоя. При равномерном износе она должна быть не более 1 мм. В других случаях толщина клеевого слоя от 1,5 до 5 раз больше, особенно во впадинах. При коррозионном износе 5...10% по слою клея прикатывается слой стеклоткани (см. рис. 2). В местах сквозной коррозии, а также при наличии коррозии 10...25 % по слоям клея прикатываются два и более слоя стеклоткани, в зависимости от степени повреждения (см. рис. 3). На участки со сквозной коррозией на стеклотканевый дублёр по прошествии суток имеет смысл нанесение специального шпатлёвочного состава (пасты) на основе той же клеевой композиции «Спрут-9М».

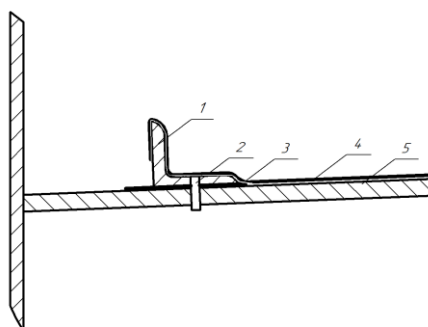


Рис. 2. Схема ремонта палубы (износ 5-10%) в районе ватервейса с одинарным слоем стеклоткани: 1 – ватервейс в виде угольника; 2 – крепёжный винт; 3 – клеевой слой; 4 – слой стеклоткани; 5 – палуба

Fig. 2. Deck repair scheme (5-10% wear) in the waterway area with a single layer of fiberglass:
1 - waterway in the form of a square; 2 - fixing screw; 3 - adhesive layer; 4 - a layer of fiberglass; 5 - deck

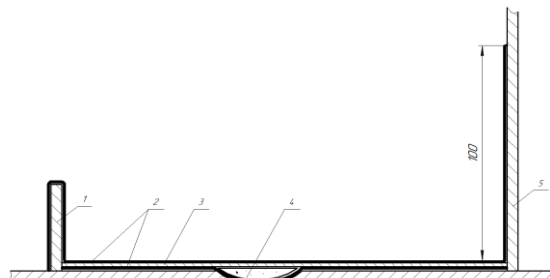


Рис. 3. Схема ремонта палубы с двойным слоем стеклоткани при сквозной коррозии между ватервейсом и стенкой надстройки:

1 – ватервейс в виде полосы; 2 – слой стеклоткани; 3 – дублирующая тонколистовая металлическая накладка; 4 – шпатлёвка; 5 – палуба

Fig. 3. Scheme of the deck repair with a double layer of glass panes in case of through corrosion between the waterway and the superstructure wall: 1 - waterway in the form of a strip; 2 - layers of fiberglass; 3 - duplicating thin-sheet metal plate; 4 - putty; 5 - deck

Для расчёта толщины стеклотканевого дублёра использовали формулу:

$$\delta_n = \frac{m}{S \cdot \rho_{ст} \cdot k_{пр}}, \quad m, \quad (1)$$

Где m – масса клеевой композиции, кг;

S – площадь ремонтируемого участка (площадь стеклопластикового дублёра), m^2 ;

$\rho_{ст}$ – плотность армирующего материала (стеклоткани), $кг/м^3$;

$k_{пр}$ – коэффициент пропитки армирующего материала клеевой композицией ($k_{пр}=0,8...1,0$).

Причём $\delta_n \geq \delta_{ст}$, где $\delta_{ст}$ – толщина армирующего материала.

Перепуск накладки от границы сквозной коррозии должен быть более 70...75 мм.

Для расчёта толщины накладки (дублёра) (δ_d) использовали выражение:

$$\delta_d = k_{проч} \cdot (h - h'), \quad m, \quad (2)$$

Где $k_{проч}$ – коэффициент прочности, определённый эмпирическим путём ($k_{проч}=1,0...1,3$);

h – проектная толщина ремонтируемой связи, мм;

h' – минимально допустимая остаточная толщина связи, мм.

Проведённые авторами сравнительные испытания клеестеклотканевого и клеёметаллического экспериментальных соединений показали: а) прочностные характеристики обоих вариантов достаточны для сохранения прочности отремонтированной локальной поверхности корпусных конструкций; б) толщины стеклотканевого покрытия и металлического дублёра, рассчитанные по формулам (1) и (2), адекватны требованиям обеспечения локальной прочности; в) клеевые композиции, использованные в обоих вариантах, могут отличаться неоднородностью, что может сказываться на их свойствах, в частности, на образовании дефектов. Последнее, по-видимому, обусловлено тем, что многокомпонентные клеевые составы представляют собой гетерогенные системы, свойства компонентов в которых существенно различны [11].

Одним из наиболее характерных для стеклопластиков дефектов являются трещины. Авторами установлено, что трещина, начиная с момента зарождения, может либо расти с постоянной скоростью, либо увеличиваться с ускорением, либо её рост может замедляться вплоть до полной остановки даже при стабильной нагрузке. Из источников [9, 11] известно, что прочность клеевого соединения определяется адгезионными и когезионными связями. Разрушения классифицируются, соответственно, как адгезионные (в клеевой композиции) и когезионные (в материале основы) и их соотношение в соединении будет определять вид разрушения [12].

Практика показывает, что разрушение стеклопластикового дублёра, как правило, начинается с пограничного слоя. Поэтому при анализе качества этих соединений необходимо учитывать так называемые «взаимосвязи Бикермана». В целом они описываются зависимостью следующего вида:

$$K = (\alpha \cdot f + \sigma_{\text{вн}}) \cdot \beta, \quad \text{МПа}, \quad (3)$$

где K – когезия (когезионная прочность соединения);

f – молекулярная прочность соединения, МПа;

$\sigma_{\text{вн}}$ – внутренние (разрушающие) напряжения, МПа;

α – коэффициент разности механических свойств клея и материала основы (субстрата);

β – коэффициент структурной неоднородности клеевой композиции.

Как показывают результаты исследований авторов, данное уравнение не учитывает изменение структуры клеевой композиции в процессе её полимеризации. А именно это, на наш взгляд, определяет появление в ней внутренних напряжений. С учётом этого обстоятельства зависимость (3) корректнее представить следующим образом:

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{K}{\beta} - \sigma_{\text{п}} \right), \quad \text{МПа}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{п}}$ – потенциальные напряжения, МПа:

$$\sigma_{\text{п}} = \frac{E(\delta_0 - \delta_1)}{\delta_0} \cdot k, \quad \text{МПа}, \quad (5)$$

где E – модуль упругости клея, МПа;

k – коэффициент разнотолщинности слоя клея.

Формулы (4) и (5) проверены авторами экспериментально. Опыты проводились с разрушением образцов на: 1) сдвиг; 2) равномерный и 3) неравномерный отрыв. В основу опытов было положено предположение, что повышение температуры полимеризации, а также факторы, ослабляющие внутренние напряжения в стеклопластике, приводят к увеличению его прочности.

Наиболее интересные результаты получились в опытах на сдвиг соединений из пластин внахлест и нормальный отрыв с образцами, взятыми с теплохода «Денис Давыдов». Эти образцы отличались наличием характерных концентроров напряжений.

Модуль сдвига шва рассчитали как:

$$\sigma_{\text{к}} = \tau \cdot \gamma \cdot k_{\text{шер}}, \quad \text{МПа}, \quad (6)$$

Где τ – средние напряжения в шве:

$$\tau = \frac{P}{F}, \quad \text{МПа}, \quad (7)$$

где P – усилие разрушающее, МПа;

F – площадь для нанесения дублёра, мм²;

$k_{\text{шер}}$ – коэффициент шероховатости поверхности образца ($k_{\text{шер}}=1,0...1,5$);

γ – сдвиг относительный:

$$\gamma = \frac{\Delta l}{\delta_{ш}}, \quad \text{мм}, \quad (8)$$

Где Δl – смещение клеевого шва:

$$\Delta l = l - l_1, \quad \text{мм}, \quad (9)$$

где l – начальная длина клеевого шва, мм;

l_1 – длина клеевого шва после испытаний на сдвиг, мм;

$\delta_{ш}$ – толщина клеевого шва (мм), где с учётом формулы (5) $\delta_{ш} = \delta_1$:

$$\delta_{ш} = \frac{\sigma_k \cdot \Delta l \cdot k_{шер}}{\tau}, \quad \text{мм}. \quad (10)$$

Расчёт σ_k позволил рассчитать толщину клеевого соединения, при котором $\tau \rightarrow \max$.

Кроме того, выполненные эксперименты показали, что в нахлесточных соединениях имеет место концентрация напряжений, как при сдвиге, так и при отрыве. Анализ результатов экспериментов с нахлесточными соединениями показывает, что и чисто стеклопластиковые дублёры, и стеклопластиковые дублёры с металлическими накладками обеспечивают запас прочности 25...35% (см. табл. 2). То есть, и стеклопластиковый дублёр и стеклопластиковый дублёр с металлическими накладками могут рассматриваться как слой материала, приклеенного к основе [13]. Поэтому, для расчёта клеевого соединения можно предложить следующую формулу:

$$n \cdot r \cdot Q \leq m \cdot R \cdot S, \quad (11)$$

где $n=1,5$ – коэффициент концентрации напряжений;

$r=1,1$ – коэффициент, учитывающий возможное превышение нормативной нагрузки;

Q – нормативная нагрузка, кг;

m – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации);

R – расчётное сопротивление;

S – площадь склеиваемых поверхностей, см²

Таблица 2

Данные испытаний натуральных образцов стеклопластиков на прочность

Описание образца	Вид покрытия	Площадь образца, см ²	Разрушающая нагрузка, МПа	Характер разрушения
Металл с равномерным коррозионным износом	Металл без покрытия	105	1,52	Разрыв по основному металлу
	Полимеркомпозит, армированный стеклотканью в 1 слой по клею «Спрут-9М»	105	1,87	
	Полимеркомпозит, армированный стеклотканью в 1 слой с дублирующей металлической накладкой по клею «Спрут-9М»	105	2,16	
Металл с неравномерным коррозионным износом	Металл без покрытия	105	1,48	
	Полимеркомпозит, армированный стеклотканью в 1 слой по	105	1,77	

	клею «Спрут-9М»			
	Полимеркомпозит, армированный стеклотканью в 1 слой с дублирующей металлической накладкой по клею «Спрут-9М»	105	2,03	
Металл с коррозионным износом пятнами	Металл без покрытия	105	1,41	
	Полимеркомпозит, армированный стеклотканью в 1 слой по клею «Спрут-9М»	105	1,76	
	Полимеркомпозит, армированный стеклотканью в 1 слой с дублирующей металлической накладкой по клею «Спрут-9М»	105	2,01	

Для удобства использования формулу (11) лучше представить следующим образом:

$$n \cdot r \cdot Q \leq m \cdot k_o \cdot k_{д.с.} \cdot R \cdot S, \quad (12)$$

где k_o – коэффициент однородности;

$k_{д.с.}$ – коэффициент длительного сопротивления для полиэфирных клеев.

Подставляя в формулу числовые значения коэффициентов, получим:

$$1,5 \cdot 1,1 \cdot Q < (0,6 \dots 0,8)(0,35 \dots 0,70)(0,50 \dots 0,55)R_H \cdot S, \quad (13)$$

где R_H – нормативное сопротивление, МПа.

В целях обеспечения равных условий при оценке прочности стеклопластиковых дублёров и стеклопластиковых дублёров с металлической накладкой в обоих случаях применялся метод предельных состояний [13]. В ходе расчётов определялся коэффициент нормативного сопротивления R_H , связывающий между собой коэффициент длительного сопротивления нагрузкам и предел прочности при кратковременном нагружении. В результате определили диапазон значений коэффициента $k_{д.с.}$, входящего в формулу (12), и значений коэффициента k_o , входящего в ту же формулу. При оптимальных режимах склеивания $k_{д.с.}=0,50\dots0,55$ и $k_o=0,35\dots0,70$. Конкретные значения этих коэффициентов определяются условиями эксплуатации [14].

Произведение R_H на k_o даёт величину расчётного сопротивления:

$$R = k_o R_H, \quad \text{МПа.} \quad (14)$$

На основе анализа и обобщения изложенного авторами получена формула для расчёта R при кратковременном нагружении образцов

$$R = k_o \cdot k_{д.с.} R_H, \quad \text{МПа,} \quad (15)$$

Так как распределение напряжений в клеевом соединении под нагрузкой неравномерно, очевидно, что полученные результаты можно считать условными, а для повышения их достоверности необходимо учитывать наличие концентраторов напряжений, действующие усилия и т.д. Тогда для соединения внахлёт имеем:

$$n \cdot N \leq m \cdot R \cdot l \cdot b, \quad (16)$$

где N – усилие, на которое рассчитывается соединение, кг:

$$N = r \cdot Q, \quad \text{МПа.} \quad (17)$$

l и b – длина и ширина клеевого шва, см.

Коэффициент r в формуле (17) принимает следующие значения: $r=1,1$ – в расчёте на собственный вес; $r=1,4$ – с учётом снеговой нагрузки; $r=1,2$ – с учётом ветровой нагрузки.

Для учёта условий эксплуатации соединения целесообразно использовать коэффициент m (входит в формулу (11)), который зависит не только от свойств клеевой композиции, но и от свойств соединяемых материалов. При нормальных условиях $m=0,6...0,8$. При повышенной (+60...+80 °C) температуре $m=0,1...0,2$.

Коэффициентом n (так же входит в формулу (11)) можно достаточно адекватно учесть неравномерность сдвигающих усилий в соединения. Этот коэффициент в основном зависит от геометрии ремонтируемой поверхности и свойств клеевой композиции [15-18]. При толщине клеевой прослойки 0,1 толщины соединяемых элементов $n=1,5$.

Результаты

По результатам уже выполненной части исследования, основные положения которого изложены в настоящей статье (само исследование продолжается), может быть создана методика расчёта прочности стеклопластиковых дублёров (в том числе, с металлическими накладками) для ремонта корпусов и надстроек металлических судов, трубопроводов различных судовых систем, а также методика прогнозирования долговечности таких соединений. Суть такой методики уместно проиллюстрировать следующим примером.

Допустим, что локальная зона палубы, которая рассчитана на нагрузку $Q=1000$ кг имеет площадь $S=1,0$ м². Она отремонтирована стеклопластиковым композитом на основе многокомпонентного клеевого состава «Спрут-9М» и одного слоя стеклоткани. Подставляя эти данные в расчётное выражение (16) имеем:

$$1,5 \cdot 1,1 \cdot 1000 < 0,6 \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 8,86 \cdot 1000 \cdot 1650 \text{ кг} < 9303 \text{ кг.}$$

Из полученного результата следует, что при действии статических нагрузок прочность данного отремонтированного участка палубы достаточна.

Дальнейшее сопоставление предельных углов изгиба получившегося «сэндвича» стеклопластик-металл с аналогичными углами изгиба продольных связей корпуса судна подтверждает, что гибкость «сэндвича» лежит в допустимом диапазоне. Результаты расчёта толщины слоя стеклоткани ($\delta_{ар}$) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Толщины полимеркомпозита при ремонте судовых корпусных конструкций

Разность между нормативным и фактическим износом, $\Delta\delta$, мм	Толщина связи корпуса судна, δ_0											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Толщина стеклопластикового полимеркомпозита, $\delta_{ар}$											
0,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,0	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5
1,0	-	2,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0	5,5	6,0	6,0	6,5	6,5
1,5	-	3,0	3,5	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,0
2,0	-	-	4,0	5,0	5,5	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
2,5	-	-	5,0	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0	10,0
3,0	-	-	-	6,0	6,5	7,0	8,0	8,5	9,5	10,0	-	-
3,5	-	-	-	7,5	7,0	7,5	8,5	9,0	10,0	-	-	-
4,0	-	-	-	-	7,5	8,0	8,5	9,5	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	10,5	8,5	9,0	10,0	-	-	-	-
5,0	-	-	-	-	-	10,0	9,5	10,0	-	-	-	-

Обсуждение

Выполненное исследование применения стеклопластиков в судоремонте позволяет предположить их высокую перспективность для снижения металлоёмкости

судоремонта. Из анализа табл. 1 следует, что металлоёмкость ремонта локальных поверхностей ремонтируемых объектов на судне может быть снижена более чем в три раза. При этом результаты исследования позволяют констатировать, что во многих случаях возможно полное восстановление утраченных характеристик и свойств широкого спектра объектов ремонта (корпус, надстройки, трубопроводы, ДРК и т.д.), о чём свидетельствует обширная статистика. То есть, стеклопластики сегодня – значительно более дешёвая и в то же время сопоставимая по прочности, надёжности, долговечности альтернатива металлам.

В ходе исследований применялись: метод самопроизвольного отслаивания, метод среза и метод предельных состояний – известные и хорошо зарекомендовавшие себя методы исследования прочности полимерных покрытий. Их использование подтверждает достоверность полученных результатов. На основе этих методов, а также с использованием известных формул (1) и (2), в частности, рассчитаны толщины стеклопластикового покрытия, равноценного по прочности металлическому дублёру, и получены формулы (14) и (15) для определения расчётного сопротивления R покрытия (необходима для оценки долговечности покрытия). Результаты данной части исследований позволили получить практические данные испытаний натуральных образцов на прочность (табл. 2), а также толщины армирующего слоя стеклопластика при ремонте судовых корпусных металлоконструкций (табл. 3). Кроме того, экспериментально были установлены диапазоны изменения коэффициента длительного сопротивления соединений ($k_{д.с.}$) и коэффициента однородности (k_o), входящих в формулу (12) для расчёта клевого соединения.

То есть, в целом, поставленная авторами цель и задачи выполнены, хотя за пределами рассмотрения остался ряд весьма важных аспектов применения стеклопластиков (и полимеркомпозитов в целом) в судоремонте. Все эти аспекты требуют отдельного рассмотрения, поскольку каждому из них присущи весьма специфические особенности.

Заключение

Результаты исследований позволяют сформулировать следующие выводы:

- 1) применение стеклопластиков позволяет снизить металлоёмкость ремонта локальных зон ремонтируемых объектов на судне более чем в 3 раза;
- 2) при правильном определении толщины стеклопластиковых дублёров возможно полное восстановление утраченных характеристик и свойств широкого спектра объектов ремонта. Эффект усиливается при дополнительном использовании тонколистовых металлических дублёров (там, где это возможно);
- 3) использованные в исследовании методы позволили рассчитать толщины стеклопластикового покрытия, равноценного по прочности металлическому дублёру, а также получить расчётные выражения (14) и (15) для определения расчётного сопротивления R покрытия, во многом определяющего его долговечность;
- 4) экспериментально установлены диапазоны изменения коэффициента длительного сопротивления соединения ($k_{д.с.}$) и коэффициента однородности (k_o), входящих в формулу (12) для расчёта клевого соединения. Они составляют соответственно: для $k_o=0,35...0,70$; для $k_{д.с.}=0,50...0,55$;
- 5) необходимо расширять зону исследования применимости стеклопластиков (и полимеркомпозитов в целом) при ремонте судов, не ограничивая её только наиболее очевидными объектами ремонта (корпус, надстройка, трубопроводы), но и распространяя их на другие элементы судов (элементы судовых механизмов, ДРК; различные судовые устройства и проч.);
- 6) необходимо продолжать комплексные исследования прочности и долговечности полимерных покрытий на судах, в том числе не только при действии статических напряжений и постоянной температуре, но и при циклических

напряжениях и температуре знакопеременной, так как именно они характерны для реальных условий эксплуатации судов.

Список литературы

1. Нелюб В.А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек//Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 5. С. 21-24.
2. Гуменюк Н.С., Грушин С.С. Применение композитных материалов в судостроении/ Н.С. Гуменюк, С.С. Грушин // Современные наукоемкие технологии. 2013. №8. С. 116-117.
3. Мишкин, С.И. Полимерные композиционные материалы в судостроении / С.И. Мишкин, М.С. Дориомедов, А.И. Кучеровский // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2017 – Вып. 1 (25) – с. 60-70.
4. Каблов Е.Н. Конструкционные и функциональные материалы -основа экономического и научно-технического развития России // Вопросы материаловедения. 2006. №1. С. 64-67.
5. B. Mahato, V. Babarinde, S. Abaimov, S. Lomov, I. Akhatov, Interface strength of glass fibres in polypropylene: dependence on the cooling rate and the degree of crystallinity John Wiley & Sons Inc. (United States), № 41, p. 1310-1322 doi:1002/pc.25456.
6. Sanjay K. Nayak, Smita Mohanty, Sushanta K. Samal, The effect of interfacial adhesion on the structural-mechanical behavior of hybrid composites January 2009 polymer composites 31(7):1247 – 1257 doi:10.1002/pc.20914.
7. N. Sugihara, F. R. Jones, Improving The Adhesion Of High-Performance Polymer Fibers Using Functional Plasma-Polymer Coatings March 2009 Polymer Composites 30 (3): 318 – 327 doi:10.1002/pc.20603.
8. Alexandre Wahrhaftig, Henrique Ribeiro, Ademar Nogueira. A structural composite for marine boat constructions. Marine Composites // Woodhead Publishing Series in Composites. Design and Performance. Science and Engineering 2019, Pages 301-314. DOI 10.1016/B978-0-08-102264-1.00010-8.
9. Anoshkin A.N., Vil'deman V.E., Lobanov D.S., Chikhachev A.I. Evaluation of repair efficiency in structures made of fibrous polymer composite materials // Mechanics of Composite Materials. – 2014. – Vol. 50. – No. 3, – pp.311-316. – DOI 10.1007/s11029-014-9416-0.
10. Тихомиров, А.В. Научные основы технологий получения полимерных изделий и покрытий в судостроении и в судоремонте : монография / А.В. Тихомиров. – Москва : РУСАЙНС, 2017. – 248 с. ISBN 978-5-4365-1885-5.
11. Cao J., Cheng H.S., Lee W., Padvoiskis J., Peng X.Q., Akkerman R., Graaf E.F.De., Boisse P., Hivet G., Launay J., Luycker E.De., Morestin F., Chen J., Gorczyca J.L., Liu L., Sherwood J., Harrison P., Long A., Wiggers J., Lomov S.V. et al. Characterization of mechanical behavior of woven fabrics: Experimental methods and Benchmark results // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2008. – Т. 39. – № 6. – P. 1037-1053.
12. G. Sorkin, C.H. Pohler, A.B. Stavovy, F.F. Borriello. An overview of fatigue and fracture for design and certification of advanced high performance ships // Engineering Fracture Mechanics Volume 5, Issue 2, June 1973, Pages 307-352. DOI 10.1016/0013-7944(73)90025-8.
13. Лобанов Д.С., Вильдеман В.Е., Бабин А.Д., Гринев М.А. Экспериментальные исследования влияния внешних воздействий и загрязняющих сред на работоспособность волокнисто-армированных полимерных композиционных материалов // Механика композитных материалов. – 2015, Вып. 51. – №1 – с. 69-76.
14. Мацевич, Т.А. Анализ влияния химического состава и концентрации компонентов смеси полимер-растворитель на ее предел принудительной упругости и вязкость / Т.А. Мацевич, А.А. Аскадский, О. Коврига, А. Мацевич // Международная полимерная наука и технология. – 2017 – Т. 44, №. 7 – С. 27–32. DOI: 10.1177/0307174X1704401005.
15. Vallons K., Adolphs G., Lucas P., Lomov S.V., Verpoest I. The influence of the stitching pattern on the internal geometry, quasi-static and fatigue mechanical properties of glass fibre non-crimp fabric composites // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2014. – Volume 56. – pp. 272-279.
16. Helbling C., Karbhari V.M., Durability. Assesment of Combined Enviromental Epo-sur and Bending /In.: Proc. of 7-th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. Concrete Structures (FRPRCS-7). New Orlean, Loisiaana, USA. – 2005. – pp. 1379-1418.
17. Бабушкин, А.В. Экспериментальное исследование и моделирование свойств композиционных материалов в условиях сложных термомеханических воздействий / А.В. Бабушкин, Д.С.

Лобанов // Фундаментальные проблемы теоретической и прикладной механики. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2011, № 4 (5), с. 1984-1986.

18. Болотин, В.В. Трещиностойкость композитных материалов на полимерных связующих при повышенных температурах / А.Е. Ефимов, Н.С. Мезенцев, И.В. Шебунин, В.Н. Щугорев // Механика композитных материалов. – 1988. – №5. – С.839-844.

References

1. Nelyub V. A. The use of polymer composite materials in shipbuilding for the repair of ship superstructures//Repair, restoration, modernization. 2013. No. 5. pp. 21-24. (in Russ)
2. Gumenyuk N. S., Grushin S. S. Application of composite materials in shipbuilding / N. S. Gumenyuk, S. S. Grushin // Modern high-tech technologies. 2013. No. 8. С. 116-117. (in Russ)
3. Mishkin, S. I. Polymer composite materials in shipbuilding / S. I. Mishkin, M. S. Doriomedov, A. I. Kucherovsky // News of Materials Science. Science and Technology. - 2017-Issue 1 (25) - pp. 60-70. (in Russ)
4. Kablov E. N. Structural and functional materials -the basis of economic and scientific-technical development of Russia // Questions of materials science. 2006. No. 1. S. 64-67. (in Russ)
5. B. Mahato, V. Babarinde, S. Abaimov, S. Lomov, I. Akhatov, Interface strength of glass fibres in polypropylene: dependence on the cooling rate and the degree of crystallinity John Wiley & Sons Inc. (United States), No. 41, p. 1310-1322 doi:1002/pc.25456.
6. Sanjay K. Nayak, Smita Mohanty, Sushanta K. Samal, The effect of interfacial adhesion on the structural-mechanical behavior of hybrid composites January 2009 polymer composites 31(7):1247 – 1257 doi:10.1002/pc.20914.
7. N. Sugihara, F. R. Jones, Improving The Adhesion Of High-Performance Polymer Fibers Using Functional Plasma-Polymer Coatings March 2009 Polymer Composites 30 (3): 318 – 327 doi:10.1002/pc.20603.
8. Alexandre Wahrhaftig, Henrique Ribeiro, Ademar Nogueira. A structural composite for marine boat constructions. Marine Composites // Woodhead Publishing Series in Composites. Design and Performance. Science and Engineering 2019, Pages 301-314. DOI 10.1016/B978-0-08-102264-1.00010-8.
9. Anoshkin A.N., Vil'deman V.E, Lobanov D.S., Chikhachev A.I. Evaluation of repair efficiency in structures made of fibrous polymer composite materials // Mechanics of Composite Materials. – 2014. – Vol. 50. – No. 3, – pp.311-316. – DOI 10.1007/s11029-014-9416-0.
10. Tikhomirov, A.V. Scientific bases of technologies for obtaining polymer products and coatings in shipbuilding and ship repair: monograph / A.V. Tikhomirov. - Moscow: RUSAINS, 2017. - 248 p. ISBN 978-5-4365-1885-5. (in Russ)
11. Cao J., Cheng H.S., Lee W., Padvoiskis J., Peng X.Q., Akkerman R., Graaf E.F.De., Boisse P., Hivet G., Launay J., Luycker E.De., Morestin F., Chen J., Gorczyca J.L., Liu L., Sherwood J., Harrison P., Long A., Wiggers J., Lomov S.V. et al. Characterization of mechanical behavior of woven fabrics: Experimental methods and Benchmark results // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. - 2008. - Vol. 39. - No. 6. - P. 1037-1053.
12. G. Sorkin, C.H. Pohler, A.B. Stavovy, F.F. Borriello. An overview of fatigue and fracture for design and certification of advanced high performance ships // Engineering Fracture Mechanics Volume 5, Issue 2, June 1973, Pages 307-352. DOI 10.1016/0013-7944(73)90025-8.
13. Lobanov D. S., Wildemann B. E., Babin, A. D., Greene, M. A., Experimental study of the effect of external influences and polluting environments on the performance of fiber-reinforced polymeric composite materials // Mechanics of composite materials.– 2015, Vol. 51. – №1 – p. 69 to 76.(in Russ)
14. Matseevich, T. A. Analysis of the influence of the chemical composition and concentration of components of the polymer-solvent mixture on its limit of forced elasticity and viscosity / T. A. Matseevich, A. A. Askadsky, O. Kovriga, A. Matseevich // International Polymer Science and Technology. - 2017-VOL. 44, no. 7-P. 27-32. DOI: 10.1177/0307174X1704401005. (in Russ)
15. Vallons K., Adolphs G., Lucas P., Lomov S.V., Verpoest I. The influence of the stitching pattern on the internal geometry, quasi-static and fatigue mechanical properties of glass fibre non-crimp fabric composites // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2014. – Volume 56. – pp. 272-279.
16. Helbling C., Karbhari V.M., Durability. Assessment of Combined Environmental Exposure and Bending /In.: Proc. of 7-th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. Concrete Structures (FRPRCS-7). New Orleans, Louisiana, USA. – 2005. – pp. 1379-1418.

17. Babushkin, A.V. Experimental research and modeling of the properties of composite materials in the conditions of complex thermomechanical effects / A.V. Babushkin, D. S. Lobanov // Fundamental problems of theoretical and applied Mechanics. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.And. Lobachevsky, 2011, № 4 (5), pp. 1984-1986. (in Russ)

18. Bolotin, V. V. Fracture toughness of composite materials with polymer binder at elevated temperatures / A. E. Efimov, N. With. Mezentsev, I. V. Shabunin, V. N. Shchugorev // Mechanics of composite materials. – 1988. – No. 5. – P. 839-844. (in Russ)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бурмистров Евгений Геннадьевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: burmistrov_e_g@mail.ru

Evgeniy G. Burmistrov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Design and Technology of Shipbuilding, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: burmistrov_e_g@mail.ru

Михеева Татьяна Александровна, к.т.н., доцент, доцент кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: MiheevaTA@yandex.ru

Tatiana A. Mikheeva, Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Design and Technology of Shipbuilding, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: MiheevaTA@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 629.5

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.201>

Сопоставительный анализ требований правил Российского Речного Регистра и Российского морского регистра судоходства к конструкции и прочности судов на подводных крыльях

С.Н. Гирин

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

Аннотация. Выполненный сравнительный анализ нормативной базы Правил Российского речного регистра (ПРР) и Российского морского регистра судоходства (ПМР) по конструкции и прочности судов на подводных крыльях (СПК) показал существенное отличие методологий этих правил. В связи с этим сравнительный анализ правил возможен только путем выполнения численных расчетов для конкретных судов. В настоящей работе приведены результаты расчетов для трех моделей СПК. Показано, что при некоторой экстраполяции зависимостей, приведенных в ПРР, удается получить достаточно близкие с ПМР значения расчетных величин изгибающих моментов для СПК, предназначенных для эксплуатации на волнении $h_{3\%} > 2,0$ м. Для более слабых волновых режимов ПРР дают меньшие значения расчетных моментов. Существующий в ПРР подход к проверке прочности крыльевых устройств СПК следует признать устаревшим. Необходимо либо модернизировать ПРР с учетом современных достижений в области гидродинамики, либо допускать применение современных программных комплексов для ЭВМ, основанных на численных методах решения задач гидродинамики.

Ключевые слова: правила Российского Речного Регистра, правила Российского морского регистра судоходства, суда на подводных крыльях, общая прочность корпуса, прочность крыльевых устройств.

Comparative analyses of the requirements of the rules of the Russian river register and Russian Maritime Register of Shipping to the structure and strength of hydrofoils

Stanislav N. Girin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. A comparative analysis of the regulatory framework of the rules of the Russian River Register (RRR) and the Russian Maritime Register of Shipping (RSR) in terms of the structure and strength of hydrofoils has shown a significant difference in the methodologies of these rules. In this regard, a comparative analysis of the rules is possible only by performing numerical calculations for specific ships. This article presents the results of calculations for three hydrofoils. It is shown that with some extrapolation of the dependencies given in the RRR, it is possible to obtain the values of the calculated values of the bending moments for the hydrofoils, intended for operation at waves $h_{3\%} > 2.0$ m, which are quite close to the RSR. For weaker wave regimes, RRR give lower values of the calculated moments. The existing in the RRR approach to checking the strength of the hydrofoil's wing devices should be considered outdated. It is necessary either to modernize the RRR taking into account modern achievements in the field of hydrodynamics, or to allow the use of modern software systems for computers based on numerical methods for solving hydrodynamic problems.

Keywords: the rules of the Russian River Register, the rules of the Russian Maritime Register of Shipping, hydrofoils, the overall strength of the hull, the strength of the wing devices.

Введение

Требования к конструкции и прочности судов на подводных крыльях (СПК) содержатся в Правилах классификационных обществ [1] и [2]. Из этих документов следует, что методологически они существенно различаются, поэтому представляют интерес числовые значения нагрузок и допускаемых напряжений, нормируемых этими документами для конкретного судна. Очевидно, что следует стремиться к гармонизации требований двух национальных классификационных обществ к судам близких классов.

1. Общие требования

Требования Правил речного регистра (ПРР) распространяются на СПК классов «О-ПР», «О», «Р» и «Л» и допускают их плавание в водоизмещающем режиме на волнении, соответствующем их классу. При ходе на крыльях вводятся дополнительные ограничения на высоту волны и скорость хода, которые устанавливаются техническим заданием на проектирование и должны заноситься в инструкцию по эксплуатации. Вместе с тем в ПРР устанавливаются минимальные значения расчетной высоты волны для судов перечисленных классов. Устанавливается также минимальное значение расчетной скорости хода на волнении, которая не должна приниматься менее 0,85 скорости хода на крыльях в условиях тихой воды.

Правила морского регистра (ПМР) распространяются на СПК с двумя (носовым и кормовым) или тремя (носовым, средним и кормовым) подводными крыльями водоизмещением до 200 т, обладающими возможностью движения в водоизмещающем положении на волнении не выше 5 баллов ($h_{3\%} \leq 3,5$ м) и при ходе на крыльях на волнении $h_{3\%} \leq 3,0$ м при скорости хода, соответствующей числам Фруда $Fr_{\Delta} \leq 4,5$.

Таким образом, ПМР распространяют свои требования на СПК, предназначенные для эксплуатации в условиях волнения более высокой интенсивности по сравнению с ПРР.

ПРР устанавливают следующие ограничения:

$$I/(D'L^3) > 3 \cdot 10^{-8}; \quad (1)$$

$$v/\sqrt[6]{D'} < 18, \quad (2)$$

где I – момент инерции наиболее ослабленного поперечного сечения эквивалентного бруса в средней части судна, m^4 ;

D' – водоизмещение в грузу, т;

L – наибольшая длина корпуса судна, м;

v – расчетная скорость судна на крыльях на тихой воде, м/с.

ПМР распространяются на суда, параметры которых не выходят за следующие пределы:

$$L/B > 4; \quad (3)$$

$$5 \leq L/D \leq 20; \quad (4)$$

$$I_{\otimes}/(BL^3) > 3 \cdot 10^{-7}. \quad (5)$$

Здесь в формулах ПМР используются обозначения, принятые в ПМР.

В данном случае:

L – длина судна между перпендикулярами, м;

B – ширина судна, м;

D – высота борта, м;

I_{\otimes} – момент инерции поперечного сечения корпуса судна на миделе, m^4 ;

$F_{тД} = 0,514V/\sqrt{g\nabla^{1/3}}$ - число Фруда по водоизмещению;

∇ - объемное водоизмещение, м³;

V – скорость судна в рассматриваемом режиме движения при заданной интенсивности волнения $h_{3\%}$, уз.

На наш взгляд, присутствие в ПМР ограничений по соотношению главных размерений является рудиментом старых подходов к принципам проектирования корпуса, когда размеры связей задавались таблицами и простейшими формулами, основанными на опыте проектирования. В настоящее время, когда у конструктора есть возможность использования достаточно совершенного расчетного аппарата, включая конечно-элементные модели, необходимость этих ограничений отпадает, более того, их наличие сдерживает конструкторскую мысль и вносит организационные трудности при согласовании проектов со стороны Регистра. По-видимому, разработчики существующих ПРР для СПК понимали это и сознательно шли на снятие ограничений. Многолетний опыт проектирования и эксплуатации этих судов не выявил недостатков этого решения, поэтому мы полагаем нецелесообразным вводить упомянутые ограничения при корректировке ПРР.

2. Требования к конструкции корпуса и крыльевых устройств

В ПМР даются подробные указания не только по основным принципам проектирования конструкций корпуса и крыльевых устройств СПК, но и приводятся многочисленные рисунки по оформлению отдельных узлов.

В ПРР такие указания отсутствуют.

На наш взгляд, ПМР чрезмерно перегружены указаниями по оформлению узлов. Правила, с одной стороны, не являются учебником, а с другой стороны, не должны ограничивать конструкторскую мысль. Вместе с тем, отсутствие в ПРР указаний по основным принципам конструирования корпусов СПК из алюминиевых сплавов и крыльевых устройств из различных материалов является недостатком Правил.

3. Расчеты общей прочности и устойчивости

В ПРР отмечается, что выбор расчетной высоты волны при ходе судна на крыльях должен производиться на основании технического задания на проектирование, однако она не должна быть менее установленных для класса: «О-ПР» и «О» - 1,3 м; «Р» - 0,8 м; «Л» - 0,4 м.

Российским Речным Регистром предполагается корректировка ПРР с целью расширения классов СПК. Выполненные в Волжском государственном университете водного транспорта (ВГУВТ) исследования предлагают расширить указанный диапазон минимальных значений расчетной высоты волны, представленный в таблице 1.

Таблица 1

Минимальные значения расчетной высоты волны при ходе судна на крыльях

Класс судна	Расчетная высота волны, м
«М-СП»	2,5
«М», «М-ПР»	2,0
«О-ПР»	1,5
«О»	1,3
«Р»	0,8
«Л»	0,4

В этом случае расчетная высота волны для судов класса «М-СП» будет совпадать с близким по смыслу классом ПМР.

В ПМР определение изгибающих моментов и перерезывающих сил, действующих на корпус СПК, выполняется для режима плавания и для хода на крыльях.

Под режимом плавания понимается движение со скоростью менее или равной скорости выхода на носовое крыло. В этом режиме рассматривается два расчетных случая: движение в водоизмещающем режиме на расчетном волнении, соответствующем классу с заданной скоростью, соответствующей этому режиму; движение в глиссирующем режиме со скоростью, равной скорости выхода на носовое крыло. Расчетный изгибающий момент в этом случае получается суммированием момента при статической постановке на волну и некоторой динамической добавки, зависящей от водоизмещения, длины и скорости судна. Основной трудоемкостью в расчетах является определение моментов при статической постановке судна на волну. В настоящее время такой подход представляется устаревшим, не учитывающим реальную картину взаимодействия корпуса с нерегулярным трехмерным волнением.

Выполнение расчетов внутренних усилий при движении СПК на крыльях в ПМР также является довольно трудоемким процессом.

Следует подчеркнуть, что нормирование расчетных значений внутренних усилий СПК в ПРР основано на исследованиях [3], [4], выполненных в 60-70-е годы прошлого века, а в ПМР на исследованиях [5], [6], [7], [8], [11]-[15] и др., выполненных несколько позже.

В ПРР расчет внутренних усилий в корпусе судна выполняется только для режима движения на крыльях. При этом расчетные значения изгибающего момента и перерезывающей силы в сечениях по длине судна вычисляются путем умножения соответствующего значения на тихой воде на некоторый коэффициент, зависящий от дополнительной перегрузки (отношения дополнительного ускорения к ускорению свободного падения) в сечении над носовым крыльевым устройством.

Отсутствие в ПРР требований по вычислению внутренних усилий на волнении в режиме плавания связано, по-видимому, с тем, что при написании раздела ПРР по СПК в 60-е годы прошлого века требования Правил распространялись на суда классов «Л»; «Р» и «О», у которых условия движения на крыльях заведомо более жесткие по сравнению с режимом плавания. В дальнейшем в ПРР для СПК был добавлен класс «О-ПР» без дополнительных исследований. При распространении ПРР для СПК более высоких классов отсутствие нормативных требований по вычислению внутренних усилий в режиме плавания уже не является очевидным. В связи с этим во ВГУВТ были выполнены исследования по анализу учета режимов плавания. Для этого была использована имеющаяся нормативная база ПРР для водоизмещающих судов с некоторой корректировкой, связанной с учетом скорости движения судна.

Для сопоставления результатов расчетов по ПМР и по откорректированным зависимостям ПРР было рассмотрено судно со следующими характеристиками:

полное водоизмещение – 76,6 т;

длина подводной части корпуса по ТЧ (между перпендикулярами) - 31,41 м;

ширина подводной части корпуса по ТЧ – 5,42 м;

осадка на миделе – 1,16 м;

осадка на носовом перпендикуляре – 0,92 м;

скорость выхода СПК на НКУ – 37,0 км/ч;

скорость судна в режиме движения на крыльях на тихой воде – 64,8 км/ч;

скорость судна в режиме движения на крыльях в условиях расчетного волнения - 53,7 км/ч;

скорость судна в режиме плавания в условиях максимального волнения – 18,5 км/ч;

момент инерции поперечного сечения эквивалентного бруса на миделе – 0,227 м⁴.

Отмеченные характеристики близки к характеристикам СПК «Комета», поэтому в дальнейшем будем называть судно с этими характеристиками «Комета-У».

Результаты расчетов представлены на рис. 1

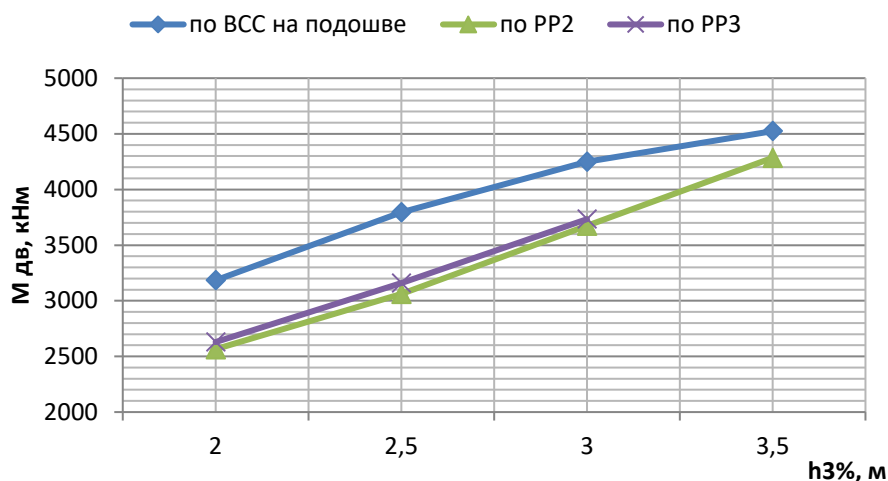


Рис.1 Максимальное значение дополнительного волнового момента при ходе СПК «Комета-У» в водоизмещающем режиме на расчетном волнении

Fig. 1 The maximum value of the additional wave moment during the hydrofoil "Comet-U" going in the displacement mode on the calculated wave

В ПРР для водоизмещающих судов расчетная величина изгибающего момента вычисляется путем суммирования момента на тихой воде и так называемого дополнительного волнового момента $M_{дв}$ [1], [9], [10]. Величина $M_{дв}$ в ПРР вычисляется по разным зависимостям для судов внутреннего и смешанного плавания.

Кривая PP3 на рис 1 представляет результаты расчетов по формуле (2.2.10-1) ПРР [1], в которой коэффициент k_v , учитывающий падение скорости на волнении по сравнению с тихой водой, принят равным единице, поскольку вместо скорости на тихой воде задана скорость хода судна в условиях заданного волнения.

Кривая PP2 представляет результаты расчетов по формуле (2.2.11-1) ПРР, в которой в качестве множителя введен коэффициент, учитывающий влияние скорости и равный коэффициенту k_3 в формуле (4.2.2-1) $M_{дв}$ для катамаранов, вычисляемого по формуле (4.2.2-14).

Кривая ВСС на рис.1 представляет результаты расчетов по формуле (5.3.2.2-1) ПМР [2] за вычетом значения момента на тихой воде из M_w . Значения на вершине волны оказались меньше, поэтому на рис.1 не представлены.

Как видно, кривые PP2 и PP3 практически совпадают в диапазоне 2,0 – 3,0 м и дают примерно на 20% меньшие значения $M_{дв}$ по сравнению с кривой ВСС. При $h_{3\%} = 3,5$ м расхождение значений $M_{дв}$ между ПРР и ПМР составляет около 5%.

Известно, что для судов длиной менее 60 м ПРР дают несколько завышенные значения $M_{дв}$, поэтому следует ожидать, что ПМР также дают завышенные значения расчетного момента при ходе СВП на расчетном волнении в водоизмещающем режиме.

На рис.2 показаны значения $M_{дв}$, вычисленные для переходного режима, т.е. для режима движения в водоизмещающем положении со скоростью, равной выходу на носовое крыло 37,0 км/час, для разных значений высот волн. Кривая PP4 построена с использованием зависимостей ПРР для судов внутреннего плавания, в которых коэффициент $k_v = 1$, а при вычислении волнового момента вводится дополнительный множитель по аналогии с вычислениями кривой PP2.

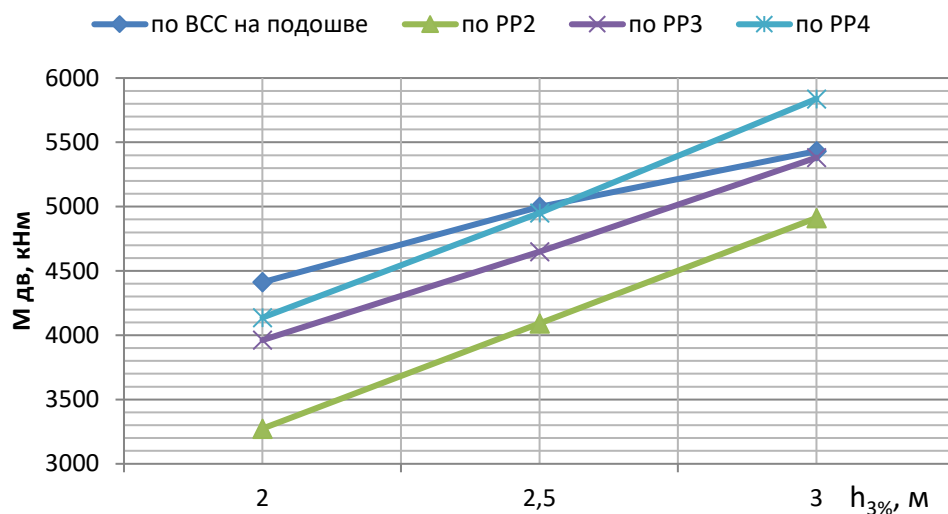


Рис.2 Максимальное значение дополнительного волнового момента при ходе СПК «Комета-У» в переходном режиме

Fig. 2 The maximum value of the additional wave moment during the hydrofoil "Comet-U" going in the transition mode

Как следует из рис.2, кривые PP3 и PP4 достаточно хорошо совпадают с кривой ВСС, а кривая PP2 дает существенно более низкие значения $M_{дв}$.

Как указано выше, требования действующих ПРР распространяются на СПК классов «О-ПР», «О», «Р» и «Л». При распространении требований на суда более высоких классов в исследованиях ВГУВТ было предложено сохранить формулы (5.2.3-1) и (5.2.3-2) [1] при некоторой корректировке формулы (5.2.3-5) для вычисления величины нормативного значения дополнительной перегрузки.

Результаты расчетов представлены на рис.3. Кривая ВСС случай 1 отражает результаты расчетов по ПМР для случая удара в носовую оконечность; ВСС случай 2 - удар в среднюю часть; ВСС случай 3 - удар в кормовую оконечность.

Из рисунка следует, что для $h_{3\%} = 1,5 - 2,0$ м ПРР дают существенно меньшие значения расчетного изгибающего момента по сравнению с ПМР. С учетом большого положительного опыта эксплуатации отечественных СПК, спроектированных на этот диапазон расчетных волн, следует полагать, что ПМР завышают нормативные значения расчетного изгибающего момента. В диапазоне $h_{3\%} = 2,5 - 3,0$ м ПМР и предлагаемые для корректировки ПРР зависимости дают близкие нормативные значения изгибающего момента при ходе на крыльях.

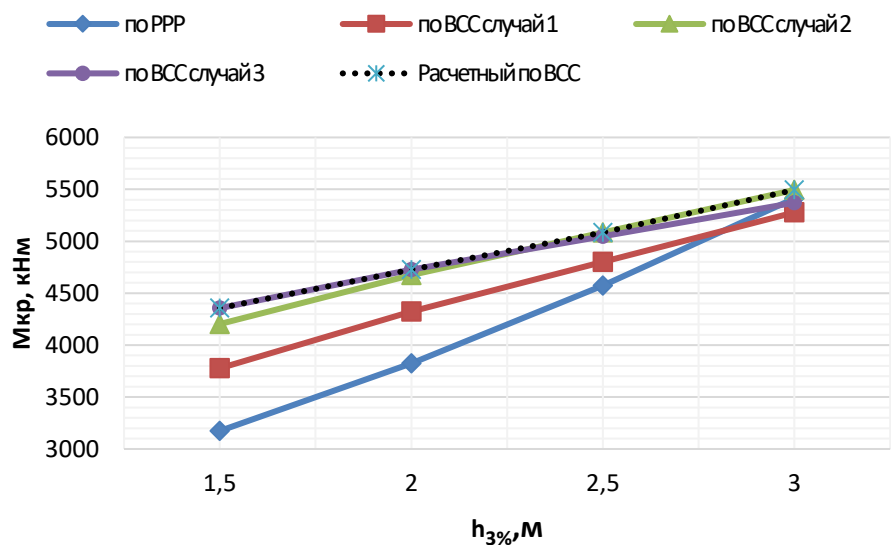


Рис.3 Максимальные значения изгибающих моментов, кН·м, при движении на крыльях СПК «Комета-У» в условиях разрешенного волнения

Fig. 3 Maximum values of bending moments, kN * m, when going on the wings of the hydrofoil "Comet-U" in conditions of permitted excitement

Выполненный для модели «Комета-У» анализ показывает, что нормативные значения расчетного изгибающего момента, вычисленные по ПРП для высот волн $h_{3\%} \leq 2,0$ м, существенно меньше аналогичных значений, вычисленных по ПМР, однако при $h_{3\%} \geq 2,5$ м значения сближаются.

Для решения вопроса о целесообразности включения в ПРП требований по вычислению расчетной величины изгибающего момента не только для режима движения на крыльях, но и для водоизмещающего режима были выполнены расчеты для трех моделей судов. Характеристики модели «Комета-У» приведены выше, а для двух других моделей представлены в табл.2.

Таблица 2

Характеристики рассмотренных моделей СВП

Характеристика	Наименование модели	
	Валдай-У	Циклон-У
длина по расчетную ватерлинию, м;	18,1	38,0
расчетная ширина, м;	3,6	8,3
полное водоизмещение, т;	21,4	200,0
средняя осадка, м;	0,58	1,68
осадка носом, м;	0,40	1,62
коэффициент полноты площади ватерлинии;	0,933	0,826
коэффициент общей полноты водоизмещения;	0,553	0,401
скорость выхода на носовое крыло, км/ч;	37,0	37,0
скорость движения в водоизмещающем режиме в условиях волнения, соответствующего классу судна, км/ч;	15,5	18,5
момент инерции поперечного сечения эквивалентного бруса на миделе, м ⁴ .	0,0138	1,052

Результаты расчетов для трех режимов движения представлены в табл. 3 – 5

Из этих таблиц следует, что для моделей «Валдай-У» и «Циклон-У» во всех классах ПРР расчетным является изгибающий момент при ходе на крыльях. Для «Комета-У» режим движения на крыльях не дает максимальную величину расчетного момента, однако для судов классов «М», «М-ПР» и «М-СП» отличие величины расчетного момента при ходе на крыльях от наиболее опасного режима находится в пределах 3-11%.

Полученные результаты позволяют рекомендовать Российскому Речному Регистру при корректировке правил оставить требование по вычислению расчетного изгибающего момента только для случая движения СПК на крыльях в условиях режима волнения, установленного для судна при проектировании.

Таблица 3

Сопоставительные значения изгибающих моментов, кН·м, для различных режимов движения судна «Валдай-У»

Режим движения	Класс судна				
	«О»	«М»	«О-ПР»	«М-ПР»	«М-СП»
Водоизм. Мв	618	889	754	1051	1215
Переход. Мп	640	754	677	754	892
На крыльях Мк	693	1047	788	1047	1341
Мк/М _{max}	1,08	1,18	1,04	1,00	1,10

Таблица 4

Сопоставительные значения изгибающих моментов, кН·м, для различных режимов движения судна «Комета-У»

Режим движения	Класс судна				
	«О»	«М»	«О-ПР»	«М-ПР»	«М-СП»
Водоизм. Мв	2869	4174	3006	4114	4725
Переход. Мп	3670	4292	3868	4292	4664
На крыльях Мк	2938	3823	3174	3823	4572
Мк/М _{max}	0,80	0,89	0,82	0,89	0,97

Таблица 5

Сопоставительные значения изгибающих моментов, кН·м, для различных режимов движения судна «Циклон-У»

Режим движения	Класс судна				
	«О»	«М»	«О-ПР»	«М-ПР»	«М-СП»
Водоизм. Мв	8158	10617	5376	7144	8121
Переход. Мп	10438	12177	10990	12177	13221
На крыльях Мк	11298	13247	11298	13247	15462
Мк/М _{max}	1,08	1,09	1,03	1,09	1,17

4. Расчеты прочности крыльевых устройств

Максимальные значения подъемных сил, действующих на крыльевые устройства при движении СПК на крыльях в условиях волнения, в ПРР и ПМР вычисляются путем умножения силы, действующей на устройство при движении на тихой воде, на некоторый коэффициент. В ПРР этот коэффициент задается в табличной форме в зависимости от величины расчетной волны, а в ПМР он вычисляется по формулам в зависимости от высоты волны и некоторых других параметров.

Для расширения классов СПК в ПРР предложена некоторая корректировка значений коэффициентов. На рис.4 показаны значения этих коэффициентов применительно к модели «Комета-У». Как видно, они практически совпадают.

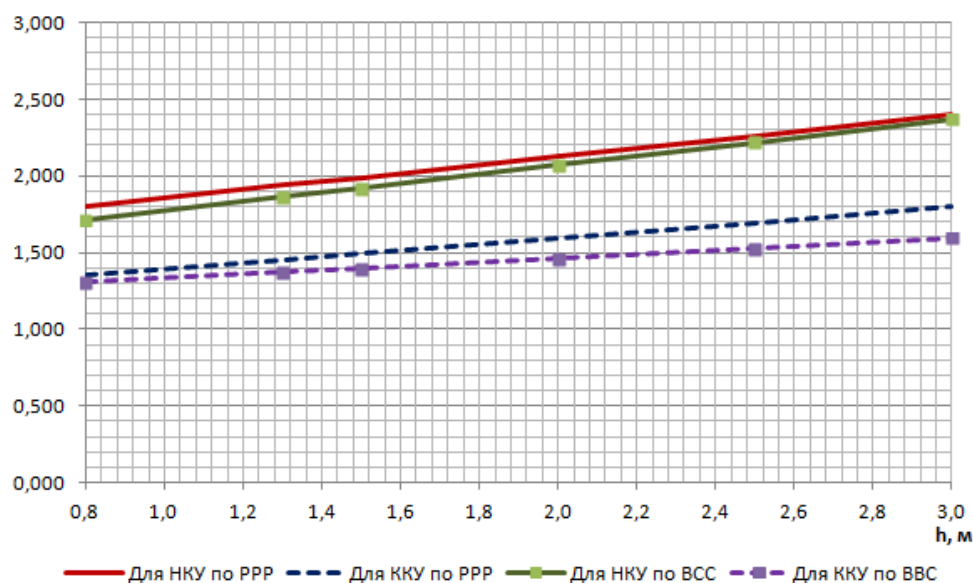


Рис.4 Значения коэффициентов увеличения подъемных сил на носовом и кормовом крыльях, вычисленные по РРР и по ПМР для СПК «Комета-У»

Fig. 4 The values of the coefficients of increasing the lifting forces on the bow and stern wings, calculated according to the RRR and RSR for the hydrofoil "Comet-U"

Методики расчета крыльевых устройств в РРР и ПМР существенно отличаются.

Согласно РРР сила, действующая на крыльевое устройство, равномерно распределяется по размаху крыла. При этом само крыльевое устройство рассматривается в виде рамы. Очевидно, что в настоящее время такой подход нельзя признать удовлетворительным, особенно для случая неплоских крыльев.

В ПМР учитывается неравномерность распределения нагрузки, как по размаху, так и по хорде крыла, учитывается наличие поворотного закрылка.

Очевидно, что при корректировке РРР необходимо выполнение дополнительных исследований для создания нормативной базы по выполнению расчетов прочности крыльевых устройств.

В конструкторской практике выполнение этих расчетов должно проводиться с использованием современных программных комплексов, решающих гидродинамические задачи обтекания крыльевых устройств жидкостью.

5. Нормирование прочности корпусных конструкций и крыльевых устройств

Как уже указывалось, в РРР нормативная база по конструкции и прочности СПК была создана в 60 –е годы прошлого века и с тех пор практически не менялась.

В действующих ПМР учтены результаты более поздних исследований, в частности, исследований по усталостной прочности конструкций СПК, изготовленных из разных материалов.

Выполненный сравнительный анализ показал существенное отличие в величине допускаемых напряжений, нормируемых в РРР и ПМР. По-видимому, при корректировке РРР следует ориентироваться на нормативную базу ПМР в части

допускаемых напряжений, учитывая стремление к гармонизации требований ПРР и ПМР к судам близких классов.

В выполненных во ВГУВТ исследованиях содержатся предложения по корректировке норм допускаемых напряжений СПК в ПРР. Предложено также нормировать общую прочность по предельным моментам, как это имеет место в ПРР для остальных типов судов. При этом нормы прочности совпадают с ПМР.

Заключение

Выполненный сравнительный анализ нормативной базы Правил Российского Речного Регистра (ПРР) [1] и Российского морского регистра судоходства (ПМР) [2] по конструкции и прочности судов на подводных крыльях (СПК) показал существенное отличие методологий этих правил.

Методология ПРР основана на теоретических и экспериментальных исследованиях, выполненных в 50-60 - е годы прошлого века [3], [4]. За прошедшие годы ПРР применительно к СПК практически не изменились.

Современные ПМР основаны на более поздних исследованиях [5], [6], [7], [8], [11] - [15] и др. и содержат более подробные указания в части конструирования элементов корпуса и крыльевых устройств СПК, а также более трудоемкие вычисления по определению внешних нагрузок.

В связи с этим сравнительный анализ правил возможен только путем выполнения численных расчетов для конкретных судов. В настоящей работе приведены результаты расчетов для трех моделей СПК, близких по характеристикам к реальным проектам «Комета», «Циклон», «Валдай».

Показано, что при некоторой экстраполяции зависимостей, приведенных в ПРР, удастся получить достаточно близкие с ПМР значения расчетных величин изгибающих моментов для СПК, предназначенных для эксплуатации на волнении $h_{3\%} > 2,0$ м. Для более слабых волновых режимов ПРР дают меньшие значения расчетных моментов.

Выполненный анализ показал, что существующее в ПРР требование вычисления расчетных значений изгибающих моментов и перерезывающих сил только для режима движения СПК на крыльях может быть сохранено и при расширении требований ПРР на СПК более высоких классов.

Существующий в ПРР подход к проверке прочности крыльевых устройств СПК следует признать устаревшим. Необходимо либо модернизировать ПРР с учетом современных достижений в области гидродинамики, либо допускать применение современных программных комплексов для ЭВМ, основанных на численных методах решения задач гидродинамики.

В части нормирования допускаемых напряжений, по нашему мнению, следует использовать нормативную базу ПМР.

Автор выражает признательность инженеру Зябко Наталье Германовне за большую работу по выполнению расчетов.

Список литературы

1. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-и томах). Т.2. М.: изд-во ООО «УП ПРИНТ», 2019 – 432 с.
2. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. – С-Петербург, 2018 – 205 с.
3. Зайцев Н.А., Маскалик А.И. Отечественные суда на подводных крыльях. – Л.: Судостроение, 1967 – 363 с.
4. Маттес Н.В., Уткин А.В. Прочность судов на подводных крыльях. – Л.: Судостроение, 1966 – 191 с.
5. Зиганченко П.П., Кузовенков Б.П., Тарасов И.К. Суда на подводных крыльях: Конструирование и прочность. – Л.: Судостроение, 1981. – 312 с.

6. Колызаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания.- Л.: Судостроение, 1980.- 472 с.
7. Крыжевич Г.Б. Гидроупругость конструкций судна. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2006.- 231 с.
8. Бородай И.К. и др. Прикладные задачи динамики судна на волнении. Л.: Судостроение, 1989.- 264 с.
9. Гирин С.Н., Фролов А.М. О дальнейшем совершенствовании требований Российского Речного Регистра к волновым нагрузкам при общем изгибе судна. Сб. науч. тр. ВГАВТ. Вып.282 – Н.Новгород: ВГАВТ, 1998. с.32-50.
10. Гирин С.Н., Фролов А.М. О влиянии некоторых волнообразующих факторов на изгибающие моменты судов смешанного плавания //Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Вып. 22.- Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ». 2007. с.113-121.
11. Kryzhevich G.B. On the nature of ship wave-induced vibration and the oscillation parametric gain phenomenon // Trans. of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength and endurance of ship structures» (papers presented at Prof. P.F. Papkovitch Memorial Conference in 2000). Saint-Petersburg, 2001.
12. Kryzhevich G.B. Slamming-Induced Dynamic Deformations in Cross-Bridge Grillages on Multi-Hall Ships // Trans. of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength, Reliability and Operating Life of Ship and Off-Shore Structures» papers presented at Prof. Ju. A. Shimanskiy Memorial Conference in 2001). Saint-Petersburg, 2003.
13. Kryzhevich G.B. Local Dynamic Strains in Fast Ship Structures under Slamming // Proc. Of FAST 2003 International Conference. Napoli, 2003.
14. Kryzhevich G.B. Specific Features of Global Vibration Analysis for Planing Boats and Ships Operating in Transient Conditions. // Proc. of International on Fast Sea Transportation FAST'2005. St. Petersburg, State Marine Technical University, 2005.
15. Kryzhevich G.B. Energy Dissipation in the Liquid under Fast Ship Global Vibrations and Problem of Hydroelastic Oscillation Stability. // Transactions of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength and endurance of ship structures» (papers presented at Prof. I.G. Bubnov Memorial Conference in 2004). St-Petersburg, 2005.

References

1. Rossiyskiy Rechnoy Registr. Pravila (v 5-i tomakh). T.2. M.: izd-vo OOO «UP PRINT». 2019 – 432 s. (in Russ)
2. Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroyki vysokoskorostnykh sudov. – S-Peterburg. 2018 – 205 s. (in Russ)
3. Zaytsev N.A., Maskalik A.I. Otechestvennyye suda na podvodnykh kryliakh. – L.: Sudostroyeniye. 1967 – 363 s. (in Russ)
4. Mattes N.V., Utkin A.V. Prochnost sudov na podvodnykh kryliakh. – L.: Sudostroye-niye. 1966 – 191 s. (in Russ)
5. Ziganchenko P.P., Kuzovenkov B.P., Tarasov I.K. Suda na podvodnykh kryliakh: Konstruirovaniye i prochnost. – L.: Sudostroyeniye. 1981. – 312 s. (in Russ)
6. Kolyzayev B.A., Kosorukov A.I., Litvinenko V.A. Spravochnik po proyektirovaniyu sudov s dinamicheskimi printsipami podderzhaniya.- L.: Sudostroyeniye. 1980.- 472 s. (in Russ)
7. Kryzhevich G.B. Gidrouprugost konstruktsiy sudna. – SPb.: TsNII im. akad. A.N. Krylova. 2006.- 231 s. (in Russ)
8. Boroday I.K. i dr. Prikladnyye zadachi dinamiki sudna na volnenii. L.: Sudo-stroyeniye. 1989.- 264 s. (in Russ)
9. Girin S.N., Frolov A.M. O dalneysheem sovershenstvovaniy trebovaniy Rossiyskogo Rechnogo Registra k volnovym nagruzkam pri obshchem izgibe sudna. Sb. nauch. tr. VGAVT. Vyp.282 – N.Novgorod: VGAVT. 1998. s.32-50. (in Russ)
10. Girin S.N., Frolov A.M. O vliyaniy nekotorykh volnoobrazuyushchikh faktorov na izgibayushchiye momenty sudov smeshannogo plavaniya. - Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. Vyp. 22.- N.Novgorod: Izd-vo FGOU VPO «VGAVT». 2007. s.113-121. (in Russ)
11. Kryzhevich G.B. On the nature of ship wave-induced vibration and the oscillation parametric gain phenomenon // Trans. of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength and endurance of ship structures» (papers presented at Prof. P.F. Papkovitch Memorial Conference in 2000). Saint-Petersburg, 2001.

12. Kryzhevich G.B. Slamming-Induced Dynamic Deformations in Cross-Bridge Grillages on Multi-Hull Ships // Trans. of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength, Reliability and Operating Life of Ship and Off-Shore Structures» papers presented at Prof. Ju. A. Shimanskij Memorial Conference in 2001). Saint-Petersburg, 2003.
13. Kryzhevich G.B. Local Dynamic Strains in Fast Ship Structures under Slamming // Proc. Of FAST 2003 International Conference. Napoli, 2003.
14. Kryzhevich G.B. Specific Features of Global Vibration Analysis for Planing Boats and Ships Operating in Transient Conditions. // Proc. of International on Fast Sea Transportation FAST'2005. St. Petersburg, State Marine Technical University, 2005.
15. Kryzhevich G.B. Energy Dissipation in the Liquid under Fast Ship Global Vibrations and Problem of Hydroelastic Oscillation Stability. // Transactions of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength and endurance of ship structures» (papers presented at Prof. I.G. Bubnov Memorial Conference in 2004). St-Petersburg, 2005.

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, 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 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 629.122

DOI: 10.37890/jwt.v68.212

Обзор импортозамещения на рынке хаусботов и предложение по выбору силового агрегата с применением гидроприводов

И.Ю. Гордлеева¹

С.Д. Гордлеев¹

ORCID: 0000-0003-0053-0506

И.В. Никитаев¹

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

Аннотация. Проведено исследование по возможности и необходимости эксплуатации хаусботов в акваториях России на основе концепции освоения водосемов и малых рек, разрабатываемой в настоящее время государством в рамках национальных программ. Выполнен обзор по эксплуатационным, габаритным, водоизмещающим характеристикам хаусботов с рассмотрением различных вариантов судовых энергетических установок, подходящих для класса плавсредств с регистрацией в ГИМС. Предложено использование стационарного двигателя на базе ВАЗ в компоновке с гидроприводом и поворотной колонкой. Произведены расчеты сопротивления корпуса платформы хаусбота по нескольким методикам. Предложен механизм выбора движителей с использованием свободного программного продукта по эмпирическим методикам. Выбрана схема альтернативного привода, построена подробная модель рабочего процесса гидропривода хаусбота, приведена математическая модель его работы.

Ключевые слова: хаусбот, плавдом, плавучий объект, силовые агрегаты, подвесной лодочный мотор, гидропривод, импортозамещение, гидродинамическое сопротивление, математическое моделирование.

Overview of import substitution in the houseboat market and a proposal for choosing a power unit using hydraulic drives

Irina. Y. Gordleeva¹

Sergey. D. Gordleev¹

ORCID: 0000-0003-0053-0506

Igor. V. Nikitaev¹

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

Abstract. A study was carried out on the possibility and necessity of operating houseboats in the water areas of Russia on the basis of the concept of the development of reservoirs and small rivers, which is currently being developed by the state within the framework of national programs. A review of the operational, overall, displacement characteristics of houseboats was carried out with consideration of various options for ship power plants, suitable for the class of floating craft with registration in the State Inspection of Small Vessels. The use of a stationary engine (JSC AvtoVAZ) in a configuration with a hydraulic drive and a swing-out column is proposed. Calculations of the resistance of the houseboat platform hull were made using several methods. A mechanism for the choice of propellers using a free software product according to empirical methods is proposed. An alternative drive scheme is selected, a detailed model of the working process of a houseboat's hydraulic drive is selected, and a mathematical model of its operation is presented.

Keywords: houseboat, floating house, floating object, power units, outboard motor, hydraulic drive, import substitution, hydrodynamic resistance, mathematical modeling.

Введение

Одной из рассматриваемых задач в рамках национальных проектов России является освоение водоемов и малых рек. В ведении государства находятся такие направления, как обеспечение грузовых и пассажирских перевозок, развитие прибрежной инфраструктуры с целью повышения экономических и социальных возможностей проживающего по берегам рек населения, развитие внутреннего туризма и другие актуальные и сопряженные с перечисленными направления.

К примеру, из общего числа малых рек одной только Нижегородской области 550 рек имеют длину от 10 до 50 км, 26 рек - от 51 до 100 км. Некоторые из них являются судоходными (малое судоходство), некоторые мелководными, но практически на всех имеются населенные пункты, для которых зачастую единственной дорогой сообщения служит только река. Несмотря на развитие наземных транспортных путей, до сих пор в некоторые места можно попасть только по воде.

Перечислим основные сложности эксплуатации малых акваторий нашей страны:

- у большинства судов (катера, толкачи, заправщики и др.) осадка не позволяет передвигаться по мелководным рекам;
- у большинства рек и водоемов нет оборудованных для причала судов мест;
- в большинстве случаев даже при наличии причальных стенок (понтонных, мостков) нет прибрежной инфраструктуры: электро- и топливных заправок, наличия водопровода, приема бытовых, фекальных и других отходов.

Плавсредство, рассматриваемое в данной статье, может решить ряд проблем, связанных с перечисленными трудностями освоения водоемов и малых рек. Речь идет о хаусботе (англ. Houseboat, плавучий дом, плавдача, плавучий объект). Это судно либо плавучий объект, который представляет собой специально сконструированный дом для проживания и поставленный на плавучую платформу — понтон или поплавки. Малая осадка основания (от 0.15 м до 0.6 м максимум) дает возможность «припарковаться» к любому даже необорудованному берегу. При этом габаритные размеры надстройки (50-150 кв. м) позволяют комфортабельное проживание со всеми удобствами, практически любой планировкой с необходимым в зависимости от целей эксплуатации оборудованием. Такое сочетание открывает большие горизонты для внутреннего туризма, круглогодичного проживания на воде, несение вахт в прибрежных зонах и т.д.

Чтобы понять для чего, где и при каких условиях целесообразно использование хаусботов, необходимо провести анализ зарубежного и отечественного рынков.

1. Краткий обзор рынка хаусботов

Предназначение, производство и количество используемых хаусботов напрямую связано с историческими, экономическими, географическими, технологическими и другими составляющими. В США первые плавдома появились в 1905 году. Большое количество озер и водоемов, развивающийся туризм, соответствующие погодные условия привели к спросу, за ним - к увеличению популярности хаусботов, а к 1930 г. и целой отрасли.

Типичный американский хаусбот отличается небольшими габаритами (для возможности перевозить их трейлерами с озера на озеро), достаточно незатейливым дизайном, большим количеством бытовой техники, оснащен навесными или стационарными двигателями, имеет в подавляющем большинстве алюминиевый корпус с шириной до 5,5 м с деревянным каркасом, внутренней фанерной отделкой. Более-менее серьезные хаусботы стоят от 500 тысяч до 1,5 млн долларов.

Распространение хаусботов на европейском рынке в первые годы было обусловлено более дешевой альтернативой классическому жилью. Из-за высокой стоимости земли, ее нехватки в крупных городах и огромным земельным налогом европейцы переселялись на плавучие понтонные с надстройкой для проживания, переделывались баржи (Англия, Голландия), адаптировались дебаркадеры (Франция). В настоящее время европейский хаусбот — это фешенебельные гостиницы, комфортабельные частные дома, целые поселки на городских каналах и водоемах с развитой прибрежной инфраструктурой (Германия, Голландия). В отличие от американских европейские хаусботы в большинстве случаев являются несамоходными, ультрасовременная надстройка стоит на плавучем бетонном основании [1].

Российский рынок по проектированию, производству и продаже плавдомов начал себя проявлять с 2007 года. Были организованы компании, занимающиеся этим направлением¹. При этом добрая половина из них является дилерами зарубежных производителей, осуществляя в большей степени посредническую деятельность. До этого плавдачки, плавбани в России, а ранее в СССР изготавливались отдельными энтузиастами из подручных средств и имели малые габариты, малые мощности, неприхотливые условия проживания, являясь по сути экзотическим средством отдыха на воде.

Рынок хаусботов в России сегодня в основном ориентирован на людей с большим достатком. Хотя большинство производимых плавучих домов не приспособлены для круглогодичного проживания, интерес к данному стилю жизни изо дня в день растет. Проектируются и анонсируются целые поселки на воде, во многих яхт-клубах наряду с яхтами уже стоят хаусботы. Эксперты предсказывают этому рынку быстрый рост в ближайшие годы [1]. Систематизируя данные, собранные на специализированных сайтах сети интернет и делая выборку из международных маркетинговых отчетов [9], были получены следующие диаграммы (рис.1):

а)

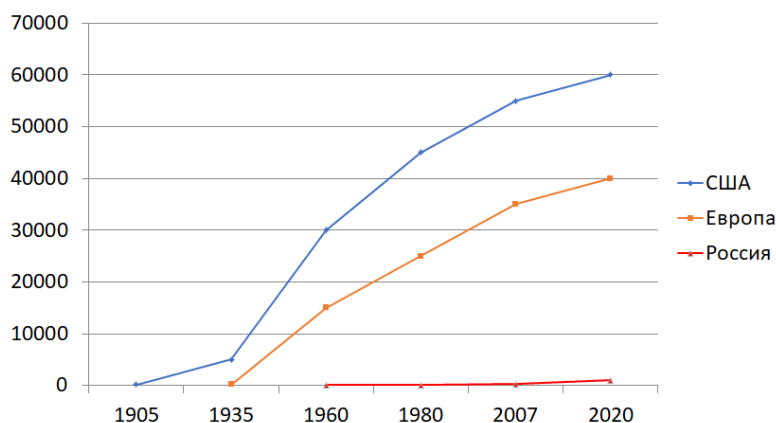


Рис. 1 а) График зависимости изменения количества хаусботов от времени

Fig. 1 a) A graph of the dependence of the change in the number of houseboats on time;

¹ Москва (houseboat.ru), Саратов (machogan.ru), Самара (Лодка Хаус), Санкт-Петербург (Компания АД Модуль / A&D Module) и другие.

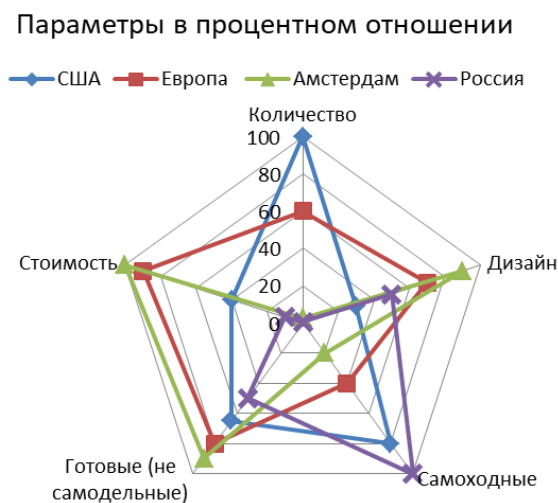


Рис. 1 б) Параметры хаусботов

Fig. 1 b) Houseboat parameters

На круговой диаграмме показаны относительные величины по 5 параметрам, где за 100% взяты наибольшие показатели. И хотя единого реестра в классификации хаусботов не существует, систематизируя рынок используемых плавдомов, их можно разделить на следующие группы:

- а) по типу основания - на однокорпусные (на понтоне) и многокорпусные (на поплавках, катамараны, тримараны и т.д.);
- б) по материалу основания - на стальные, алюминиевые, из пластика, полиэтилена и др.;
- в) по типу передвижения - на самоходные, оснащенные двигателями и обладающие судоходной мобильностью (HouseBoat, CanalBoat, CamperBoat) и несамоходные, буксируемые, на массивном понтоне (FloatHouse, Floating House, дебаркадер и др).

Плавдома также классифицируются по габаритам, водоизмещению, скоростному режиму и мощности двигателя, по системам управления, энергосбережения, жизнеобеспечения, комфортабельности и т.д. Все зависит от целей, поставленных перед эксплуатируемым плавсредством и его назначением.

2. Методы, обоснование и ресурсы для создания конкурирующей технологии хаусботов

Целью исследования является сравнительная оценка технико-экономических показателей при выборе силового агрегата для передвижения и - ориентируясь на отечественное производство - обоснование целесообразности выбранного механизма. Также исследование сориентировано на хаусбот с параметрами, подпадающими под регистрацию в ГИМС (Государственная инспекция по маломерным судам). В соответствии с техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС 026/2012) “О безопасности маломерных судов”, маломерное судно - судно, длиной не более 20 метров и допустимым количеством людей на борту не более 12 человек.

Согласно правилам ГИМС регистрации подлежат суда весом более 200 кг или имеющие двигатель с рабочей мощностью выше 8 квт.

Стремление соответствовать техническим регламентам Таможенного союза открывает возможность покрыть рынки РФ, СНГ и т.д. Для расчета технических характеристик хаусбота были выбраны следующие базовые параметры: длина – 15 м,

ширина -7 м, мощность двигателя – 72 л.с/52 кВт, водоизмещение - до 20 тонн, количество человек – до 12.

Подавляющее большинство силовых агрегатов, устанавливаемых на хаусботах – это подвесные лодочные моторы (ПЛМ или outboard). Очевидные достоинства ПЛМ:

- компактность – сочетание двигателя (мотоголовы) и движителя (дейдвуда с редуктором, или «ногой») в одном кожухе;
- широкий выбор гребных винтов;
- возможность использования редуктора или водомётной насадки – «улитки»;
- возможность быстрой замены или ремонта, наличие запчастей в магазинах;
- подводная часть полностью поднимается над водой.

Выбор в пользу ПЛМ у яхтсменов также связан с наличием на рынке сбыта большого количества производителей, вариативностью модельного ряда по мощности, габаритам, комплектации в зависимости от эксплуатационных требований заказчика². Для малогабаритных хаусботов менее 5-7 м в длину такой выбор оправдан, не имеет смысла ставить стационарный двигатель, занимающий добрую часть пространства кокпита судна.

Преимущества стационарного двигателя (inboard) начинают проявляться с длины плавсредства от 19 футов (от 6 м) и увеличиваются с ростом габаритов. Оптимальная длина хаусбота варьируется от 7 до 20 м; цель эксплуатации не предполагает скоростной режим и выход на глиссирование, зато предполагает круглогодичное использование при возможном вмерзании в лед на наших широтах и путешествие на дальние расстояния с желательной меньшей топливной прожорливостью, так как зачастую нет возможности дозаправиться. При этих условиях, как показывают исследования специализированных форумов и сайтов, предпочтение отдают стационару. К сожалению, обоснованных экспериментальных или теоретических расчетных данных не существует либо они локализованы у отдельных производителей двигателей для внутреннего пользования. На основе собранной информации можно выделить следующие преимущества стационара перед подвесным мотором:

- гораздо меньший расход топлива при одинаковых мощностях, и чем больше л.с., тем больше разница;
- лучшее распределение веса по корпусу, так как двигатель устанавливается гораздо ближе к миделю (центральной части корпуса); ниже центр тяжести, что лучше сказывается на мореходных качествах и грузоподъемности;
- возможность установки генераторов, компрессоров климатических установок и других энергозатратных систем жизнеобеспечения при длительном или круглогодичном использовании;
- меньший шум и вибрация при грамотной установке внутри корпуса с соответствующей системой демпферов в отличие от крепления ПЛМ на транце в открытом виде;
- безопасность при обслуживании и ремонте (не будет опасности упасть в воду или потерять инструменты и детали);

Не беря в расчет мало применяемые или экзотические СЭУ (судовые энергетические установки), например, паровой котел с колесным движителем, рассмотрим стандартные силовые агрегаты (рис.2):

²Популярные марки ПЛМ в России Yamaha, Suzuki, Mercury, Honda и другие. Подробнее о рейтинге за 2021 год на сайте <https://vyborexperta.ru/otdyh-i-hobby/luchshie-lodochnye-motory>.

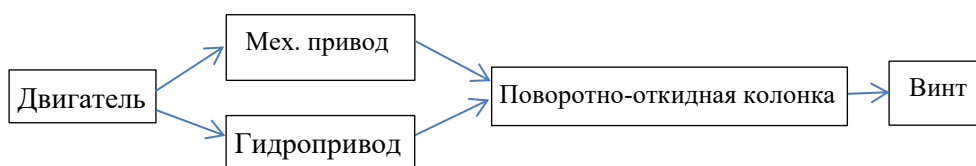


Рис.2 Блок-схема стандартного силового агрегата

Fig. 2 Block diagram of a standard power unit

Двигатели с реверс-редуктором (на катерах с валовым приводом) комплектуются поворотной-откидной колонкой (ПОК) или водомёт (ВД). Из основных производителей таких стационаров – подразделения «Вольво» и «Меркури». Бензиновые MerCruiser(L) и дизельные Volvo-Penta (D) агрегируются своими колонками [2].

Для сравнения цены приведем данные для подвесных бензиновых 4х-тактных моторов ведущих производителей из 2 каталогов (см.табл.1)³.

Таблица 1

Модель	Мощность, л.с.	Цена, руб
Yamaha F70AETL	70	545 000
Mercury F80ELPT EFI	80	650 000
Honda BF 90 DK4 LRTU	90	700 948.00
Mercury F100ELPT EFI	100	675 000
Mercury F150L PRO XS EFI	150	960 000
Suzuki DF 150 TX	150	974 000.00
Suzuki DF 175 TX	175	1 078 000.00
Mercury ME F 200 CXL Verado	200	980 000
Yamaha F200CETX	200	1 302 000.00
Yamaha FL350AETX	350	1 849 000

Видно, что ПЛМ усредненно при одной и той же мощности стоят меньше комплекта стационарного двигателя примерно в 1.2 – 2 раза. Если брать отдельно стационарный, не агрегированный поворотной-откидной колонкой или гребным валом, то он будет по цене гораздо ниже подвесного мотора (разница в 1.5–2.5 раза).

Если за критерий взять расход топлива, то преимущества стационарного двигателя очевидны. К примеру, теоретический расчет потребления топлива двигателем Volvo Penta 75 л.с. составляет от 2 л/ч при 1200 об/мин до 18 л/ч при 3000 об/мин, а у подвесного 4-х тактного Mercury ME - 75 л/с от 18 до 27 л/ч при тех же оборотах.

Можно сформулировать промежуточные выводы: на тихоходном (до 10-15 км/ч) хаусботе с размерами 10-20 м, водоизмещением 5-20 тонн целесообразнее, по мнению авторов статьи, установка стационарного двигателя.

Одной из главных целей авторов статьи является поиск возможности в рамках отечественного производства подобрать силовой агрегат, удовлетворяющий вышеперечисленным характеристикам хаусбота и выбрать оптимальный вариант компоновки стационарной силовой энергетической установки.

³<https://www.e-katalog.ru/k370.htm>, https://globaldrive.ru/nizhniy-novgorod/motory/?features_hash

Вместе с этим на слуху еще остаются некоторые советские ПЛМ, производившиеся в большом количестве с начала 60-х годов прошлого столетия в СССР. Это – «Нептун» (снят с производства в 2009), «Вихрь» (снят с производства в 2010), «Ветерок» (производство закрыто в 2008), «Салют», «Нара», «Бийск», «Зиф», «Кама», «Москва» (давно не производятся). Сегодня можно найти «Парус» с линейкой до 60 л.с, производимый в Китае и вполне конкурентный по сравнению с импортными «Impulse» (90-135 л.с.), выпускаемый с 2012 года. В отношении отечественного производства судовых энергоустановок можно назвать компании: "Восточная верфь". "Ленинградский судостроительный завод Пелла", "Судостроительная фирма АЛМАЗ", "Судостроительный завод "Вымпел", "Волжский дизель имени Маминых", "Коломенский завод", "Звезда", "Ярославский судостроительный завод", "Кингисеппский машиностроительный завод". Но эти гиганты сориентированы на государственные заказы в основном для новых кораблей российского ВМФ и тяжелого промышленного судостроения [3].

В настоящее время найти российское производство стационарных лодочных двигателей, не выходя за рамки маломерного флота, к сожалению, достаточно проблематично. Хотя в советское время они выпускались, но не в модельном ряду, а сразу на определенный катер. В качестве примера можно привести прогулочно-туристский катер "Амур-Д" (авиационный завод им. Ю.А.Гагарина, Комсомольск-на-Амуре) [4].

В рамках ряда работ авторам удалось найти российское производство конвертированных двигателей. Компания ООО «ДМ Технолоджи», производитель российских современных водометов, занимается конвертацией (адаптацией) автомобильных бензиновых и дизельных двигателей ВА321124 и ВА321126 под водометы для условий эксплуатации в составе водометной установки. [5]. Двигатели четырехтактные, с распределенным впрыском топлива, 16-ти клапанные; размещение цилиндров в блоке - однорядное, распределительный вал - в верхней части ДВС. Конвертированные двигатели ВАЗ оборудованы охлаждаемым выхлопным коллектором, охлаждаемым выхлопным патрубком, теплообменником, корпусом маховика, узлами амортизационного крепления.

В данной статье рассматривается силовой агрегат с ПОК (преимущества водометов проявили себя в достаточно узком диапазоне эксплуатационных условий, в основном, на каменистых реках с перекатами), поэтому для дальнейших расчетов авторы ориентировались только на сам двигатель ВАЗ с выходной мощностью 72-90 л.с. Судовые конвертируемые двигатели мощностью от 90 до 320 л.с в настоящее время выпускает также Богородский машзавод (БМЗ, Нижегородская область) [6]. В основном это дизельные ЯМЗ (236ср2,5, 236ср2, 238М2рр), но они не комплектуются ПОК.

Было решено произвести теоретический расчет, ориентируясь на вполне конкретные параметры хаусбота, отечественный двигатель ВАЗ мощностью 72 л.с. в компоновке с гидравлическим, а не механическим приводом (как наиболее целесообразным на наш взгляд), ПОК+винт. Расчет гидродинамического сопротивления реализован в программном комплексе Freeship. Для моделирования системы управления гидроприводом использован программный комплекс MATLAB, в котором была произведена проверка работы гидропривода и его отдельных компонентов.

3. Выбор платформы хаусбота, расчет сопротивления движению, подбор параметров гребных винтов

Выбрана усредненная по длине ($L=15$ м.) модель корпуса хаусбота катамаранного типа с наиболее технологичными обводами, в виде разворачиваемых на плоскость листов. Данная конструкция может быть изготовлена из различных материалов

(металл, композит, фанера, пластик) с использованием различных технологий. Планы теоретического корпуса показаны на рис. 3. Ширина наибольшая – 6 м, водоизмещение 12.5 тонн при осадке в 0.5 метров. При использовании свободно распространяемого программного обеспечения FreeShip версии 3.5 были получены гидростатические характеристики и буксировочные кривые.

Ввиду того, что для многокорпусных судов сопротивление движению можно рассчитывать разными методиками, было взято за основу две наиболее подходящих, исходя из относительных параметров формы корпуса и чисел Фруда.

По методике Дубровского для катамаранов взят диапазон расчетных скоростей 8, 12, 18 узлов - минимальная, расчетная и максимальная соответственно. Кривые полного сопротивления движению и буксировочной мощности показаны на рис. 4,5.

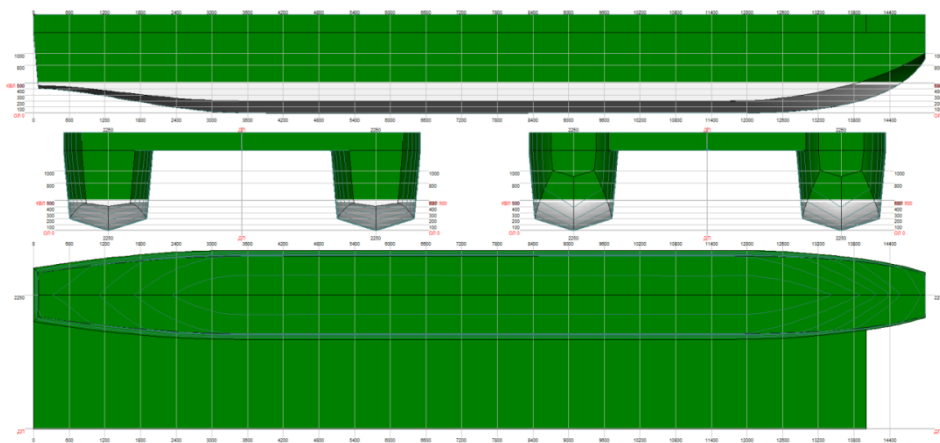


Рис.3 Теоретический чертеж платформы катамаранного корпуса хаусбота

Fig. 3 Theoretical drawing of a houseboat catamaran hull platform

По методике для остроскулых катамаранов (hard-chine) диапазон расчетных скоростей отличается ограниченной начальной – 9.38 узлов. Результаты расчета приведены в табл. 2. Очевидно, что диапазон расчетных скоростей при переводе в международную систему измерений будет составлять для обеих методик 13-33км/ч. На таких скоростях и имеет место выбор оптимальных силовых агрегатов. В таблице ниже показаны сравнения значений полного сопротивления (R_{T-e}) и буксировочной мощности (P_{e-e}) для двух расчетных случаев.

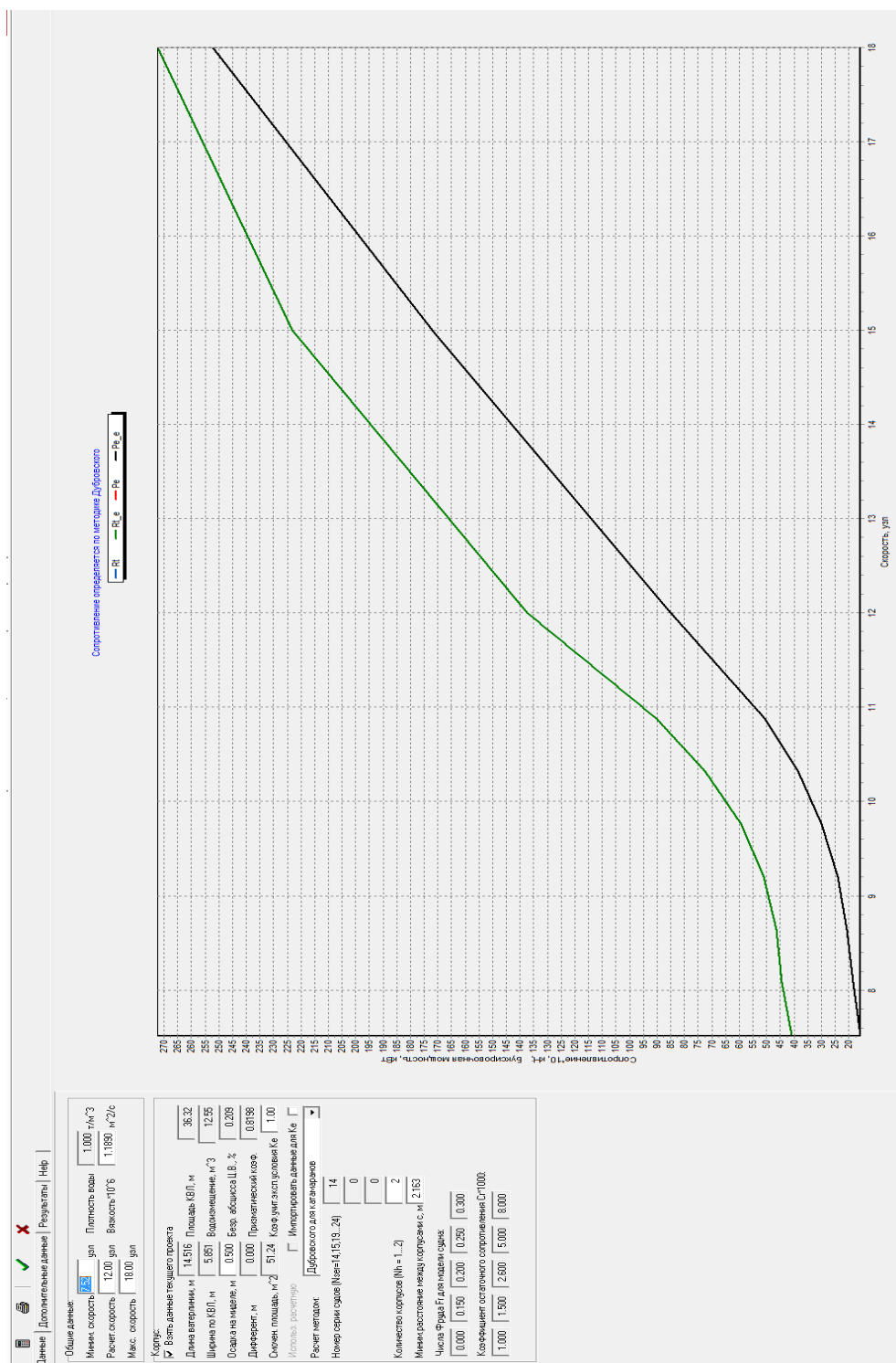


Рис.4. Расчет сопротивления движению и буксировочной мощности по методике Дубровского

Fig. 4. Calculation of resistance to movement and towing power according to the method of Dubrovsky

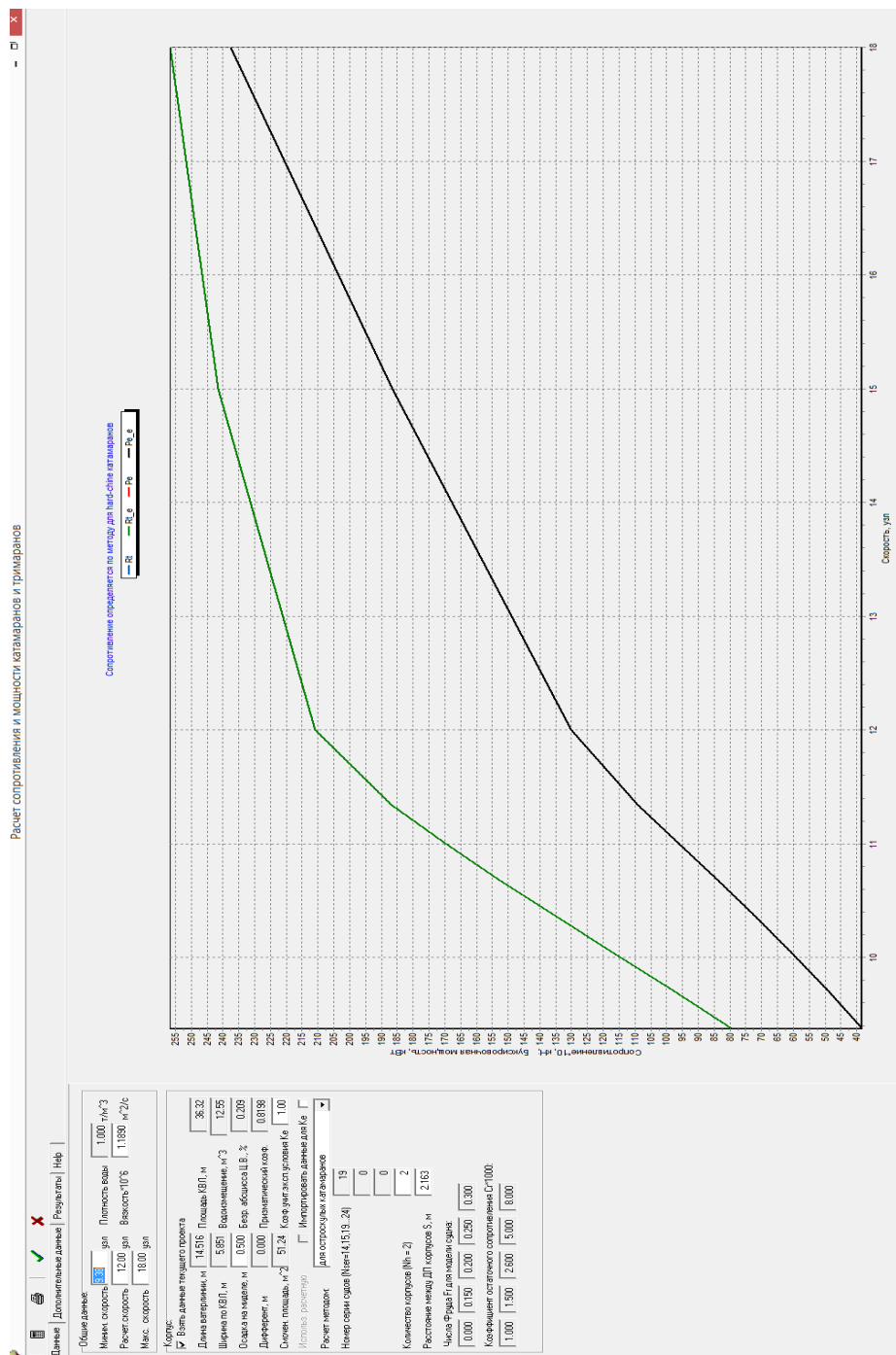


Рис.5 Расчет сопротивления движению и буксировочной мощности по методике для остроскулых катамаранов (hard-chine)

Fig. 5 Calculation of resistance to movement and towing power according to the method for sharp-chine catamarans (hard-chine)

Таблица 2

По методике Дубровского			По методике hard-chine		
V, км/ч	R _{T_e} , кН	Pe _e , кВт	V, км/ч	R _{T_e} , кН	Pe _e , кВт
13,93	4,2	16,3	17,37	8	38,4
14,96	5,1	21	17,98	9,8	48,9
16,00	5,6	25,1	18,58	11,6	60,1
17,04	6,4	30,1	19,19	13,5	72
18,08	7,4	37,1	19,80	15,3	84,2
19,11	8,9	47,1	20,41	17,1	96,6
20,15	10,7	59,6	21,02	18,7	109,1
22,22	14,8	91,2	22,22	21,1	130,1
27,78	26	200,5	27,78	24,2	186,4
33,34	33,6	311,2	33,34	25,7	237,7

Сравнение полученных результатов показывает, что для подбора силового агрегата можно использовать верхнюю границу скоростей по первой методике и нижнюю - по второй. Данная выборка даст при подборе ошибку в безопасную сторону. Таким образом, для скорости 17 км/ч буксировочная мощность составит 38,4 кВт (52,23 л.с. суммарно), соответственно для 33км/ч – 311,2кВт. (423 л.с.). При этом описанная выше расчетная скорость на тихоходном режиме составляет 10-15 км/ч, что в целом соответствует значению мощности в 52.23 л.с. с запасом. Как показано в [8-11], мощность силовой установки может быть задана подбором оптимального гребного винта (рис. 6).

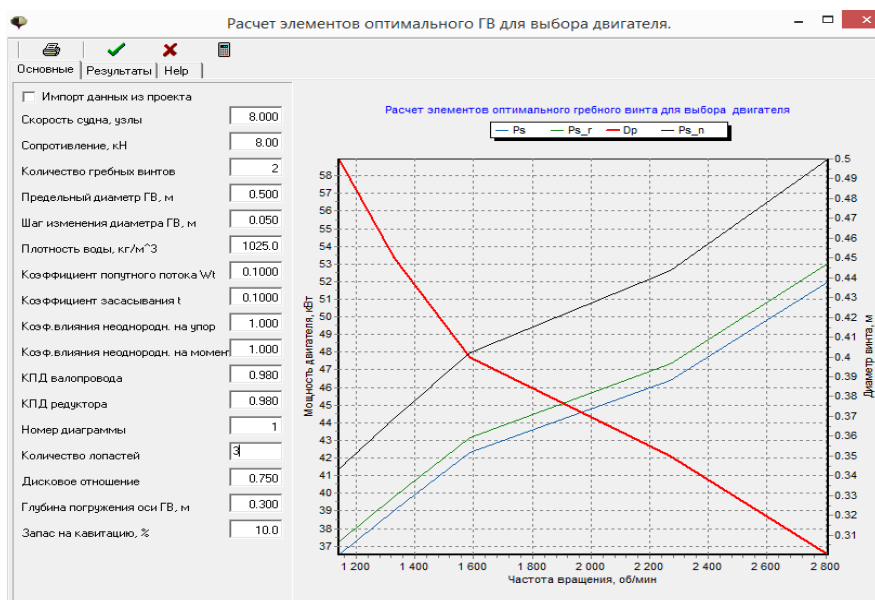


Рис.6 - Расчет элементов оптимального гребного винта сопротивления движению и буксировочной мощности по методике для остроскулых катамаранов (hard-chine)

Fig. 6 Calculation of the elements of the optimal propeller, motion resistance and towing power according to the method for sharp-chine catamarans (hard-chine)

4. Выбор схемы альтернативного привода, построение подробной модель рабочего процесса гидропривода хаусбота

На основании проведенного анализа для передвижения и управления хаусботом был выбран гидравлический привод с объемным регулированием [12]. Принципиальная схема привода, которая была промоделирована в программной среде MATLAB включает в себя аксиально-поршневой регулируемый насос, гидромотор, два гидроцилиндра подъема гребного винта и поворота, а также трубопроводы, вспомогательную и измерительную аппаратуру. По сравнению с механическим приводом преимущества гидравлического заключаются в свободе компоновки, компактности, экономичности, ремонтпригодности.

Будем рассматривать схему гидравлического привода, в котором в качестве гидромашин, сообщающей энергию жидкости, установлен аксиально-поршневой насос с регулируемой подачей жидкости. В данном насосе регулирование подачи жидкости происходит посредством изменения угла наклона пластины, который напрямую влияет на объем рабочих камер насоса. В качестве исполнительного двигателя установлен двигатель внутреннего сгорания мощностью 72 л.с. В качестве гидродвигателей передвижения и управления скоростью движения хаусботом используются два аксиально-поршневых нерегулируемых гидромотора, которые установлены в кормовой части хаусбота. Для подъема и опускания движителей в гидравлической схеме предусмотрены гидроцилиндры двухстороннего действия с односторонним штоком.

Авторами предпринята попытка провести моделирование работы насосной установки (НУ) при максимальных сопротивлениях движению хаусбота с максимальной скоростью движения. Схема разработанной модели системы управления НУ представлена на рис. 7. Она составлена из стандартных блоков библиотек. Определенный блок выполняет заданную функцию схемы управления.

Предварительно рассмотрим имеющиеся математические модели отдельных узлов системы.

Насосная станция:

Блок насоса переменного рабочего объема с компенсацией давления представляет собой насос любого типа с регулируемым рабочим объемом и компенсацией давления в виде модели на основе технических данных. Ключевыми параметрами, необходимыми для параметризации блока, являются максимальный рабочий объем насоса, диапазон регулирования, объемный и общий КПД, номинальное давление и угловая скорость. Все эти параметры обычно указаны в технических паспортах или каталогах [15].

Насос переменного рабочего объема с компенсацией давления представлен следующими уравнениями:

$$q = D \cdot \omega - k_{leak} \cdot p$$

$$T = D \cdot p / \eta_{mech}$$

$$D = \begin{cases} D_{max} & \text{для } p \leq p_{set} \\ D_{max} - K(p - p_{set}) & p_{set} < p < p_{max} \\ 0 & \text{для } p \geq p_{max} \end{cases}$$

$$p_{max} = p_{set} + p_{reg}$$

$$K = D_{max} / (p_{max} - p_{set})$$

где q - подача насоса; p - перепад давления на насосе; D - мгновенный рабочий объем насоса; D_{\max} - максимальный рабочий объем насоса; P_{set} - давление настройки насоса; p_{max} - максимальное давление, при котором рабочий объем насоса равен нулю; T - крутящий момент на приводном валу насоса; ω - угловая скорость насоса; k_{leak} - коэффициент утечки; η_{mech} - механический КПД насоса.

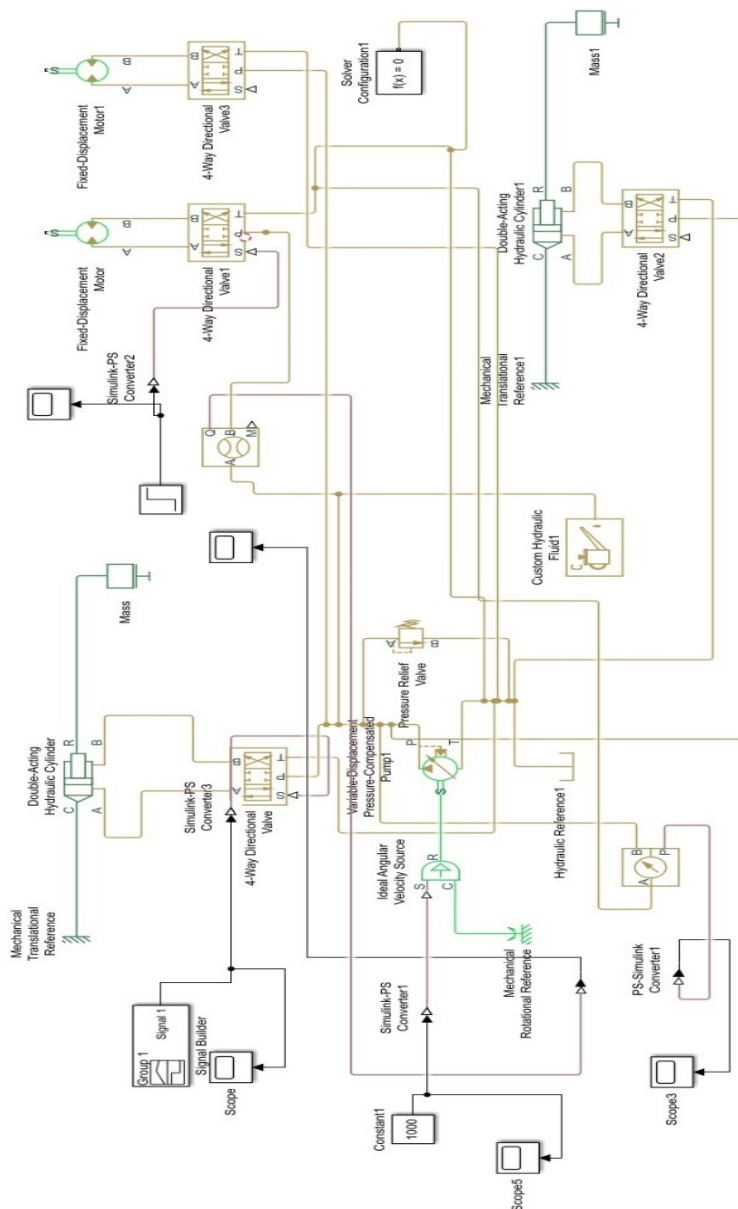


Рис. Рис.7. Принципиальная схема гидравлического привода хаусбота в программной среде MATLAB

Fig. 7. Schematic diagram of the houseboat hydraulic drive in the MATLAB software environment

Поток утечки определяется на основе предположения, что он линейно пропорционален перепаду давления на насосе и может быть вычислен с использованием формулы Хагена-Пуазейля.

$$p = \frac{128\mu l}{\pi d^4} q_{leak}$$

где q_{leak} - утечка потока; d, l – геометрические параметры пути утечки; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости.

Механический КПД насоса обычно не приводится в технических паспортах, поэтому он определяется исходя из общего и объемного КПД в предположении, что гидравлический КПД пренебрежимо мал.

$$\eta_{mech} = \eta_{total} / \eta_v$$

Положительное направление блока - от порта Т к каналу Р. Это означает, что насос перекачивает жидкость от Т к Р при условии, что вал S вращается в положительном направлении. Перепад давления на насосе определяется как $p = p_p - p_T$.

В отличие от дроссельного регулирования, объемное регулирование позволяет повысить КПД работы гидравлического привода за счет уменьшения сопротивления при движении рабочей жидкости [15].

Трубопровод:

В данной модели используется блок Hydraulic Resistive Tube [16], который моделирует гидравлические трубопроводы с круглым и некруглым поперечным сечением.

Потери давления на трение вычисляются с помощью уравнения Дарси. Коэффициент трения в турбулентном режиме определяется в приближении Хааланда [17]. Коэффициент трения при переходе от ламинарного режима к турбулентному определяется с помощью линейной интерполяции между крайними точками режимов. В результате этих предположений труба моделируется в соответствии со следующими уравнениями:

$$p = f \frac{(L+L_{eq}) \rho}{D_H} \frac{q|q|}{2A^2}$$

$$f = \begin{cases} \frac{K_S}{Re} & \text{при } Re \leq Re_L \\ f_L + \frac{f_T - f_L}{Re_T - Re_L} (Re - Re_L) & \text{при } Re_L < Re < Re_T \\ \frac{1}{\left(-1.8 \log_{10} \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{R/D_H}{3.7} \right)^{1.11} \right) \right)^2} & \text{при } Re \geq Re_T \end{cases}$$

$$Re = \frac{q D_H}{A v}$$

где p – потери давления по трубе из-за трения; q – расход по трубе; Re_L – максимальное число Рейнольдса при ламинарном потоке; Re_T – минимальное число Рейнольдса при турбулентном потоке; K_S – коэффициент формы, характеризующий поперечное сечение трубы; f_L – коэффициент трения на ламинарной границе; f_T – коэффициент трения на турбулентной границе; A – площадь поперечного сечения

трубы; D_H – гидравлический диаметр трубы; L - геометрическая длина трубы; L_{eq} – суммарная эквивалентная длина местных сопротивлений; r – высота шероховатости внутренней поверхности трубы; ν – кинематическая вязкость жидкости.

Гидрораспределители:

Блок 4-ходового направленного клапана представляет собой гидрораспределитель с четырьмя портами и тремя положениями или путями потока. Порты подключаются к гидравлическому насосу (порт P), накопительному баку (порт T) и приводу двойного действия (порты A и B). Жидкость может течь от насоса к приводу по пути P-A или P-B и от привода к резервуару по пути A-T или B-T - в зависимости от рабочей стороны привода.

Блок представляет собой составной компонент с четырьмя блоками переменной диафрагмы, управляемыми одним физическим сигналом. Блоки с регулируемым отверстием P-A и регулируемым отверстием P-B представляют пути потока P-A и P-B. Блоки Переменное отверстие A-T и Регулируемое отверстие B-T представляют пути потока A-T и B-T. Физический сигнал указывается через блок порта подключения S.

Параметры блока ориентации отверстия устанавливаются так, что положительный сигнал действует для открытия регулируемого отверстия P-A и регулируемого отверстия B-T, при закрытии регулируемого отверстия A-T и регулируемого отверстия P-B. Отрицательный сигнал имеет противоположный эффект - он действует, открывая регулируемое отверстие A-T и регулируемое отверстие P-B, при этом закрывая регулируемое отверстие P-A и регулируемое отверстие B-T. Структурная схема клапана приведена на рис. 8

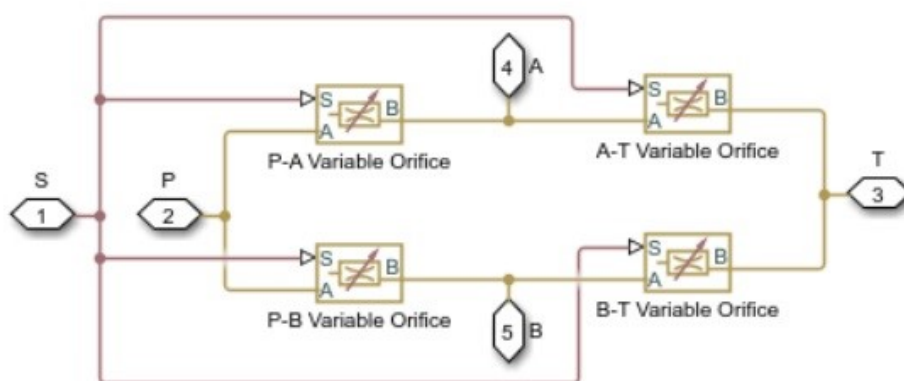


Рис.8 Структурная схема клапана

Fig.8 Block diagram of the valve

Гидромоторы:

Блок двигателя с фиксированным рабочим объемом представляет собой устройство, которое извлекает мощность из гидравлической (изотермической) жидкости сети и передает ее в механическую сеть вращения. Смещение двигателя фиксируется на постоянном значении, которое указывается с помощью параметра смещения.

Порты A и B представляют собой вход и выход двигателя соответственно. Порт S представляет собой приводной вал двигателя. Во время нормальной работы угловая скорость на канале S положительна, если падение давления от порта A к каналу B также положительное.

Объемный расход, необходимый для питания двигателя, равен:

$$q = q_{\text{Ideal}} + q_{\text{Leak}},$$

где: q - чистый объемный расход; q_{Ideal} - идеальный объемный расход; q_{Leak} - объемный расход внутренней утечки.

Крутящий момент, создаваемый в двигателе, равен

$$\tau = \tau_{\text{Ideal}} - \tau_{\text{Friction}},$$

τ – общий крутящий момент; τ_{Ideal} - идеальный крутящий момент;

τ_{Friction} - момент трения.

Идеальный объемный расход:

$$q_{\text{Ideal}} = D\omega,$$

идеальный создаваемый крутящий момент равен:

$$\tau_{\text{Ideal}} = D\Delta p.$$

Жидкость при проходе через отверстие гидрораспределителя при любом потоке находится в турбулентном режиме. Тогда можно описать расход от потерь давления эмпирической формулой для локального сопротивления при турбулентном режиме [18]:

$$Q = \mu A \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$$

где $\mu \approx 0,72$ – коэффициент дросселирования постоянен, при учете, что число Рейнольдса всегда больше 500.

Гидроцилиндры:

Блок гидравлических цилиндров двойного действия моделирует устройство, которое преобразует гидравлическую энергию в механическую энергию в форме поступательного движения [19]. Модель цилиндра построена из блоков библиотеки. Принципиальная схема модели представлена ниже.

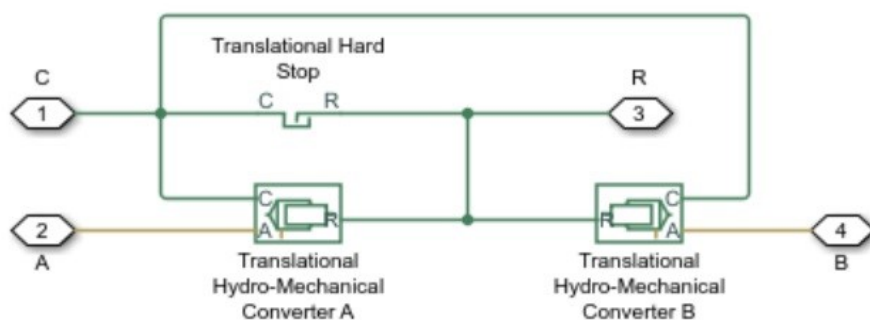


Рис.9 - Принципиальная схема модели

Fig.9 - Schematic diagram of the model

Соединения R и C представляют собой каналы для сохранения механического поступательного движения, соответствующие штоку цилиндра и зажимной конструкции цилиндра, соответственно. Соединения A и B являются гидравлическими портами для консервации. Порт A подключен к преобразователю A, а порт B подключен к преобразователю B.

Энергия через гидравлический порт A или B направляется в соответствующий блок поступательного гидромеханического преобразователя. Конвертер преобразует гидравлическую энергию в механическую и учитывает сжимаемость жидкости в камере цилиндра. Движение штока ограничено механическим блоком Translational Hard Stop таким образом, что шток может перемещаться только между крышками цилиндров.

Направление блока можно регулировать и им можно управлять с помощью параметра ориентации цилиндра.

Заключение

В результате анализа растущего рынка хаусботов была сделана оценка использования отечественных двигателей в комплексе с гидроприводом. Данное решение позволяет рассмотреть возможность альтернативных решений для модульного проектирования платформ для хаусботов. Также проведены расчеты сопротивления движению катамаранной платформы и обосновано использование отечественных конвертированных двигателей. Сделана подробная модель рабочего процесса гидропривода хаусбота (рис.7), что дало возможность исследовать блочные динамические системы. Модель создается из стандартных функциональных графических блоков.

Список литературы

- 1.Официальный сайт компании Houseboat // Про хаусботы, [Электронный ресурс]. — URL: <https://houseboat.ru/pro-hosebot/> (дата обращения: 11.06.2021).
- 2.Официальный сайт компании proboating.ru // Выбираем судовой двигатель, [Электронный ресурс]. — URL: <http://proboating.ru/articles/howto/choosing-marine-engine/> (дата обращения: 18.06.2021).
- 3.Волковик К. Двигателестроительные заводы России могут удовлетворить все потребности наших флотов, [Электронный ресурс]. — URL: www.korabel.ru/news/comments/dvigatelistroitelnye_zavody_rossii_mogut_udovletvorit_vse_potrebnosti_nashih_flotov.html (дата обращения: 21.06.2021).
- 4.Официальный сайт компании motorka.org // Катер Амур-Д, [Электронный ресурс]. — URL: <https://motorka.org/katera/1304-kater-amur-d.html> (дата обращения: 23.06.2021).
- 5.Официальный сайт компании ООО "ДМ Технолоджи" // ВАЗ 21124 конвертированный двигатель. [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.jetmarine.ru/dvigateli/vaz-21124-konvertirovannyy-dvigatel.html> (дата обращения: 23.06.2021).
- 6.Официальный сайт ОАО Богородского машиностроительного завода // Продукция, [Электронный ресурс]. — URL: <https://bogorodskmash.n4.biz/products> (дата обращения: 23.06.2021)
- 7.Официальный сайт компании SPARK // Houseboats Market | Global Opportunity, Growth Analysis And Outlook Report upto 2027 [Электронный ресурс]. — URL: <https://spark.ru/user/135072/blog/77297/houseboats-market-global-opportunity-growth-analysis-and-outlook-report-upto-2027> (дата обращения: 28.06.2021)
- 8.Yun L., High Speed Catamarans and Multihulls / L. Yun, A. Bliault, H. Zong Rong. - Springer, 2019. – 783 p. DOI:10.1007/978-1-4939-7891-5
- 9.Слижевский Н.Б., Король Ю.М., Соколик М.Г., Тимошенко В.Ф. Расчет ходкости надводных водоизмещающих судов: Учебное пособие. Под общ. ред. проф. Н.Б.Слижевского. -Николаев, НУК, 2004.-192с.

10. Nazarov A. Small Catamarans: Design Approaches and Case Studies // International Journal of Small Craft Technology, - The Transactions of Royal Institution of Naval Architects - Part B1 2015. – P. 11-22 DOI:10.3940/rina.ijsc.2015.b2.164
11. Демина К.С., Ковпей Н.В., Латина С.В. Дома на воде // Международный студенческий научный вестник. – 2016. № 5-3.
12. Гойдо М. Е., Проектирование объемных гидроприводов. — Москва : Машиностроение, 2009. — 304 с. — ISBN 978-5-94275-427-3. — Текст электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/729> (дата обращения: 10.03.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
13. Руппель А.А., Сагандыков А.А., Корытов М.С. Моделирование гидравлических систем в MATLAB: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2009. – 172с.
14. Ивановский Ю. К., Моргунов К. П. Основы теории гидропривода. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 200 с. — ISBN 978-5-8114-2955-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/102590> (дата обращения: 10.03.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
15. Емельянов Р.Т., Прокопьев А.П., Климов А.С. Моделирование рабочего процесса гидропривода с дроссельным регулированием // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 11. – С. 62–64.
16. SimHydraulics. – Access mode: <http://matlab.ru/products/simhydraulics>.
17. Transdisciplinarity: Stimulating Synergies, Integrating Knowledge Division of Philosophy and Ethics UNESCO, 1998, pp. 37–38.
18. Gellerstedt S. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work // Journal. of Forest Engineering. 2002. Vol. 13, no. 2. P. 45–47.
19. Combinative Control Method of Centrifugal Pump Based on Variable Frequency Drive and Auto Back Flow Control Valve / W.G. Zhang, W.D. Yang, F.X. Dou, L.J. Wang // Petrochemical Equipment. – 2016. – Vol. 45. – № 6. – P. 73–76. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7466.2016.06.016

References

1. The official website of the Housebot company // Pro khausboty [About housebots], [Electronic resource]. - URL: <https://houseboat.ru/pro-hosebot/> (accessed: 06.11.2021).
2. The official website of the company proboating.ru // Vybiraiem sudovoi dvigatel' [Choosing a ship engine], [Electronic resource]. - URL: <http://proboating.ru/articles/howto/choosing-marine-engine/> (accessed: 18.06.2021).
3. Volkovik K. // Dvigatellestroitel'nye zavody Rossii mogut udovletvorit' vse potrebnosti nashikh flotov [Engine-building plants of Russia can satisfy all the needs of our fleets], [Electronic resource]. - URL: www.korabel.ru/news/comments/dvigatellestroitelnye_zavody_rossii_mogut_udovletvorit_vse_potrebnosti_nashih_flotov.html (accessed: 21.06.2021).
4. The official website of the company motorka.org // Kater Amur-D [Boat Amur-D], [Electronic resource]. - URL: <https://motorka.org/katera/1304-kater-amur-d.html> (accessed: 23.06.2021).
5. Official site of the company "DM Technology" LLC // VAZ 21124 konvertirovannyi dvigatel' [VAZ 21124 converted engine]. [Electronic resource]. - URL: <http://www.jetmarine.ru/dvigateli/vaz-21124-konvertirovannyi-dvigatel.html> (accessed: 23.06.2021).
6. Official site of JSC Bogorodsky machine-building plant // Production, [Electronic resource]. - URL: <https://bogorodskmash.n4.biz/products> (accessed: 23.06.2021).
7. Official site of the SPARK company // Houseboats Market | Global Opportunity, Growth Analysis And Outlook Report upto 2027 [Electronic resource]. - URL: <https://spark.ru/user/135072/blog/77297/houseboats-market-global-opportunity-growth-analysis-and-outlook-report-upto-2027> (accessed: 28.06.2021)
8. Yun L., High Speed Catamarans and Multihulls / L. Yun, A. Bliault, H. Zong Rong. - Springer, 2019. – 783 p. DOI:10.1007/978-1-4939-7891-5
9. Slizhevsky N.B., King Yu.M., Sokolik M.G., Timoshenko V.F. Raschet khodkosti nadvodnykh vodoizmeshchayushchikh sudov [Calculation of the speed of surface displacement vessels]: Textbook. Under ed. prof. N.B.Slizhevsky.-Nikolaev, NUK, 2004.-192 p. (in Russ)
10. Nazarov A. Small Catamarans: Design Approaches and Case Studies // International Journal of Small Craft Technology, - The Transactions of Royal Institution of Naval Architects - Part B1 2015. – P. 11-22 DOI:10.3940/rina.ijsc.2015.b2.164
11. Demina K.S., Kovpey N.V., Latina S.V. Doma na vode [Houses on the Water] // International Student Scientific Bulletin. - 2016. - No. 5-3. (in Russ)

12. Goido, M.E., Proektirovanie ob'emnykh gidroprivodov [Design of volumetric hydraulic drives] / ME Goido. - Moscow: Mechanical Engineering, 2009. -- 304 p. - ISBN 978-5-94275-427-3. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/729> (accessed: 10.03.2021). - Access mode: for authorization users.
13. Ruppel A.A., Sagandykov A.A., Korytov M.S. Modelirovanie gidravlicheskih sistem v MATLAB [Modeling Hydraulic Systems in MATLAB]: A Tutorial. - Omsk: SibADI, 2009. -- 172p. (in Russ)
14. Ivanovskiy, Yu.K. Osnovy teorii gidroprivoda [Fundamentals of the theory of hydraulic drive] / Yu. K. Ivanovskiy, KP Morgunov. - St. Petersburg: Lan, 2018. -- 200 p. - ISBN 978-5-8114-2955-4. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/102590> (accessed: 03.10.2021). - Access mode: for authorization users. (in Russ)
15. Emelyanov R.T., Prokopyev A.P., Klimov A.S. Modelirovanie rabocheho protsessa gidroprivoda s drossel'nyim regulirovaniem [Modeling the working process of a hydraulic drive with throttle control] // Construction and road machines. - 2009. - No. 11. - P. 62–64.
16. SimHydraulics. – Access mode: <http://matlab.ru/products/simhydraulics>.
17. Transdisciplinarity: Stimulating Synergies, Integrating Knowledge Division of Philosophy and Ethics UNESCO, 1998, pp. 37–38.
18. Gellerstedt S. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work // Journal. of Forest Engineering. 2002. Vol. 13, no. 2. P. 45–47.
19. Combinative Control Method of Centrifugal Pump Based on Variable Frequency Drive and Auto Back Flow Control Valve / W.G. Zhang, W.D. Yang, F.X. Dou, L.J. Wang // Petrochemical Equipment. – 2016. – Vol. 45. – № 6. – P. 73–76. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7466.2016.06.016

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гордлеева Ирина Юрьевна, к.ф.-м.н., доцент, доцент Кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: vishkind@rambler.ru

Irina Y. Gordleeva, Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Hoisting-and-Transport Machines and Machine Repair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: vishkind@rambler.ru

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

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

Никитаев Игорь Владимирович, к.т.н., доцент, Кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: inikitaev@bk.ru

Igor V. Nikitaev, Ph.D., associate professor of the Department of Hoisting-and-Transport Machines and Machine Repair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: inikitaev@bk.ru

Статья поступила в редакцию 16.07.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 16.07.2021; published online 15.09.2021

УДК 629.122

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.184>

Расчет грузоподъемности комбинированных судов в задаче оптимизации главных элементов

И. А. Гуляев¹

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

Е. П. Роннов²

¹ФАУ «Российский Речной Регистр», г. Москва, Россия

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

Аннотация. Статья посвящена разработке методики оценки грузоподъемности комбинированного судна типа танкер/судно-площадка. Особенность расчета грузоподъемности таких судов связана с тем, что они имеют два конструктивно разных грузовых помещения, которые в тоже время взаимосвязаны, в том числе размерами, и влияющие друг на друга. Это обстоятельство приводит к необходимости корректировки известных методик оценки грузоподъемности при обосновании главных размерений отдельно как танкеров, так и судов-площадок. Предлагается в уравнениях грузоподъемности этих судов включать параметры, учитывающие это взаимное влияние и влияющие на грузоподъемность. Даны способы их определения на начальных стадиях проектирования. Все это позволило получить зависимости, включение которых в математическую модель задачи оптимизации главных элементов комбинированного судна типа танкер/судно-площадка позволяет корректно оценивать все возможные варианты главных размерений с точки зрения их соответствия грузоподъемности по каждому из перевозимых грузов и исключать из рассмотрения не удовлетворяющие этому требованию.

Ключевые слова: комбинированное судно, грузоподъемность по жидкому наливному грузу, грузоподъемность по сухому грузу, длина отсеков корпуса, условие грузоподъемности.

Cargo carrying capacity calculation for combined ships in optimization problem for ship's main elements

Ilya A. Gulyaev¹

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

Evgeniy P. Ronnov²

¹Federal Autonomous Institution Russian River Register, Moscow, Russia

²Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This article is devoted to the development of the cargo carrying capacity evaluation method for a combined ship of tanker/platform type. A specific feature of cargo carrying capacity calculation for such ships lies in the fact that they have two cargo compartments of different structure. The compartments are interconnected, including dimensions, and influence each other. This fact leads to the need to update the existing calculation methods when justifying the main dimensions both of tankers and of platform ships. It is proposed to include the parameters which affect the cargo carrying capacity and take into account the above-mentioned influence into the cargo carrying capacity equations. This article also specifies the determination methods for these parameters in the early stages of ship designing. All this made it possible to obtain relations, the inclusion of which into the mathematic model of optimization problem for main elements of a combined ship (tanker/platform type) allows proper evaluation of all available options of main dimensions in terms of their compliance with carrying capacity for each specific cargo as well as exclusion of improper options from consideration.

Keywords: combined ship, liquid bulk cargo carrying capacity, dry bulk cargo carrying capacity, hull compartments length, cargo carrying capacity requirement.

Введение

Комбинированные суда предназначены для перевозки в разных рейсах (раздельная перевозка) жидких наливных и сухих навалочных либо тарно-штучных грузов, как правило, в различных помещениях.

На этапе исследовательского проектирования при оптимизации главных элементов судна и анализе главных размерений возникает необходимость оценки их соответствия заданной грузоемкости. Перевозка разного вида груза на комбинированном судне приводит к архитектурно-конструктивным особенностям этого типа флота и необходимости контроля грузоемкости по каждому роду перевозимого груза.

Возможны различные архитектурно-конструктивные типы комбинированных судов [1]. Для судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания в настоящее время при перевозке нефтепродуктов наливом действует жесткое требование наличия вторых бортов и второго дна [2], [3]. Поэтому из всех возможных типов [1] наиболее рациональным и перспективным является судно с корпусом танкера, на гладкой палубе которого, как на палубе судна-площадки, располагают грузовую площадку для навалочных либо тарно-штучных грузов (рис. 1). Поэтому такие суда принято называть комбинированными типа «танкер/судно-площадка» [4], [5].

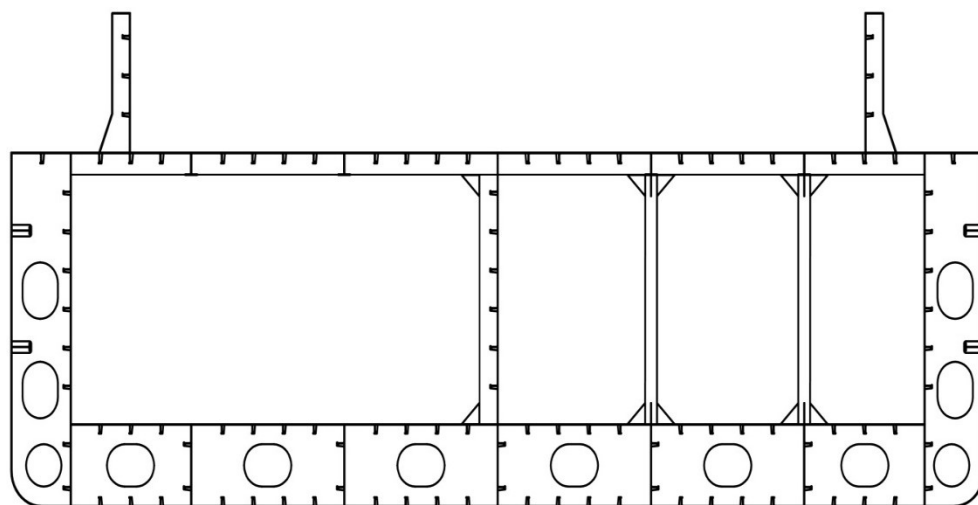


Рис. 1. Типовая схема мидель-шпангоута комбинированного судна типа «танкер/судно-площадка».

Fig 1. Typical layout of the midship frame of a combined tanker / platform vessel.

Конструкция корпуса танкерной части такого судна совмещает в себе особенности наливного и судна-площадки, что необходимо учитывать при анализе их грузоемкости, которая в этом случае должна обеспечиваться не только по основному, наиболее высокотарифицированному грузу, располагаемому в корпусе (в грузовых танках) судна, но и по сухому грузу. В отечественной практике в большинстве случаев таким грузом является нефть и нефтепродукты. Общие вопросы грузоемкости грузовых судов рассмотрены в [6], [7] и других. В работах [8], [9],

[10], [11] и [13] отмечается актуальность этих вопросов для комбинированных судов. В работах [14] и [15] предпринята попытка обоснования соотношения грузоподъемности по жидкому и тарно-штучному грузу (контейнерам) комбинированного судна типа нефтерудовоз. Однако вопросы анализа грузовместимости при заданных главных размерениях комбинированного судна типа танкер/судно-площадка остаются открытыми. С учетом необходимости выполнения требований МК МАРПОЛ 73/78 [2] в части необходимости наличия вторых бортов и второго дна конструкция комбинированных судов эксплуатируемых в морских районах (нефтерудовозов, танкеров-балкеров и т.п.) вынужденно претерпела значительные изменения [12]. Подобные тенденции оказывают влияние и на облик комбинированных судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания.

Грузовместимость по наливным грузам

Грузовместимость помещений для наливного комбинированного судна с главными размерениями $L \times B \times H \times T$ определяется условием размещения в грузовом районе («танковой части») корпуса не только грузовых танков, но и некоторых дополнительных специальных, например, отстойных, сборных, напорных и т.п. в этом случае условие грузовойместимости будет иметь вид:

$$W_T \geq W_{гр} + W_0 \quad (1)$$

где W_T – полезный объем «танковой» части корпуса;

$W_{гр}$ – объем танков, необходимый для размещения заданного количества жидкого груза;

W_0 – объем специальных танков.

Объем $W_{гр}$ находится исходя из его количества (грузоподъемности по жидкому грузу $P_{гр}$) и плотности $\rho_{гр}$. Объем специальных танков может быть выражен в долях от объема, занимаемого грузом, тогда условие грузовойместимости примет вид:

$$W_T \geq (1 + k_0)W_{гр} \quad (2)$$

Значение коэффициента k_0 зависит от конкретных конструктивных требований и решений по грузовой системе. В частности, применительно к нефтетанкерам смешанного (река-море) плавания Правилами [3] предусматривается минимальный объем отстойных танков не менее 3% от объема груза.

Объем $W_{гр}$, необходимый для размещения заданного количества $P_{гр}$, учитывая его плотность и возможное температурное расширение будет:

$$W_{гр} = \frac{P_{гр} \cdot k_T}{\rho_{гр}} \quad (3)$$

где k_T – коэффициент, учитывающий увеличение объема при температурном расширении груза, обычно принимаемый равным 1,05.

Объем танковой части корпуса с учетом наличия у наливного судна второго борта и второго дна можно представить:

$$W_T = (1 - \chi_n) \cdot \delta_T \cdot L_T \cdot (B - 2b) \cdot (H - h) \quad (4)$$

где b, h – ширина межбортовых отсеков и высота второго дна соответственно;

δ_T, L_T – коэффициент общей полноты и длина помещений «танковой» части корпуса соответственно;

χ_n – коэффициент, учитывающий потери объема грузовых танков на набор, пиллерсы, фермы, располагаемые внутри танков.

Условие грузопместимости (2), учитывая (3) и (4) можно представить относительно лимитирующих размеров «танковой» части корпуса и соответствующих главных размерений:

$$\begin{aligned} L_T &\geq \frac{k_T \cdot (1 + k_0) \cdot P_{гр}}{\rho_{гр} \cdot \delta_T \cdot (1 - \chi_n)} \cdot [(B - 2b) \cdot (H - h)]^{-1} \\ H &\geq \frac{k_T \cdot (1 + k_0) \cdot P_{гр}}{\rho_{гр} \cdot \delta_T \cdot (1 - \chi_n)} \cdot [L_T \cdot (B - 2b)]^{-1} - h \end{aligned} \quad (5)$$

Полученные выражения могут использоваться для проверки условия обеспечения грузопместимости. Входящие в (5) величины b и h принимаются конструктивно с учетом требований [3] и технологичности исполнения. Коэффициенты для рассматриваемого судна являются константами и их можно объединить. Тогда условия (5), которые также характеризуют достаточность грузопместимости при первоначальном анализе выполнения этого качества, примут вид:

$$\begin{aligned} L_T &\geq k_0 \rho^{-1} P_{гр} [(B - 2b) \cdot (H - h)]^{-1} \\ H &\geq k_0 \rho^{-1} P_{гр} [L_T (B - 2b)]^{-1} - h \end{aligned}$$

Принимая средние значения входящих в (5) коэффициентов, можно получить диапазон изменения $k_0 = 1,1 \div 1,2$.

Действительные размеры помещений танковой части корпуса в первом приближении можно найти следующим образом:

$$L_T = L - \sum L_i \quad (6)$$

где L_1, L_2, L_3, L_4 – длина форпика, ахтерпика, машинного отделения, коффердама и насосного отделения, если оно предусматривается, соответственно.

Длина форпика в соответствии с требованиями Правил [3] должна быть не менее половины ширины судна и на стадии исследовательского проектирования может быть принята из условия равенства. Однако между форпиком и грузовыми танками, как правило, предусматривается коффердам, а иногда и сухой отсек. Суммарная длина этих отсеков в относительном виде по статистическим данным составляет [17]:

$$l_\phi = \frac{2L_1}{B} = 1,0 \dots 1,8$$

На начальных стадиях проектирования можно принять следующие значения величины l_ϕ

$$l_\phi = \begin{cases} 1,0 \dots 1,1 & \text{если } \frac{L}{B} \leq 6,9 \\ 0,15 \frac{L}{B} + 0,125 & \text{если } \frac{L}{B} > 6,9 \end{cases} \quad (7)$$

При наличии на судне подруливающего устройства относительную длину форпика можно рассчитать по следующей эмпирической формуле [17]:

$$l_{\phi} = 0,3 \frac{L}{B} - 0,8 \quad (8)$$

При носовом расположении надстройки, что для комбинированных судов может быть актуальным из увеличения объема палубного грузового «ящика», при обеспечении необходимого уровня видимости из рулевой рубки, суммарная длина форпика и отсека под надстройкой L_{1H} , может быть найдена по выражению:

$$L_{1H} = \left(\frac{l_{\phi}}{2} + 1 \right) B \quad (9)$$

Длина ахтерпика Правилами [3] не регламентируется и принимается из условия размещения в этом отсеке рулевой машины, а также с учетом общепринятых требований, таких как форма обводов кормовой оконечности, размещение двигателей, движительно-рулевого комплекса, механизмов и оборудования в смежных отсеках. Приняв допущение, что длина ахтерпика является функцией:

$$L_2 = f \left(\frac{L}{B}, L_3, \alpha, \delta \right), \quad (10)$$

на основе статистического анализа получено [17]:

$$L_2 = 0,38 \cdot L_3 \cdot \delta^{-2,63} \cdot \alpha^{0,78} \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{-0,107} \quad (11)$$

где α, δ – коэффициенты полноты ватерлинии и объемного водоизмещения соответственно. Длина машинного отделения L_3 во многом определяет его площадь и возможность размещения в нем главных двигателей и других механизмов, и устройств, размеры которых прямо или косвенно зависят от мощности главных двигателей. Анализ статистических данных позволяет получить следующую зависимость:

$$L_3 = 5N \cdot 10^{-3} + a \quad (12)$$

где N – мощность главных двигателей, кВт;

a – эмпирический коэффициент, принимаемый равным 8,5 при низко- и среднеоборотных главных двигателях мощностью более 350 кВт и 7,0 – при средне- и высокооборотных двигателях мощностью менее 350 кВт.

В перечень прочих отсеков могут входить насосные отделения, диптанки, топливные отсеки. Их размеры могут быть приняты как константы, исходя из конструктивных особенностей судна.

Отличительной особенностью современных танкеров внутреннего и смешанного (река-море) плавания является использование в качестве грузовых насосов погружных, обслуживающих некоторую совокупность грузовых танков [16]. Это позволяет отказаться от насосного отделения, располагаемого перед машинным отделением, оставив кофортам стандартных размеров. Кроме того, широкое применение на этих танкерах винто-рулевых колонок исключило необходимость размещения в ахтерпике рулевых машин. Размещение в ахтерпике привода колонки делает этот отсек при математическом моделировании как бы продолжением машинного. Исходя из этого, состав слагаемых в (5) несколько изменяется, поскольку исключается длина ахтерпика L_2 и насосное отделение из прочих отсеков.

Грузовместимость по сухим грузам

Другой стороной вместимости комбинированных судов является оценка объема грузовых помещений под обратный сухой навалочный либо тарно-штучный груз. Применительно к принятому архитектурно-конструктивному типу комбинированного судна, за основной, как отмечалось выше, принимается наливной груз, размещающийся в корпусе гладкопалубного танкера. Насыпной и тарно-штучный в обратном рейсе принимается на грузовую площадку-палубу грузовых танков. В такой постановке возникает задача определения максимально возможных размеров этой грузовой площадки, а затем, исходя из удельного погрузочного объема, можно определить грузоподъемность по навалочному грузу.

Размер грузовой площадки в плане L_n и B_n зависит от размеров «танковой» части корпуса и всегда меньше их, так как специальные системы и устройства, располагаемые обычно на палубе танкера, на комбинированном судне выносятся за пределы грузовой площадки, уменьшая ее относительно размеров танковой части корпуса:

$$L_n = L_T - \sum_{i=1}^2 \Delta l_i \quad \text{и} \quad B_n = B_T - 2\Delta b, \quad (13)$$

где $\Delta L_1, \Delta L_2$ – ширина поперечной потопчины палубы в ее носовой и кормовой части соответственно;

Δb – ширина потопчины палубы по борту.

Потопчина по борту Δb обеспечивает не только возможность прохода из надстройки на бак, на ней размещаются вынесенные за пределы грузовой площадки элементы необходимых специальных систем и устройств танкера, которые обычно располагаются на палубе танкера, над грузовыми танками. Естественно, Δb больше, чем потопчина на сухогрузных трюмных судах и судах-площадках. Ее размеры определяются конструктивно. На стадиях исследовательского проектирования, учитывая известный опыт проектной проработки и создания комбинированных судов, величину Δb можно принимать в диапазоне 2,1÷2,2 м. При этом большие значения соответствуют судам грузоподъемностью по наливному грузу больше 3000 т.

Ширина поперечных потопчин также принимается минимально возможной из условия общесудовых конструктивных требований и составляет в носу три практические шпации от бака, а в кормовой части грузовой площадки пять шпаций.

Объем груза на грузовой площадке, имеющей ограждение от остальной палубы, как и на судах-площадках, складывается из двух составляющих (рис. 2):

$$W_{сг} = W_n + W_T \quad (14)$$

где W_n – объем груза в грузовой площадке, то есть в пределах параллелепипеда со сторонами $L_n \times B_n \times h_n$;

W_T – составляющая, определяемая возможным объемом «горки» навалочного груза и их количества по длине грузовой площадки. Его величина зависит от угла естественного откоса α , характерного для каждого вида навалочного груза.

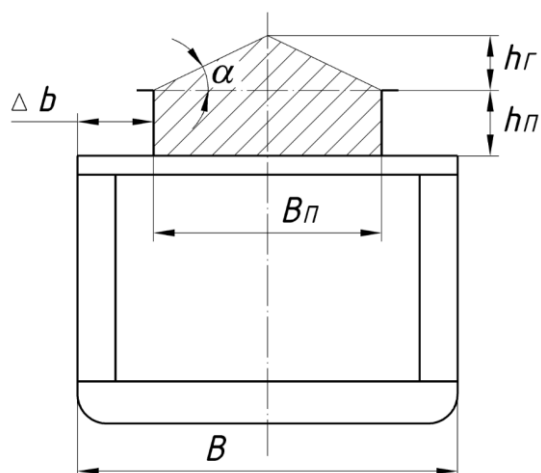


Рис.2. Схема поперечного сечения

Fig. 2. Cross-sectional diagram

Из геометрических представлений нами получено:

$$W_{гр} = h_{п}L_{п}B_{п} + 0,15tg\alpha L_{п}B_{п}^2 \quad (15)$$

В том случае, если поставлена задача определения необходимых размеров грузовой площадки при заданной грузоподъемности по сухому грузу $P'_{гр}$ и принятых главных размерениях, то есть только за счет высоты ограждения $h_{п}$, из условия грузоемкости будем иметь:

$$h_{п} \geq (\mu_{гр}P'_{гр} - 0,15tg\alpha L_{п}B_{п}^2)(L_{п}B_{п})^{-1} \quad (16)$$

где $\mu_{гр}$ – удельный погрузочный объем груза, м³/т.

Если есть ограничение на высоту ограждения грузовой площадки $h_{п}$, то необходимый объем можно обеспечить либо за счет ее ширины, определяемой по выражению:

$$B_{п} \geq -\frac{h_{п}}{0,3tg\alpha} + \left(\frac{h_{п}^2}{0,09tg^2\alpha} - \frac{\mu_{гр}P'_{гр}}{0,15tg\alpha L_{п}} \right)^{0,5} \quad (17)$$

либо за счет длины:

$$L_{п} = \frac{\mu_{гр}P'_{гр}}{h_{п}B_{п} + 0,15tg\alpha B_{п}^2} \quad (18)$$

Но и в том, и в другом случае это приведет к соответствующей корректировке главных размерений судна, выполняемых с учетом (4) и (6).

Заключение

При разработке математической модели оптимизации главных элементов судна необходимо на каждом шаге выбора главных размерений проводить анализ их соответствия многочисленным требованиям, в том числе возможности обеспечения

грузовместимости судна. Комбинированные суда рассматриваемого типа предназначены для перевозки двух разных родов груза – наливного жидкого и сухого. Это сказывается как на размерах и конструктивных особенностях грузовых помещений, так и методиках обоснования их грузовой вместимости. Полученные в работе зависимости учитывают эту особенность и позволяют исключать их рассмотрения варианты, не удовлетворяющие условию обеспечения грузовой вместимости комбинированного судна.

Список литературы

1. Гуляев И. А., Роннов Е. П. Классификация и архитектурно-конструктивные особенности комбинированных судов. // Научные проблемы водного транспорта № 62 (2020); С. 40–50.
2. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов МАРПОЛ 73/78.
3. ФАУ «Российский Речной Регистр» Правила классификации и постройки судов Москва, 2019.
4. Егоров Г. В., Тонюк В. И., Дурнев Е.Ю. «Сверхполные» комбинированные суда проекта RST54 для перевозки нефтепродуктов и сухих грузов, а также контейнеров, накатной техники и проектных грузов. // ООО «Морское инженерное бюро», журнал «Судостроение», № 4, 2017 г.
5. Егоров Г.В., Тонюк В.И., Ворона О.А., Бутенко Н.В. Обоснование главных параметров комбинированных судов смешанного (река-море) плавания для перевозки нефтепродуктов, навалочных грузов, контейнеров, накатной техники и негабаритов. // Вестник Одесского национального морского университета, № 3 (52), 2017 г
6. Ногид Л.М. Теория проектирования судов. – Л.: Судпромгиз. 1955. – 497 с.
7. Ашик В.В. Проектирование судов: учебник //– 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1985. –320 с.
8. Burneett A. To own a combination ship «Marine design international», march 26, 1971, P.19.
9. Dorman W. Combination bulk carriers «Marine technology», 1966, № 4, P.409-453.
10. MARIE DOUET (1999) Combined ships: an empirical investigation about versatility, Maritime Policy & Management, 1999, VOL. 26, NO. 3, P. 231-248
11. Drewry Shipping Consultants, 1989, Combined Carriers: Future Role and Profitability of O/O and OBO Carriers (London, UK: Drewry), p. 51.
12. A. Campanile, V. Piscopo, A. Scamardella (2018) Comparative analysis among deterministic and stochastic collision damage models for oil tanker and bulk carrier reliability. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 10 (2018) P. 21-36.
13. Железяков Ж.К. Комбинированные суда для перевозки нефти и навалочных грузов //Ленинград: Судостроение, 1976.
14. Кочнев Ю.А., Масленников А.В. Обоснование целесообразности постройки комбинированного судна «танкер-контейнеровоз». //Вестник ВГАВТ, № 28 (2010) С. 34–41.
15. Кочнев Ю. А. Оптимизация главных элементов и доминирующих признаков архитектурно-конструктивного типа танкеров смешанного (река-море) плавания: диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук: 05.08.03: защищена 20.06.2011 / Юрии Александрович Кочнев. – Нижний Новгород, 2011. – 262с.
16. Егоров Г.В., Егоров А. Г. Основные решения нового поколения «сверхполных» грузовых судов смешанного (река-море) и внутреннего плавания. //ООО «Морское инженерное бюро», журнал «Судостроение», № 4, 2018 г.
17. Роннов Е.П. Вместимость сухогрузного судна внутреннего плавания //Вестник ВГАВТ, №31 (2012) С. 86–92.

References

1. Gulyaev I. A., Ronnov E. P. Klassifikaciya i arhitekturno-konstruktivnye osobennosti kombinirovannyh sudov. // Russian Journal of Water Transport, (2020). № 62. S. 40–50. (in Russ)
2. International Convention for the prevention of pollution from ships, MARPOL 73/78.
3. FAI «Russian River Register». Rules for the Classification and Construction. Moscow, 2019.
4. Egorov G. V. Tonyuk V.I., Durnev E. Y. "Saturated" multi-purpose P.RST54 ships for transportation of oil and dry cargo, as containers, rolling equipment and special-purpose cargo and other containers. Marine Engineering Bureau, zhurnal «Sudostroenie», No 4, 2017. (in Russ)
5. Egorov G. V. Tonjuk V.I., Vorona O.A., Butenko N.V. Obosnovanie glavnyh parametrov kombinirovannyh sudov smeshannogo (reka-more) plavanija dlja perevozki nefteproduktov,

- navalochnyh gruzov, kontejnerov, nakatnoj tehniki i negabaritov. Vestnik Odesskogo nacional'nogo morskogo universiteta, No 3 (52), 2017. (in Russ)
6. Nogid L.M. Teoriya proektirovaniya sudov / L.M. Nogid. – L.:Sudpromgiz. 1955. –497 s. (in Russ)
 7. Ashik V. V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. - 2-e izd., pererab. i dop. - L.: Sudostroenie, 1985.- 320 s. (in Russ)
 8. Burneett A. To own a combination ship «Marine design international», march 26, 1971, P.19.
 9. Dorman W. Combination bulk carriers «Marine technology», 1966, № 4, P.409-453.
 10. MARIE DOUET (1999) Combined ships: an empirical investigation about versatility, Maritime Policy & Management, 1999, VOL. 26, NO. 3, P. 231-248
 11. Drewry Shipping Consultants, 1989, Combined Carriers: Future Role and Profitability of O/O and OBO Carriers (London, UK: Drewry), p. 51.
 12. A. Campanile, V. Piscopo, A. Scamardella (2018) Comparative analysis among deterministic and stochastic collision damage models for oil tanker and bulk carrier reliability. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 10 (2018) P. 21-36.
 13. Zhelezjakov Zh. K. Kombinirovannye suda dlja perevozki nefi i navalochnyh gruzov. Leningrad, «Sudostroenie», 1976. (in Russ)
 14. Kochnev J.A. Maslennikov A. V. Expediency substantiation of the construction of the combined vessel the tanker-container carrier, Vestnik VGUVT, No 28, 2010, p. 34-41. (in Russ)
 15. Kochnev YU. A. Optimizaciya glavnyh elementov i dominiruyushchih priznakov arhitekturno-konstruktivnogo tipa tankerov smeshannogo (reka-more) plavaniya: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk: 05.08.03: zashchishchena 20.06.2011 / YUrii Aleksandrovich Kochnev. – Nizhny Novgorod, 2011. – 262 s. (in Russ)
 16. Egorov G. V. Egorov A. G. Main solutions for the new generation of "superfull hull line" cargo ships of mixed (river-sea) and internal navigation. Marine Engineering Bureau, journal «Sudostroenie», No 4, 2018. (in Russ)
 17. Ronnov E.P. Vmestimost' suhogruznogo sudna vnutrennego plavaniya / Ronnov E. P. // № 31 (2012): Vestnik VGAVT, S. 86–92. (in Russ)

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

Ilya A. Gulyaev, Head of Hull Department, Russian River Register, bld. 2, 15, Okruzhnoy proezd, Moscow, Russia, 105187, e-mail: guliaev@rivreg.ru

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

Evgeniy P. Ronnov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Volga State University of Water Transport 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950, e-mail: ptps@vgavt-nn.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 629.565.1.014

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.204>

Анализ тяжелых плавучих кранов и особенностей их эксплуатации

В.С. Игнатович¹

ORCID: 0000-0002-2764-9382

А.В. Кузьмина¹

ORCID: 0000-0002-1179-7831

К.В. Перепадя¹

ORCID: 0000-0003-3932-4590

¹Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные характеристики морских тяжелых плавкранов. К этим характеристикам относятся самостоятельное плавание без буксиров и выполнение грузовых операций в открытых акваториях при ветре и волнении. Безопасность плавания в этих условиях может быть обеспечена при высоких мореходных и маневренных качествах за счет придания соответствующей формы носовой оконечности корпуса, минимальной парусности сооружения, а также оптимальной конструкции верхнего строения (крана). Проанализированы требования к проектированию и строительству универсальных тяжелых морских плавкранов, построенных после 1966 года, рассмотрены условия эксплуатации в зависимости от назначения и архитектурно-конструктивный тип плавкранов грузоподъемностью 100–900 тонн. При расчетах прочности верхнего строения учитывалась возможность работы плавкрана с максимальным грузом при волнении моря до трех баллов и ветре до пяти баллов с учетом динамических и инерционных нагрузок, возникающих при качке на волнении, при подхвате и обрыве груза. При аварийном обрыве груза конструкция верхнего строения и стреловая система должны исключать или минимизировать колебания, вызванные обрывом груза. Результаты расчета на усилия при обрыве груза должны быть проверены натурными испытаниями головных плавкранов, для которых разработаны соответствующие методики. Показана возможность использования разработанной конструкции корпуса и верхнего строения (крана) при проектировании и строительстве современных плавучих кранов в производственных условиях судостроительных заводов.

Ключевые слова: универсальные плавучие краны, условия эксплуатации, архитектурно-конструктивный тип, корпус, верхнее строение, каркас, стрела, обрыв груза, прочность.

Analysis of heavy floating cranes and features of their operation

Vladilen S. Ignatovich¹

ORCID: 0000-0002-2764-9382

Anna V. Kuzmina¹

ORCID: 0000-0002-1179-7831

Konstantin V. Perepadya¹

ORCID: 0000-0003-3932-4590

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Abstract. The main characteristics of offshore heavy floating cranes are considered. These characteristics include independent navigation without tugs and carrying out cargo operations in open waters with wind and waves. The safety of navigation in these conditions can be ensured with high seaworthiness and maneuverability by giving the appropriate shape of the bow end of the hull, the minimum windage of the structure, as well as the optimal design of

the topside (crane). The requirements for the design and construction of universal heavy sea floating cranes, built after 1966, are analyzed, the operating conditions, depending on the purpose, and the architectural and structural type of floating cranes with a lifting capacity of 100–900 tons are considered. When calculating the strength of the topside, the possibility of the floating crane operating with the maximum cargo was taken into account when the sea is rough up to three points and the wind is up to five points, taking into account the dynamic and inertial loads arising from rolling in waves, when picking up and breaking the cargo. In the event of an emergency breakage of the cargo, the structure of the topside and the boom system must exclude or minimize vibrations caused by the breakage of the cargo. The results of the calculation of the forces at the breakage of the cargo must be verified by full-scale tests of head floating cranes, for which the corresponding methods have been developed. The possibility of using the developed structure of the hull and the topside (of the crane) in the design and construction of modern floating cranes in the production conditions of shipyards is shown.

Keywords: universal floating cranes, operating conditions, architectural and structural type, hull, topside, frame, boom, cargo breakage, strength.

Введение

Создание объектов морской инфраструктуры и их обслуживание, работа по строительству гидротехнических сооружений на морском шельфе, грузоподъемные операции в морских портах, а также монтаж в открытом море морских стационарных платформ для добычи углеводородов требуют применения тяжелых плавучих кранов и крановых судов различной конструкции и назначения.

В результате исследования характера и опыта эксплуатации тяжелых плавучих кранов, а также технико-экономического анализа установлено, что для выполнения многообразных грузоподъемных, строительного-монтажных технологических работ в портах и открытых акваториях целесообразно использовать универсальные плавкраны, а для выполнения работ, связанных с освоением континентального шельфа и морской добычей нефти и газа выделен класс узкоспециализированных плавучих средств для монтажа морских платформ (полупогружные крановые суда) и прокладки трубопроводов (трубоукладочные крановые суда). Зарубежные плавучие краны в основном специализировались для погрузочно-разгрузочных работ в защищенных акваториях (порты, судостроительные предприятия), а морские плавкраны использовались в гидротехническом строительстве. В отечественном плавкраностроении была разработана универсальная конструкция тяжелого морского плавкрана, которая реализована на плавкранах грузоподъемностью 100, 300 и 500 т. При создании типовой конструкции такого плавкрана изучались: ветроволновой режим в бассейнах страны, расположение портов-убежищ, вероятные аварийные ситуации, характер морских строительного-монтажных работ, степень мореходности, характер и значения динамических нагрузок на кран при эксплуатации и др. Это позволило определить требования к универсальному тяжелому морскому плавкрану, обеспечивающие его высокоэкономичную и безопасную работу.

В настоящей статье рассмотрены особенности проектирования и эксплуатации аналогичных тяжелых плавкранов с учетом современных требований и отечественного опыта строительства таких сооружений.

Условия эксплуатации морских тяжелых универсальных плавкранов

Основными характеристиками морских тяжелых плавкранов являются самостоятельное плавание без буксиров и выполнение грузовых операций в открытых акваториях при ветре и волнении. Безопасность плавания в этих условиях может быть обеспечена при высоких мореходных и маневренных качествах за счет придания

соответствующей формы носовой оконечности корпуса, минимальной парусности сооружения, а также оптимальной конструкции верхнего строения (крана) [1].

К числу основных видов работ на открытых морских акваториях можно отнести следующие.

а) Морское гидротехническое строительство и монтаж морских стационарных платформ (МСП).

Возведение причалов, эстакад, МСП экономически целесообразно при использовании тяжелых крупногабаритных блоков. Большие габариты конструкций требуют обеспечения больших вылетов за борт, высот подъемов и габаритов под шарниром стрелы для транспортировки блоков на палубе плавкранов.

б) Строительство защитных сооружений у необорудованных берегов.

Большинство прибрежных районов имеют малую глубину при значительной ширине и большое количество подводных камней.

Поэтому конструкция плавкрана должна обеспечить на мелководье хорошую маневренность и защиту движительного комплекса. Кроме того, при подъеме массивов, долго находящихся в воде и подверженных присосу к грунту, за счет увеличения их веса на 25 % и более, в условиях качки может произойти обрыв груза (рис. 1).



Рис. 1. Работа плавкрана «Черноморец» с массивом 100 тонн на мелководье

Fig. 1. Operation of the floating crane «Chernomorets» with a massif of 100 tons in shallow water

в) Транспортировка массивов на палубе плавкрана позволяет в ряде случаев отказаться от использования барж и буксиров. Это условие при проектировании требует обеспечения необходимых размеров палубы плавкрана и прочности ее конструкции (рис. 2).

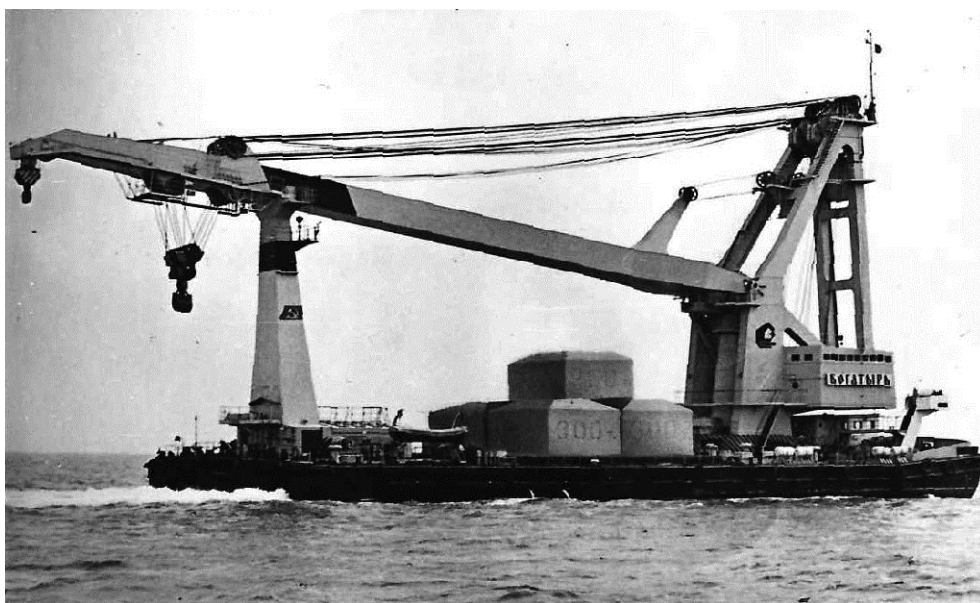


Рис. 2. Транспортировка массивов массой 900 тонн на палубе плавкрана «Богатырь» грузоподъемностью 300 тонн

Fig. 2. Transportation of massifs weighing 900 tons on the deck of the floating crane «Bogatyr» with a lifting capacity of 300 tons

г) Тяжелые плавучие краны применяются достаточно широко при строительстве крупнотоннажных судов, плавучих буровых установок (ПБУ), погрузке и разгрузке блоков на плаву при достройке сооружений. Для сокращения сроков постройки корпуса судна на стапеле и монтажа морских сооружений на точке бурения необходимо увеличение веса монтажных секций и блоков с соответствующим увеличением грузоподъемности плавучих кранов. Особо следует отметить, что при сборке, сварке и монтаже опорных колонн самоподъемных ПБУ, при весе секций 200–300 тонн на плаву высота подъема существенно увеличивается, что требует специальных мероприятий при конструировании верхнего строения, например, установки дополнительной стрелы (рис. 3) [2-4].

д) Плавучие краны используются также в портах для перегрузки тяжелых грузов с причалов в трюмы и на палубы судов и обратно, транспортировки грузов на собственной палубе в пределах акватории порта в стесненных условиях, требующих высокой маневренности.

Находят применение плавучие краны и для перестановки порталных кранов. Это требует большой высоты подъема гаков и соответствующего подстрелового габарита.

Следует отметить, что во время грузовых операций, особенно при берегоукрепительных работах (подъем заиленных массивов) и подъеме затонувших судов может произойти обрыв. Обрыв груза максимального веса может вызвать не только запрокидывание стрелы на кране верхнего строения, но и опрокидывание плавкрана. Поэтому обрыв груза должен учитываться в процессе проектирования как при работе плавкрана на волнении, так и на спокойной воде в порту или на судостроительном заводе, и его безопасность должна подтверждаться экспериментальной проверкой на головном плавкране при его сдаточных испытаниях заказчику [1].



Рис. 3. Модель плавкрана «Богатырь» с дополнительной (вантовой) стрелой грузоподъемностью 100 тонн

Fig. 3. Model of the floating crane «Bogatyr» with an additional (jib) boom with a lifting capacity of 100 tons

Устройство современного универсального морского тяжелого плавкрана

Исходя из рассмотрения комплекса разнообразных грузовых операций, опыта эксплуатации плавкранов а также из экономических соображений, отечественные тяжелые плавкраны целесообразно проектировать и строить как универсальные, способные работать как в условиях морского волнения, так и на судостроительных предприятиях и в акваториях портов.

Анализ показывает, что для выполнения вышеперечисленных требований в отечественном плавкраностроении разработан архитектурно-конструктивный тип морского тяжелого универсального плавкрана (рис. 4) грузоподъемностью 100–900 тонн.

Проектирование такого плавкрана требует при определении грузоподъемности глубокого изучения номенклатуры возможных тяжеловесов, их габаритов, максимальных вылетов за борт и минимальных вылетов при установке на палубе при соответствующих условиях эксплуатации. Принятая техническая характеристика верхнего строения (крана) уже на начальных стадиях проектирования позволяет оценить водоизмещение и размеры корпуса и выбрать оптимальную компоновку: расположение верхнего строения в носу, а машинно-котельного отделения и опоры под стрелу – в корме, а между краном и опорой участка палубы для транспортировки грузов (оборудования, пространственных конструкций морского сооружения и др.).

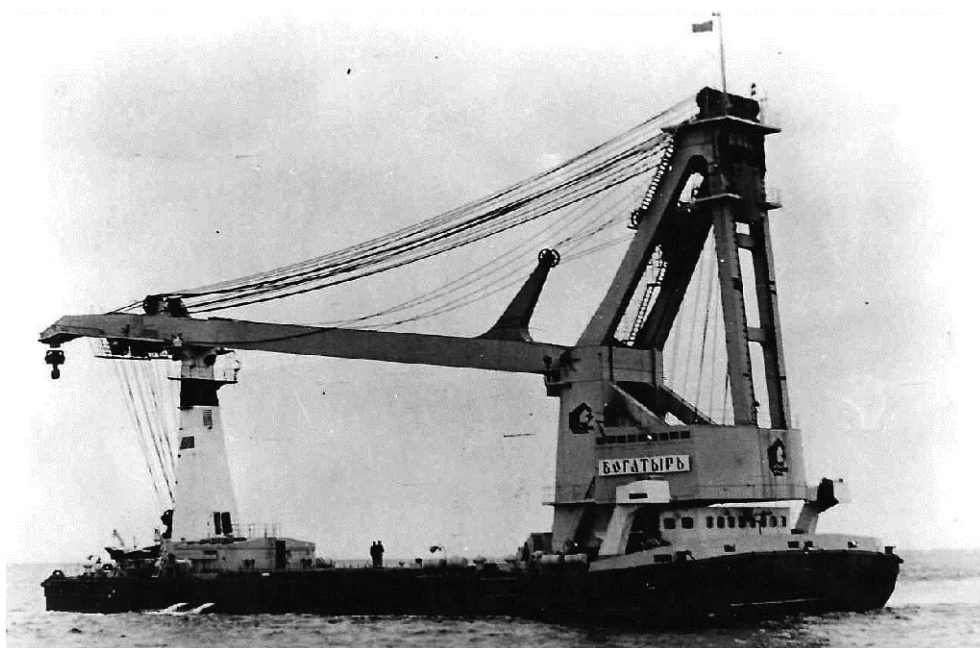


Рис. 4. Морской самоходный универсальный плавкран «Богатырь» грузоподъемностью 300 тонн

Fig. 4. Marine self-propelled universal floating crane «Bogatyr» with a lifting capacity of 300 tons

Корпус плавкрана принимается в виде понтона прямоугольной формы с подрезом носовой оконечности (около 45 °), переходящей в вертикальный транец. Понтон набран по смешанной системе, имеет усиленный набор в носовой оконечности и палубе в районе грузовой площадки. В носовой части корпуса закреплен фундамент в виде цилиндрического барабана под верхнее строение. Кормовой подзор обеспечивает удовлетворительную работу крыльчатых движителей.

Как показали натурные испытания и эксплуатация, плавкраны имеют в полном грузу при волнении моря до 6 баллов и ветре до 7 баллов заданную скорость хода и удовлетворительную всхожесть на волну при умеренной заливаемости носовой оконечности. В качестве движительного комплекса на плавкранах используются крыльчатые движители с размещением их в корме или в корме и в носу, обеспечивающие хорошие мореходные на волнении и маневренные в условиях порта качества [9-10].

Основной частью плавкрана является полноповоротное верхнее строение, определяющее его технические характеристики и архитектурный вид, влияющие на способность выполнять грузовые операции в указанных выше условиях. Верхнее строение включает каркас, стрелу, механизмы и оборудование, обеспечивающие работу при выполнении грузовых операций и укладке стрелы на опору в походное положение на волнении в нормированное время.

Каркас представляет собой пространственную металлоконструкцию, состоящую из двух-трех платформ, связанных между собой рамными коробчатыми балками, и установленную на барабане, закрепленном в корпусе понтона. На нижней площадке установлена машинная кабина с компактным расположением лебедок и другого оборудования, полиспастных механизмов изменения вылета стрелы, главного и вспомогательного подъема. Несущие блоки механизмов изменения вылета стрелы, главного и вспомогательного подъема закреплены на верхней платформе. Для снижения опрокидывающего момента при подъеме груза основная часть каркаса (рис. 5), включая машинную кабину и верхнюю платформу, максимально смещается от оси вращения крана.

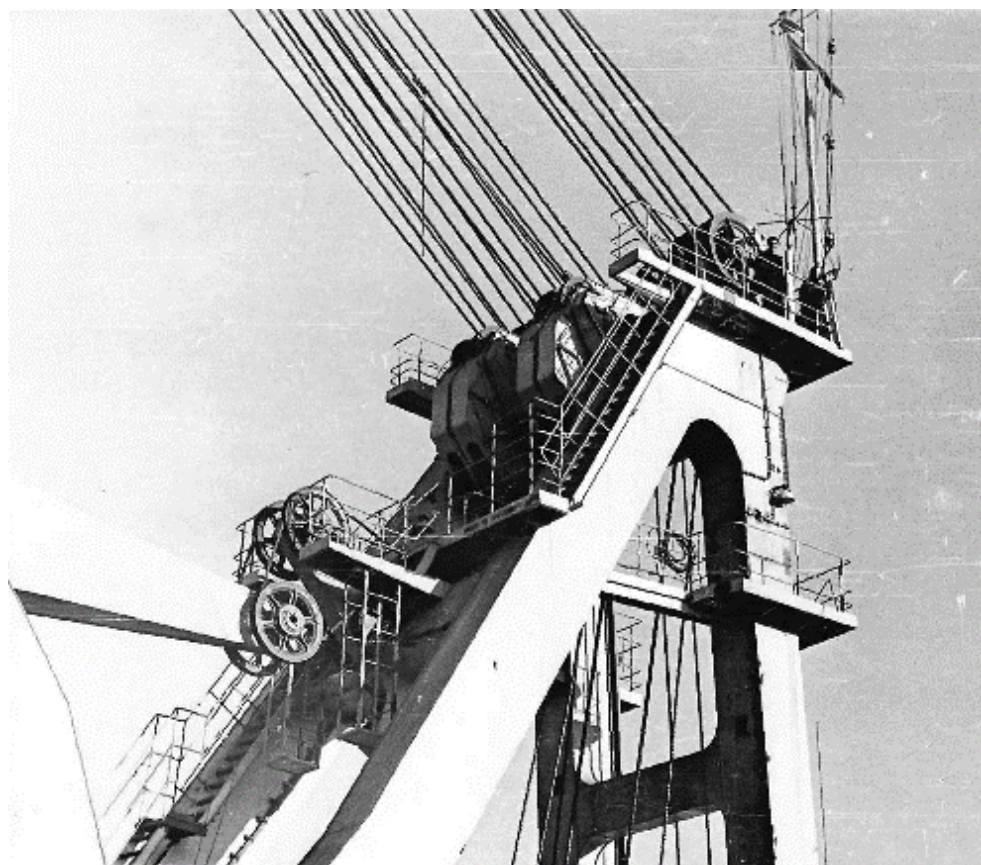


Рис. 5. Расположение блоков механизмов изменения вылета стрелы, главного и вспомогательного подъема на верхней платформе каркаса плавкрана «Богатырь»

Fig. 5. Arrangement of blocks of mechanisms for changing the boom outreach, main and auxiliary lifting on the upper platform of the frame of the floating crane «Bogatyr»

При разработке первых проектов отечественных плавкранов было установлено, что применяемая решетчатая конструкция стрел обладает рядом недостатков:

одиночные плоские фермы неустойчивы, а составленные из них конструкции недостаточно используют материал из-за наличия малонагруженных стержней; кроме того, пространственные ферменные конструкции имеют значительное количество элементов, сборка и сварка которых усложняет технологию изготовления в условиях судостроительного предприятия (высокая точность изготовления элементов, их центровка при сборке и сварке) [5].

Поэтому на отечественных плавкранах после проведения модельных испытаний и экспериментального исследования опытного образца фрагмента стрелы плавкрана «Богатырь» на сжатие на 1000-тонном вертикальном прессе была принята металлоконструкция в виде сварной коробчатой балки переменного по длине сечения из листового проката. С целью обеспечения пространственной жесткости стрелы ее обшивка подкреплена поперечными рамами (шпангоутами) и непрерывными по длине продольными ребрами жесткости.

В корневой части стрела имеет опорный портал, шарниры которого закреплены на платформе каркаса. Для изготовления такой стрелы вполне применима технология изготовления корпусных конструкций судна (рис. 6), обеспечивающая необходимую прочность и устойчивость стрелы при всех режимах работы.



Рис. 6. Вид на верхнее строение плавкрана «Богатырь»

Fig. 6. View of the upper structure of the floating crane «Bogatyr»

Стрела оборудуется механизмами изменения вылета, главного и вспомогательного подъема. Механизм изменения вылета состоит из лебедки, полиспаста и подвижного противовеса. Механизмы главного и вспомогательного подъема включают полиспасты и лебедки, а также гаки соответствующей грузоподъемности. Для обеспечения безопасной и надежной работы на волнении кран оборудуется системой противовесов.

Для установки поворотной части верхнего строения на корпусе понтона возможны две схемы.

В первом случае на фундаменте цилиндрической формы, закрепленном в корпусе, приваривается опорная колонна, на верхнем конце которой установлен опорно-поворотный подшипник, воспринимающий вертикальную нагрузку (вес каркаса, стрелы и груза) и горизонтальную силу от момента, вызванного весом стрелы и поднимаемого груза. Другая горизонтальная составляющая от опрокидывающего момента передается от каркаса через тележки поворотного механизма на рельсы, закрепленные в нижней части опорной колонны. Такая конструкция была принята на плавкранах «Богатырь» грузоподъемностью 300 тонн и «Черноморец» грузоподъемностью 100 тонн.

Во второй схеме конструкция верхнего строения упрощается за счет установки нижней платформы каркаса непосредственно на горизонтальный опорно-поворотный подшипник (роликовый стол) большого диаметра до 6 м и более, закрепленный на фланце опорного фундамента верхнего строения на корпусе понтона, воспринимающий вертикальную нагрузку и момент, вызванный подъемом груза и смещением центра тяжести относительно оси крана (рис. 7) [5-8].

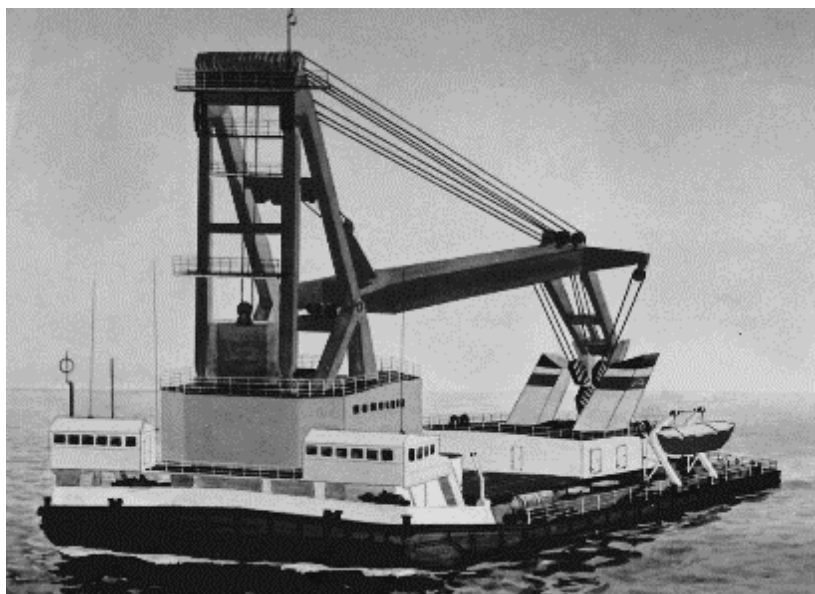


Рис. 7. Модель плавкрана грузоподъемностью 500 тонн с расположением верхнего строения на горизонтальном опорно-поворотном подшипнике

Fig. 7. Model of a floating crane with a lifting capacity of 500 tons with an upper structure on a horizontal slewing bearing

Разработанная конструкция понтона и верхнего строения позволяет использовать технологию строительства судов, принятую на судостроительных заводах, а также судостроительные стали, удовлетворяющие требованиям Правил Регистра. Кроме того, большое внимание должно быть уделено не только испытаниям плавкрана как

плавучего средства, но и специальным испытаниям отдельных узлов (конструкций) и всего верхнего строения в условиях, соответствующих работе плавкрана при различных режимах (рис. 8).



Рис. 8. Сдаточные испытания плавкрана «Витязь» грузоподъемностью 1000 тонн при судоподъеме

Fig. 8. Delivery trials of the floating crane «Vityaz» with a lifting capacity of 1000 tons while ship lifting

Испытания и эксплуатация плавкранов представленного архитектурно-конструктивного типа показали, что разработанные и построенные конструкции плавкранов при достаточной прочности обеспечивают безопасное выполнение грузовых операций при волнении моря до трех баллов и ветра до 5 баллов, обслуживание и транспортировку грузов на палубе, незначительное перемещение грузов при бортовой и вертикальной качке.

Выводы

Из вышеприведенного анализа следует, что в отечественном плавкраностроении разработан архитектурно-конструктивный тип морского универсального плавучего крана грузоподъемностью 100–900 тонн, удовлетворяющий современным требованиям постройки и эксплуатации.

Универсальный плавкран должен выполнять грузоподъемные, строительномонтажные и транспортные операции в открытых морских акваториях, на мелководье у необорудованных берегов, в портах и на судостроительных заводах.

Плавкран должен иметь мореходные качества, обеспечивающие безопасное самостоятельное плавание без сопровождения буксиров при волнении до шести и ветра до семи баллов с удалением от баз убежищ на расстояние, установленное Правилами Регистра РФ. При этом верхнее строение должно иметь минимальные вес и площадь парусности и возможность быстрой укладки стрелы в походное положение.

Для работы у необорудованных берегов, а также в портах и на заводах плавкран должен обладать хорошими маневренными качествами, которые обеспечиваются крыльчатыми двигателями.

Для выполнения указанных работ разработана соответствующая компоновка размещения основных элементов плавкрана: верхнее строение – в носу, движительно-рулевой комплекс – в корме; грузовая площадка для транспортировки крупногабаритных грузов и конструкций в средней части палубы (не менее 25% общей площади палубы).

Конструкция верхнего строения включает каркас с машинной кабиной, стрелой, опирающейся на каркас и поддерживаемой полиспастной системой изменения вылета. Лебедки механизма изменения вылета стрелы, главного и вспомогательного подъема установлены в машинной кабине, а блоки на верхней платформе каркаса.

При расчетах прочности верхнего строения учитывалась возможность работы плавкрана с максимальным грузом при волнении моря до трех баллов и ветре до пяти баллов с учетом динамических и инерционных нагрузок, возникающих при качке на волнении, при подхвате и обрыве груза. При аварийном обрыве груза конструкция верхнего строения и стреловая система должны исключать или минимизировать колебания, вызванные обрывом груза. Результаты расчета на усилия при обрыве груза должны быть проверены натурными испытаниями головных плавкранов, для которых разработаны соответствующие методики [15-19].

Понтон, каркас со стрелой имеют конструкцию, обеспечивающую возможность их изготовления по технологиям, применяемым на судостроительных заводах.

Все упомянутые в статье морские плавучие краны были полностью построены на Севастопольском морском заводе (СМЗ) и эксплуатируются эффективно и без аварий. В настоящее время по разработанным методикам и опробованной технологии, отвечающим современным требованиям, на СМЗ строятся тяжелые плавкраны грузоподъемностью 400 и 700 т [11, 12].

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что современное плавкраностроение, обеспечивающее создание и обслуживание морской инфраструктуры, получило дальнейшее развитие.

Список литературы

1. Великосельский Н. Д., Берхин И. М. Отечественная конструкция тяжелого плавучего плавкрана / Н. Д. Великосельский, И. М. Берхин // Судостроение. – 1973. – № 4. – С. 17–21.
2. Берхин И. М., Гудзе А. А., Рудак Г. И. Совершенствование конструкции верхних строений отечественных плавкранов / И. М. Берхин, А. А. Гудзе, Г. И. Рудак // Судостроение. – 1973. – №4. – С. 29–31.
3. Гудзе А. А., Игнатович В. С., Окулов Д. И. Развитие металлических конструкций стрел тяжелых плавучих кранов / А. А. Гудзе, В. С. Игнатович, Д. И. Окулов // Судостроение. – 1973. – № 4. – С. 32–36.
4. Цыпина З. Д., Игнатович В. С. Определение жесткости верхних строений плавкрана «Богатырь» / З. Д. Цыпина, В. С. Игнатович // Судостроение. – 1973. – № 4. – С. 36–37.
5. Фриж В. А., Авдеев О. В. Особенности постройки и испытаний тяжелых плавкранов / В. А. Фриж, О. В. Авдеев // Судостроение. – 1973. – № 4. С. 64–67

6. Игнатович В. С. Динамическая прочность стрелы плавучего крана при обрыве груза / В. С. Игнатович // Судостроение. – 1977. – № 2. – С. 9–14.
7. Мохов Ю. Н., Игнатович В. С., Рожнов Г. Н. Особенности испытаний плавучих кранов большой грузоподъемности на обрыв груза / Ю. Н. Мохов, В. С. Игнатович, Г. Н. Рожнов // Технология судостроения. – 1975. – № 5. – С. 47–51.
8. Мохов Ю. Н. Анализ опыта эксплуатации плавкранов и крановых судов / Ю. Н. Мохов // Судостроение. – 1991. – № 11. – С. 15–19.
9. Мохов Ю. Н. Режимы использования отечественных плавучих кранов в эксплуатации / Ю. Н. Мохов // Судостроение. – 1992. – № 4. – С. 7–10.
10. Новиков А. И. Режимы работы и годовая производительность плавучих кранов / А. И. Новиков // Севастополь: Издательство СевНТУ, 2003. – 228 с.
11. Шестакова И. Н., Беседин А. Ф., Кузьмин Д. В. История плавкраностроения на Севморзаводе / И. Н. Шестакова, А. Ф. Беседин, Д. В. Кузьмин // Судостроение. – 1986. – № 6. – С. 71–76.
12. Морева И.Н., Дьячук Н.С. Морские плавучие краны / И.Н. Морева, Н.С. Дьячук // Актуальные вопросы проектирования, постройки и эксплуатации морских судов и сооружений. Труды региональной научно-практической конференции. Научный редактор В.И. Истомина. – «Севастопольский государственный университет» – 2018. – С. 176–180.
13. Балашов М. Г. Модельные исследования ходкости полупогружных плавучих кранов / М. Г. Балашов // Вестник СевНТУ: Сб. науч. Тр. – Севастополь. – 2009. – № 88. – С. 34.
14. Балашов М. Г., Новиков А. И. Распределение бюджета времени при эксплуатации строительно-монтажного плавучего крана / М. Г. Балашов, А. И. Новиков // Вестник СевНТУ: Сб. науч. Тр. – Севастополь. – 2007. – № 75. – С. 34.
15. Chen, H., Sun, N. An Output Feedback Approach for Regulation of 5-DOF Offshore Cranes With Ship Yaw and Roll Perturbations (2021) IEEE Transactions on Industrial Electronics.
16. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=5410131> doi: 10.1109/TIE.2021.3055159
17. Lv T. a, Du H. b Automatic Calculation Method for Mechanical Load of Full Rotation Crane Ship Based on Flow Function Theory (2020) Journal of Coastal Research Том 103, Выпуск sp1, Pages 412 – 416 doi: 10.2112/SI103-084.1
18. Ji Y., Wang H., Chen H., Guo M. Research on Hydraulic Speed Control System of Ship Crane Anti-Rolling Device (2016) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Том 295, Выпуск 426 July 2019 Номер статьи 0421302019 5th International Conference on Energy Materials and Environment Engineering, ICEMEE 2019, 12 April 2019 - 14 April 2019 doi: 10.1088/1755-1315/295/4/042130
19. Nesin D. Y. Platform Design for Arctic Shallow Waters [Text] / D. Y. Nesin, B. R. Livshyts, V. F. Lenskiy // Proceedings of the Twenty-second ISOPE. – ISOPE, 2012. – 22. – pp.1348 – 1352.
20. Nesin D. Numerical Model of the Large Carrying Capacity Crane Ship with the Fully Revolving Topside [Text] / D. Nesin, V. Dushko // Procedia Engineering 100 (2015) – Elsevier Ltd, Amsterdam, the Netherlands, 2015 – pp. 1082 – 1091.

References

1. IM Berkhin, ND Velikoselsky *Domestic design of a heavy floating crane* Shipbuilding. – 1973. – No. 4. – P. 17–21. (in Russ)
2. IM Berkhin, AA Gudze, GI Rudak *Improvement of the construction of the topsides of domestic floating cranes* Shipbuilding. – 1973. – No. 4. – P. 29–31. (in Russ)
3. A. A. Gudze, V. S. Ignatovich, D. I. Okulov *Development of metal structures of booms of heavy floating cranes* Shipbuilding. – 1973. – No. 4. – P. 32–36. (in Russ)
4. ZD Tsykina, VS Ignatovich *Determination of the rigidity of the upper structure of the floating crane «Bogatyr»* Shipbuilding. – 1973. – No. 4. – P. 36–37. (in Russ)
5. V. A. Fryzh, O. V. Avdeev *Features of construction and testing of heavy floating* Shipbuilding. – 1973. – No. 4. P. 64–67. (in Russ)
6. V. S. Ignatovich *Dynamic strength of the boom of a floating crane when the load breaks* Shipbuilding. – 1977. – No. 2. – P. 9–14. (in Russ)
7. Yu. N. Mokhov, V. S. Ignatovich, G. N. Rozhnov *Peculiarities of testing of floating cranes of heavy lifting capacity for load breakage* Technology of shipbuilding. – 1975. – No. 5. – P. 47–51. (in Russ)
8. Yu. N. Mokhov *Analysis of the operating experience of floating cranes and crane ships* Shipbuilding. – 1991. – No. 11. – P. 15–19. (in Russ)

9. Yu. N. Mokhov *Modes of using domestic floating cranes in operation* Shipbuilding. – 1992. – No. 4. – P. 7–10. (in Russ)
10. A. I. Novikov *Modes of operation and annual productivity of floating cranes* Sevastopol: SevNTU Publishing House, 2003. – 228 p., Ill. (in Russ)
11. I. N. Shestakova, A. F. Besedin, D. V. Kuzmin *History of floating screen construction at Sevmorzavod* Shipbuilding. – 1986. – No. 6. – P. 71–76. (in Russ)
12. IN. Moreva, N.S. Dyachuk *Marine floating cranes / Topical issues of design, construction and operation of sea vessels and structures. Proceedings of the regional scientific and practical conference. Scientific editor V.I. Istomin. – «Sevastopol State University» – 2018. – P. 176–180. (in Russ)*
13. MG Balashov *Model studies of the running capacity of semi-submersible floating cranes* Bulletin of SevNTU: Sat. scientific. Tr. – Sevastopol. – 2009. – No. 88. – P. 34. (in Russ)
14. M. G. Balashov, A. I. Novikov *Distribution of the time budget during the operation of the construction and assembly floating crane* Bulletin of SevNTU: Sat. scientific. Tr. – Sevastopol. – 2007. – No. 75. – P. 34. (in Russ)
15. Chen, H., Sun, N. An Output Feedback Approach for Regulation of 5-DOF Offshore Cranes With Ship Yaw and Roll Perturbations (2021) IEEE Transactions on Industrial Electronics. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=5410131> doi: 10.1109/TIE.2021.3055159
16. Lv T. a, Du H. b Automatic Calculation Method for Mechanical Load of Full Rotation Crane Ship Based on Flow Function Theory (2020) Journal of Coastal Research Том 103, Выпуск sp1, Pages 412 – 416 doi: 10.2112/SI103-084.1
17. Ji Y., Wang H., Chen H., Guo M. Research on Hydraulic Speed Control System of Ship Crane Anti-Rolling Device (2016) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Том 295, Выпуск 426 July 2019 Номер статьи 0421302019 5th International Conference on Energy Materials and Environment Engineering, ICEMEE 2019, 12 April 2019 - 14 April 2019 doi: 10.1088/1755-1315/295/4/042130
18. Nesin D. Y. Platform Design for Arctic Shallow Waters [Text] / D. Y. Nesin, B. R. Livshyts, V. F. Lenskiy // Proceedings of the Twenty-second ISOPE. – ISOPE, 2012. – 22. – pp.1348 – 1352.
19. Nesin D. Numerical Model of the Large Carrying Capacity Crane Ship with the Fully Revolving Topside [Text] / D. Nesin, V. Dushko // Procedia Engi-neering 100 (2015) – Elsevier Ltd, Amsterdam, the Netherlands, 2015 – pp. 1082 – 1091.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Игнатович Владилен Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: v.s.ignatovich@mail.ru

Кузьмина Анна Валентиновна, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: a.61kuzmina@mail.ru

Перепада Константин Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: k_perepadya@mail.ru

Vladilen S. Ignatovich, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, v.s.ignatovich@mail.ru

Anna V., Kuzmina, Associate Professor of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, a.61kuzmina@mail.ru

Konstantin V. Perepadya, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, e-mail: k_perepadya@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 629.12.002.8

DOI: 10.37890/jwt.v68.211

Оценка объемов образования отходов металла при утилизации судна

Ю.А. Кочнев¹

ORCID: 0000-0002-6864-4473

И.Б. Кочнева¹

ORCID: 0000-0002-5612-3742

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

Аннотация. В случае длительного отстоя судна перед передачей на утилизацию, его конструкции подвергаются воздействию окружающей среды и, как следствие, разрушаются. В конечном счете, это приводит к тому, что часть металла становится непригодной для дальнейшего использования даже в качестве вторичного сырья и будет отправлена в отход, который необходимо определенным образом захоранивать, в соответствии с действующими стандартами по обращению с отходами. Наличие отхода снизит массу металла, который направляется на переработку, а, следовательно, приносит прибыль предприятию по утилизации судна. В статье рассмотрен подход, позволяющий оценить объем отходов и снижение массы «полезного» металла как в общем виде, так и численно для конкретного проекта судна. Получены уравнения, позволяющие определять массу отработанного металла как в процессе эксплуатации, так и отстоя.

Ключевые слова: утилизация судна, экологический ущерб, коррозия металла, отходы

Estimation of the volume of metal waste generated during ship recycling

Yuri A. Kochnev¹

ORCID: 0000-0002-6864-4473

Irina B. Kochneva¹

ORCID: 0000-0002-5612-3742

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

Abstract. In the case of a long-term lay up of the vessel, before being transferred for disposal, its structures are exposed to the environment and, as a result, are destroyed. Ultimately, this leads to the fact that part of the metal becomes unsuitable for further use, even as a secondary raw material, and will be sent to waste, which must be buried in a certain way in accordance with the current standards for waste disposal. The presence of waste will reduce the mass of metal that is sent for processing, and, consequently, brings profit to the ship recycling factory. The article considers an approach that allows us to estimate the volume of waste and the reduction in the mass of "useful" metal, both in general terms and numerically for a specific ship project. Equations are obtained that allow determining the mass of spent metal, both in operation and in long-term lay up of the vessel.

Keywords: ship recycling, environmental damage, metal corrosion, waste.

Введение

Завершающей стадией жизненного цикла судна является его утилизация. Практика показывает, что от момента вывода судна из эксплуатации и постановки его на акватории до непосредственной утилизации путем разделки может пройти

длительный срок. Связан он будет с тем, что судовладельцу необходимо принять решение, что ему наиболее выгодно – продолжать поддержание судна в надлежащем техническом состоянии или продать на утилизацию.

Во время отстоя (особенно когда не планируется дальнейшая эксплуатация судна) состояние корпуса и надстройки ухудшается. Это связано с тем, что нарушается целостность окрасочного покрытия, начинают интенсивнее проходить процессы коррозии, в результате которых в водоем попадают ее продукты, ухудшающие качество окружающей среды. Процессы коррозии увеличивают опасность разгерметизации корпуса, при которой будут подвергаться деструкции внутренние конструкции, продукты которой также будут ухудшать качество окружающей среды. Если внутренние емкости судна не были зачищены от перевозимых грузов, нефтепродуктов, то разгерметизация приведет к попаданию их в окружающую среду, что усугубит экологическую ситуацию на акватории [1-7].

Такое изменение состояния судна повлияет не только на качество окружающей среды в акватории отстоя, но и на выбросы загрязняющих веществ в воду, воздух, почву в процессе утилизации судна. Поэтому авторы считают целесообразным изучить изменение во времени состояние судна и его влияние на выбросы в окружающую среду при разделке на предприятии по утилизации.

Оценка объемов образования отходов

Рассмотрим следующие сценарии передачи судна на утилизацию:

1. Непосредственно во время эксплуатации, что маловероятно, и может быть обусловлено только кардинальным изменением законодательства в области ужесточения требований к судну или в части поощрения приобретения новых судов путем предоставления больших льгот при утилизации старого.

2. Списание перед классификационным освидетельствованием, когда судно выработало свой ресурс от последнего ремонта и дальнейшее восстановление технического состояния является нерентабельным.

3. После длительного хранения выведенного из эксплуатации или брошенного судна.

Далее рассмотрим второй и третий варианты передачи судна на утилизацию.

Будем считать, что при выводе судна из эксплуатации удалены горюче-смазочные материалы, деревянные элементы, все виды изоляции, цемент, бетон, плитка, откачаны подсланевые воды, очищены емкости от фекально-бытовых и сточных вод, выполнен демонтаж оборудования, т.е. утилизируемое судно состоит из металлического корпуса и надстройки.

Загрязнение окружающей среды при утилизации судна будет связано с выделением вредных веществ при разделке судна на металлолом и образованием отходов металла, который не может быть пущен во вторичное использование [8].

Для расчета выбросов загрязняющих веществ при разделке корпуса примем, что разделка осуществляется газовой резкой как наиболее распространенным способом. Тогда по известным методикам [9] получим следующие значения выбросов загрязняющих веществ:

$$M_i = f(q_i, R)$$

где q_i - удельное выделение i -тых загрязняющих веществ, г/кг м реза; R – количество разрезаемого металла за год, кг·м/год; f – некоторая функциональная зависимость, связывающая удельные выбросы и массу металла с технологиями очистки и разделки.

Вывод судна из эксплуатации на длительный отстой или утилизацию будет, вероятнее всего, происходить перед классификационным освидетельствованием, которое проводится каждые пять лет, после оценки судовладельцем стоимостей предстоящих ремонтов [10] и решения о нерентабельности использования судна по прямому назначению. За межклассификационный период судно подвергалось воздействию внешней среды, что привело к коррозионным потерям углеродистой стали. Поэтому для приближенной оценки массы металла, непригодного для использования в качестве металлолома для вторичной переработки (P), можно воспользоваться формулой, полученной на основе результатов анализа актов дефектации судов, эксплуатирующихся на внутренних водных путях:

$$P_1 = (5,57 - 2,8 \times 10^{-2} \times L) L \times B \times T$$

где L, B, T – соответственно длина, ширина и осадка судна.

Формула с точностью $\pm 5\%$ отражает массу металла корпуса, которую необходимо заменять при ремонте, чтобы судно получило оценку «годное при освидетельствовании». Данный металл истончен, имеет язвенную коррозию и прочие дефекты, не соответствующие требованиям [8]. При этом считаем, что возраст судна в данном случае не имеет принципиального значения, так как на предыдущих ремонтах корпус восстанавливался до регламентируемых характеристик классификационных обществ.

В случае наличия длительного отстоя на акватории (сценарий 3) можно с уверенностью утверждать, что корпус будет подвержен коррозии, сопровождающейся уменьшением сечения стальных конструкций и изъязвлением листового материала. Подобное состояние металла также не позволит использовать его повторно в качестве металлолома после разделки судна, а значит, определенный объем металла корпуса пойдет в отход. Скорость и глубина коррозии корпуса не эксплуатирующегося судна зависят от многих факторов, и для каждого судна они будут определяться его расположением и условиями окружающей среды и местности (скорости течения, глубины на акватории, температуры воды, воздуха, глубины погружения конструкции и т.д.) [11-15].

Используя данные по скоростям коррозии, имеем зависимость массы отхода металла от времени ожидания судна утилизации:

$$P_2 = [L(0,8\delta + 0,2)(B + 2H) + \alpha LB] \times K$$

где α – коэффициент полноты палубы;

H – высота борта;

δ – коэффициент полноты корпуса судна по главную палубу;

K – потери массы металла корпуса судна на единицу площади, в зависимости от срока отстоя судна, которое может быть найдено по полученным нами регрессионным зависимостям:

при отстое вне промышленного района

$$K = 162,3 \times \ln(t) + 297,2$$

при отстое в промышленном районе

$$K = 292,1 \times \ln(t) + 635,4$$

t – время отстоя судна.

Следует учитывать, что суммарная масса отходов стали $P=(P_1+P_2)$ не только увеличит расходы предприятия на их захоронение, но и снизит доходы от вторичной реализации металла, масса которого составит:

$$Q = P_{mk} - P - q$$

где P_{mk} - масса металлического корпуса, q - масса потери металла при резке.

По предложенному алгоритму для теплохода проекта 765 были проведены тестовые расчеты, результаты которых приведены в табл.1.

Таблица 1

Тестовые расчеты по проекту 765

Проект	765			
Главные размеры L×B×H×T	65,6×9,6×2,8×1,82			
Водоизмещение, т	837			
Масса металлического корпуса, т	119			
Тип разделки	газокислородное пламя			
Выбросы загрязняющих веществ, кг/год	оксид марганца – 0,39	угарный газ – 7,2	оксид азота – 14,3	сварочный аэрозоль – 13,1
Срок хранения, лет	0	2,5	5	10
Масса убыли металла (вне промышленного района), т (% от массы металлического корпуса)	4,4 (3,7)	4,8 (4,0)	4,9 (4,1)	5,0 (4,2)
Масса убыли металла (в промышленном районе), т (% от массы металлического корпуса)	4,4 (3,7)	5,2 (4,4)	5,4 (4,5)	5,6 (4,7)
Масса металла на вторичное использование (вне промышленного района), т	114,6	114,2	114,1	114,0
Масса металла на вторичное использование (в промышленном районе), т	114,6	113,8	113,6	113,4

Изменение массы отхода в зависимости от срока хранения судна в относительном виде приведено на рис.1. Резкое возрастание потери металла возможно в первые 3-5 лет, а в дальнейшем оно существенно замедляется, что связано, на наш взгляд, с характером коррозионных процессов.

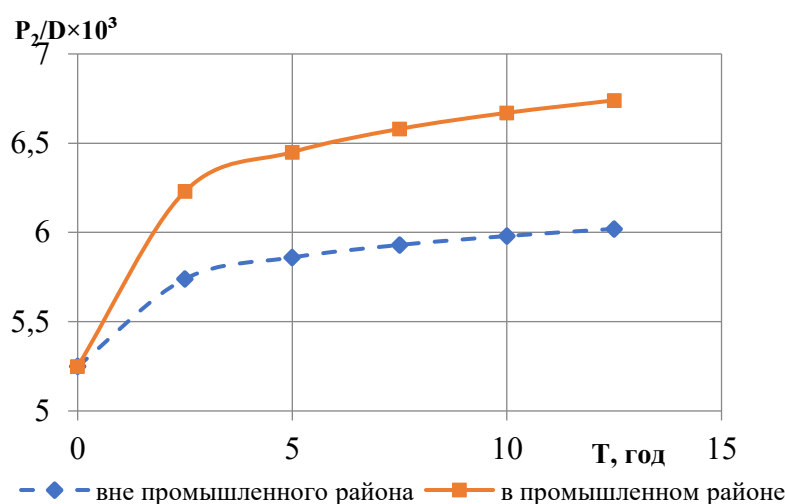


Рис. 1. Изменение массы отхода в зависимости от срока хранения судна

Fig. 1. Change in the mass of waste depending on the storage period of the vessel

Заключение

Из анализа таблицы 1 видно, что снижение массы «полезного» металла и возрастание отхода в зависимости от района хранения незначительно и составляет 0,5-1,0%, что вероятнее всего, не скажется на экономических показателях утилизации. Однако при длительных сроках отстоя возрастает вероятность разгерметизации и попадания в окружающую среду вредных веществ, что может потребовать от судовладельца дополнительных затрат на возмещение накопленного ущерба.

Список литературы

1. Наумов В.С., Бурмистров Е.Г., Кочнева И.Б. Технологические аспекты очистки внутренних водных путей от крупногабаритных отходов судоходства. // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции». – Омск: ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ», 2019.– с. 165-168.
2. Resolution A.962(23) IMO Guidelines on Ship Recycling – Режим доступа: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Ship-Recycling.aspx>.
3. Regulation (EU) No 1257/2013 of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on ship recycling and amending Regulation (EC) No 1013/2006 and Directive 2009/16/EC. – Режим доступа: http://www.safety4sea.com/images/media/pdf/EU_Ship-Recycling-Regulation.pdf.
4. Technical guidance note under Regulation (EU) No 1257/2013 on ship recycling. [Электронный ресурс]. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016XC0412%2801%29> (дата обращения – 02.04.2021).
5. Basel Convention, Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of the Full and Partial Dismantling of Ships (hereafter referred to as ‘BC TG’), Section 4.5, pp. 63-64 and Section 6.2, pp. 84-88.
6. ILO, Safety and health in shipbreaking, guidelines for Asian countries and Turkey, 2004 (hereafter referred to as ‘ILO SHG’), Section 4.6, p. 32 and Section 16, pp. 128-133.
7. Resolution MEPC.210(63)-2012. Guidelines for Safe and Environmentally Sound Ship Recycling. – URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210(63).pdf).
8. ГОСТ 2787-75 Металлы черные вторичные. Общие технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008868> (дата обращения – 19.04.2021).
9. Стопцов Н.А., Буцкалев А.Н. Виды загрязнений и мероприятия по защите атмосферы при судорезке. //Судостроение. – 2000. - №5, с. 35-37.

10. Зяблов О.К., Кочнев И.Б., Кочнева И.Б. Концепция автоматизированной подготовки ремонтной документации. // Морские интеллектуальные технологии С.Пб. – 2020. - №4-1(50), с. 69-74.
11. A. Zayed, Y. Garbatov, C. Guedes Soares, Corrosion degradation of ship hull steel plates accounting for local environmental conditions // *Ocean Engineering*. – 2018. – Vol. 163, p. 299-306.
12. A. Zayed, Y. Garbatov, C. Guedes Soares, Reliability of ship hulls subjected to corrosion and maintenance // *Structural Safety*. – 2013. - Vol. 43, p. 1-11.
13. You Dong, Dan M.Frangopol, Risk-informed life-cycle optimum inspection and maintenance of ship structures considering corrosion and fatigue // *Ocean Engineering*. – 2015. -Vol. 101, p.161-171.
14. Y.Garbatov, A.Zayeda, G.Wang, C. Guedes Soares, Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere // *Corrosion Science*. – 2009. - Vol. 51, p. 2014-2026.
15. Unyime O Akpan, T.S Koko, B Ayyub, T.E Dunbar Risk assessment of aging ship hull structures in the presence of corrosion and fatigue // *Marine Structures*. – 2002. - Vol. 15, p. 211-231.

References

1. Naumov V.S., Burnistrov E.G., Kochneva I.B. Teknologicheskie aspekty` ochistki vnutrennix vodny`x putej ot krupnogabaritny`x otkhodov sudoxodstva // *Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennyye nauchny`e issledovaniya: aktual`ny`e problemy` i tendencii»*. – Omsk: OIVT (filial) FGBOU VO «SGUVT», 2019.– s. 165-168.
2. Resolution A.962(23) IMO Guidelines on Ship Recycling URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Ship-Recycling.aspx>.
3. Regulation (EU) No 1257/2013 of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on ship recycling and amending Regulation (EC) No 1013/2006 and Directive 2009/16/EC. URL: http://www.safety4sea.com/images/media/pdf/EU_Ship-Recycling-Regulation.pdf.
4. Technical guidance note under Regulation (EU) No 1257/2013 on ship recycling. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016XC0412%2801%29>.
5. Basel Convention, Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of the Full and Partial Dismantling of Ships (hereafter referred to as 'BC TG'), Section 4.5, pp. 63-64 and Section 6.2, pp. 84-88.
6. ILO, Safety and health in shipbreaking, guidelines for Asian countries and Turkey, 2004 (hereafter referred to as 'ILO SHG'), Section 4.6, p. 32 and Section 16, pp. 128-133.
7. Resolution MEPC.210(63)-2012. Guidelines for Safe and Environmentally Sound Ship Recycling. URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210(63).pdf).
8. GOST 2787-75 Metally chernye vtorichnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008868>
9. Stopcov N.A., Buckalev A.N. Vidy zagryaznenij i meropriyatiya po zashchite atmosfery pri sudorezke [Types of pollution and measures to protect the atmosphere during ship cutting] *Sudostroenie*. 2000, no. 5, pp. 35-37. (In Russ).
10. Zyablov O.K., Kochnev I.B., Kochneva I.B. Morskie intellektual'nye tekhnologii [The concept of automated preparation of repair documentation] *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2020, no. 4-1(50), pp. 69-74.
11. A. Zayed, Y. Garbatov, C. Guedes Soares, Corrosion degradation of ship hull steel plates accounting for local environmental conditions // *Ocean Engineering*. – 2018. – Vol. 163, p. 299-306.
12. A. Zayed, Y. Garbatov, C. Guedes Soares, Reliability of ship hulls subjected to corrosion and maintenance // *Structural Safety*. – 2013. - Vol. 43, p. 1-11.
13. You Dong, Dan M.Frangopol, Risk-informed life-cycle optimum inspection and maintenance of ship structures considering corrosion and fatigue // *Ocean Engineering*. – 2015. -Vol. 101, p.161-171.
14. Y.Garbatov, A.Zayeda, G.Wang, C. Guedes Soares, Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere // *Corrosion Science*. – 2009. - Vol. 51, p. 2014-2026.
15. Unyime O Akpan, T.S Koko, B Ayyub, T.E Dunbar Risk assessment of aging ship hull structures in the presence of corrosion and fatigue // *Marine Structures*. – 2002. - Vol. 15, p. 211-231.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кочнев Юрий Александрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: ptps@vgavt-nn.ru

Yuri A. Kochnev, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Ship Design and Construction Technology, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950, e-mail: ptps@vgavt-nn.ru

Кочнева Ирина Борисовна, к.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта, 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, 603950, e-mail: iringre@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.v68.203

О пропорциях катамаранов и нормировании их остойчивости

А.Г. Назаров

ORCID: 0000-0002-6313-6277

Albatross Marine Design, Таиланд

Аннотация. Катамараны хорошо зарекомендовали себя как рекреационные и пассажирские суда, и являются перспективным типом судов для рынка России. Безопасность катамаранов доказана зарубежным опытом, включая многочисленные трансокеанские переходы. Однако для катамаранов возникают проблемы с нормированием их остойчивости; из-за подобного несовершенства регулирования судостроители и эксплуатационники вынуждены искать другие решения. Применение критериев для однокорпусных судов «навязывает» катамаранам пропорции, при которых не только теряются преимущества двухкорпусных судов, но и снижается их безопасность. В статье затронута важность обоснования пропорций катамаранов с точки зрения их гидродинамики и обитаемости. Проанализированы проблемы нормирования и существующие подходы специализированных правил. В статье даны рекомендации по нормированию остойчивости катамаранов с учетом практического опыта автора.

Ключевые слова: катамараны, многокорпусные суда, остойчивость, нормирование

On proportions of catamarans and regulation of their stability

Albert G. Nazarov

ORCID: 0000-0002-6313-6277

Albatross Marine Design, Thailand

Abstract. Catamarans have obtained good reputation as recreational and passenger craft, and are perspective type of craft for the Russian market. Catamarans safety is proven by the experience on foreign countries including trans-ocean passages. But some problems exist for catamarans concerning their stability regulation; this forces shipbuilders and operators to look for other solutions. The criteria application for monohull ships dictates catamarans proportions with which they are losing efficiency and decreasing their safety. The paper touches importance of justified catamarans proportions from viewpoints of their hydrodynamics and habitability. The problems regulation and the existing approaches towards the specialized rules are analyzed. In the paper recommendations on stability regulation are presented based on the author's practical experience.

Keywords: catamarans, multihull craft, stability, regulation

Введение

Анализ современного мирового рынка скоростных пассажирских перевозок по воде убедительно свидетельствует в пользу катамаранов - на них приходится около 80% вновь построенных судов [1]. Однако, эта тенденция пока не заметна в России; отчасти это можно объяснить тем, что применяемые в РФ технические требования к судам катамаранного типа заставляют судостроителей искать другие решения.



Рис.1. Перспективные проекты катамаранов: слева F100 L=10м, золотая награда на European Product Design Award 2019; справа N20 туристический L=20м, В=10м, золотая награда на MUSE Design Award 2021.

Fig.1. The Catamarans Perspective designs: left F100 L=10, golden award at European Product Design Award 2019; right N20 tourist L=20m, B=10m, golden award at MUSE Design Award 2021.

Следует заметить, что именно на многокорпусных судах народы Полинезии пересекали океан задолго до "однокорпусных" вояжей Колумба. Вместе с тем исторически регулирование остойчивости было создано "вокруг" однокорпусных судов, поскольку именно они имели известные проблемы с остойчивостью. По иронии судьбы нормы остойчивости, изначально созданные для однокорпусных судов, сегодня пытаются применять к катамаранам, не просто лишая их преимуществ, но и снижая их "врожденную" безопасность.

В настоящей статье автором поставлена цель усовершенствования нормирования остойчивости катамаранов на основе анализа их специфики и международной практики регулирования. Приводимые в статье рекомендации по нормированию основаны на практическом опыте автора при разработке большого количества проектов катамаранов (рис.1), из которых более 60 реализовано [2].

Значение пропорций катамаранов для безопасности

Как известно, катамараны имеют высокую начальную остойчивость, что особенно важно, когда необходима остойчивая рабочая платформа. Более того, катамараны - это наиболее нечувствительные к перегрузке суда, особенно для пассажирских перевозок, когда загрузка судов может не контролироваться должным образом. Типичный пассажирский катамаран традиционных пропорций «скорее утонет, чем опрокинется».

Следует заметить, что мореходность катамаранов по условиям волнения ограничена не остойчивостью, а в первую очередь слемингом моста. Из опыта автора, полная функциональность высокоскоростного катамарана возможна при высоте значительных волн $H_{1/3} \leq 2f_m$, где f_m - вертикальный клиренс моста на миделе. При $H_{1/3}$ превышающих указанную, следует снижать скорость катамарана.

Случаи опрокидывания катамаранов (особенно пассажирских) неизвестны, исключая, пожалуй, спортивные парусные суда либо плавсредства длиной менее 6м [3]. Из практики, катамараны длиной $L \geq 12$ м вполне способны эксплуатироваться при высоте волн $H_{1/3} > 4$ м.

Катамараны обладают на порядок более высокой живучестью при повреждении корпуса по сравнению с однокорпусными судами, что подтверждается случаями аварий подобных судов. В частности, при столкновении пассажирских судов SeaSmooth и Lamna IV в Гонконге [4], на однокорпусном судне погибло 39 человек в результате затопления и опрокидывания, а катамаран дошел до места назначения своим ходом. Непотопляемость катамаранов напрямую зависит от адекватного подхода к обеспечению их остойчивости в неповрежденном состоянии [5,6].

Для катамаранов характерны малые углы крена и малые поперечные ускорения на циркуляции. Некоторые результаты измерения параметров циркуляции приведены автором в [7], для "широкого" и "узкого" катамаранов с одинаковыми полукорпусами.

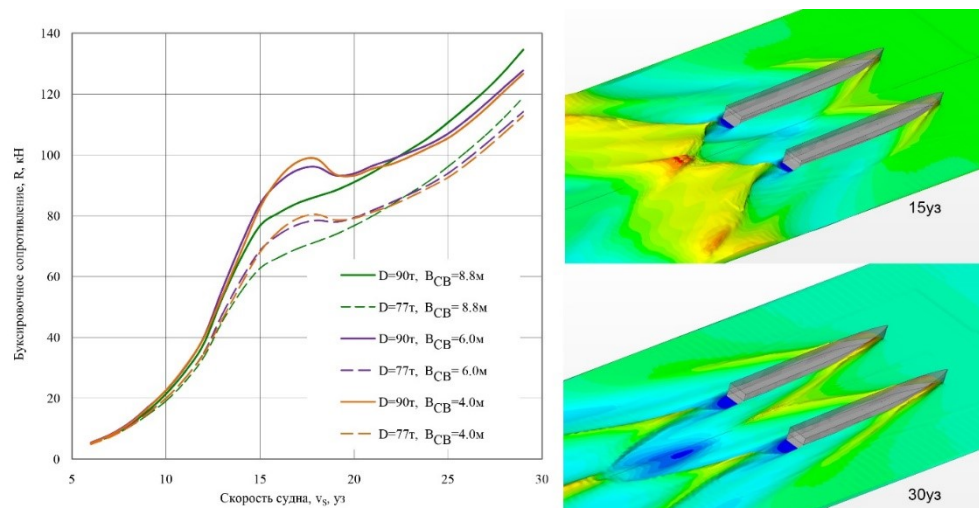


Рис.2. Буксировочное сопротивление катамарана при варьировании B_{CB} и D, и волнообразование при B_{CB}=8.8м на различных скоростях.

Fig.2. The Catamaran Towing resistance with variation of B_{CB} and D, and wave making at B_{CB}=8.8m at different speeds.

Значение пропорций катамаранов для эксплуатационных качеств

Катамараны обладают преимуществами в обитаемости по сравнению с судами других типов. Значительная площадь палуб катамарана как нельзя лучше подходит для размещения пассажиров и для обеспечения их активности. Уровень комфорта характеризуется площадью салона на одного пассажира; по этому параметру катамараны примерно вдвое превосходят суда на подводных крыльях эквивалентной пассажировместимости [2]. В [8] представлено сравнение двух рекреационных судов (катамарана и однокорпусного) с равной длиной корпуса 23.9м; при этом катамаран обеспечивает 547м² полезной площади, а однокорпусное судно лишь 269м².

Гидродинамическое сопротивление катамарана напрямую зависит от расстояния между корпусами – горизонтального клиренса. На рис.2 представлены кривые буксировочного сопротивления катамарана длиной L=24м при варьировании водоизмещения и D ширины между центрами величины корпусов B_{CB}. В области малых скоростей широкий катамаран является гидродинамически более эффективным. Максимум интерференции волновых систем корпусов наблюдается в области горба сопротивления; этот эффект тем выше, чем больше D катамарана. Для скоростных катамаранов сопротивление "узкого" катамарана меньше, что связано с меньшими потерями на замыкании тоннеля. В [1] приведены рекомендации автора по выбору пропорций и обводов катамаранов, с учетом изложенных выше факторов.

Ширина катамарана имеет решающее значение для судов с электродвижением (см.рис.1 и 5), поскольку для размещения солнечных батарей необходима максимальная площадь. Учитывая, что такие катамараны движутся в режиме до горба сопротивления, также требуется максимизировать горизонтальный клиренс (см.рис.2).

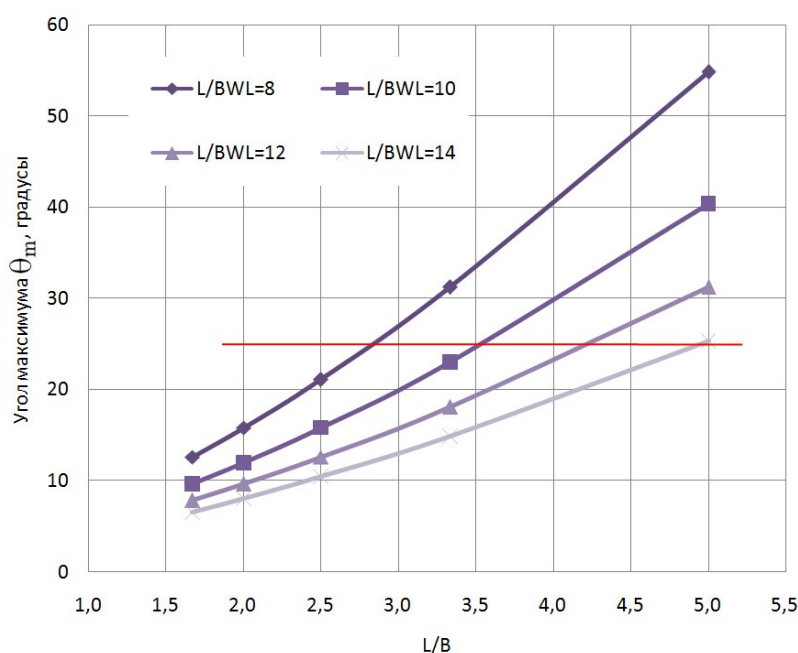


Рис.3. Оценка θ_m при варьировании L/B катамаранов.

Fig.3. Estimates of θ_m with variation of L/B of catamarans.

Проблемы нормирования остойчивости

Несмотря на перечисленные очевидные преимущества катамаранов, иногда наиболее трудновыполнимыми для них оказываются именно требования к остойчивости. Происходит это в случае, когда к катамарану предъявляются требования для однокорпусных судов; подобные требования заимствуются, например, из IMO IS Code [9] и аналогичных документов. Проблемными в этом случае становятся требования к углу максимума θ_m , реже - к углу заката θ_d или заливания θ_v .

Рассмотрим, как влияют пропорции катамарана на возможность удовлетворения критерия $\theta_m \geq 25 \dots 30^\circ$. Угол крена θ_m , соответствующий максимуму диаграммы статической остойчивости (ДСО) катамарана можно приблизительно оценить через осадку корпусом T_C и расстояние между центрами величины корпусов B_{CB} . Величина k зависит от относительной аппликаты центра масс и от типа обводов (симметричные или асимметричные корпуса); для одноярусных катамаранов можно принять $k=1.7$. Ширину катамарана B можно представить через B_{CB} и ширину одного корпуса по ватерлинии B_{WL} :

$$\theta_m = \arctan\left(\frac{kT_C}{B_{CB}}\right); \quad B = B_{CB} + B_{WL}$$

На практике минимальная ширина B_{WL} ограничена необходимостью размещения двигателей либо помещений в корпусах, а соотношение $T_C \approx 0.5B_{WL}$ продиктовано соображениями снижения смоченной поверхности. Удлинение $L/B_{WL}=8$ встречаются только у катамаранов $L < 12$ м рекреационного назначения с помещениями в корпусах. Соотношение $L/B_{WL} \approx 10$ характерно для $L < 24$ м, для более крупных судов достигается $L/B_{WL} \geq 12$. На рис.3 представлена диаграмма, связывающая пропорции катамарана с оценкой θ_m . Как можно заметить, условие $\theta_m \geq 25^\circ$ может быть выполнено на катамаранах, имеющих $L/B \geq 3.5 \dots 4.0$, что более характерно для однокорпусных судов.

Требования к углу θ_m , если они применяются к катамарану, вынуждают либо уменьшать его ширину, либо повышать аппликату центра масс. Оба способа не имеют ничего общего с повышением остойчивости и безопасности, а представляют собой "подгонку" катамарана под искусственно навязываемые требования к остойчивости однокорпусных судов.

На рис.4 представлены статистические данные по L/B катамаранов различной длины. Данные собраны из трех источников: а) проекты AMD, б) катамараны рекреационного назначения из каталогов производителей, в) крупные пассажирские катамараны из [10]. Наиболее узкие катамараны на рис. 4 — это суда с ограниченным габаритом для перевозки на трейлере либо железнодорожным транспортом, либо суда сравнительно большой длины, где ширина ограничена из условий швартовки и докования. Из рис.4 следует, что позволяющие обеспечить $\theta_m \geq 25^\circ$ величины $L/B \geq 3..4$ (где верхние значения соответствуют катамаранам большей длины), наблюдаются достаточно редко.

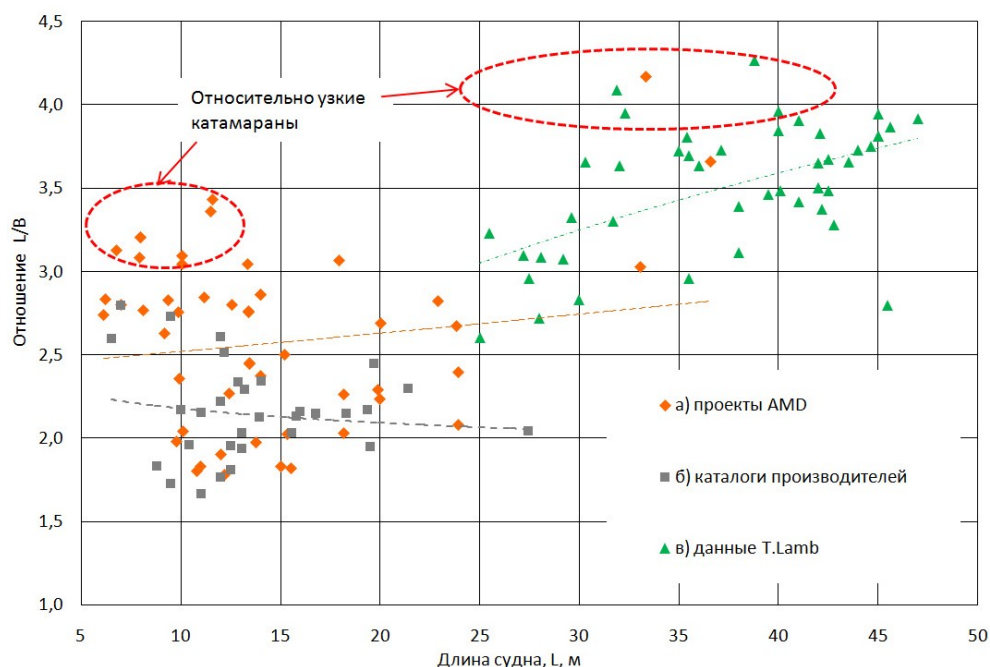


Рис.4. Статистические данные по пропорциям катамаранов.

Fig.4. Statistical data on catamaran proportions.

Таблица 1

Стратегии обеспечения остойчивости судов

Тип судна	Стратегия	Средства достижения
Однокорпусное	Обеспечить спрямление	Параметры ДСО должны обеспечивать восстановление судна после прекращения действия кренящей силы
Многокорпусное	Минимизировать наклонение	Максимизируется требуемая работа внешних сил по накрению судна, за счет значительной площади ДСО.

Примечание: к "узким" катамаранам может применяться стратегия для однокорпусных судов.

Общий подход к нормированию остойчивости

Исторически нормы остойчивости создавались именно для однокорпусных судов; еще до широкого появления на рынке катамаранов они получили окончательный вид и были закреплены в действующих конвенциях. В то же время, по мнению автора, стратегии обеспечения остойчивости принципиально различны - см.табл.1.

Разность стратегий определяет различия в подходах к нормированию остойчивости. У многокорпусных судов, обладающих избыточной начальной остойчивостью, противодействие наклонению обеспечивается за счет максимизации работы внешних сил по накрению судна.

Подходы нормативных документов

IMO IS Code [9] является основой при создании норм остойчивости для национальных нормативных документов, однако изначально эти требования не предназначены для многокорпусных судов. Применение подобного рода критериев к ДСО катамаранов нельзя считать оправданным.

HSC Code [11] содержит наиболее продуманную структуру требований к остойчивости высокоскоростных катамаранов. Требования для многокорпусных судов применяются в случае, если $h > 3\text{м}$, и $\theta_m \leq 25^\circ$; также они могут применяться в случаях $h \leq 3\text{м}$, и $\theta_m \leq 25^\circ$ или $h > 3\text{м}$, и $\theta_m > 25^\circ$. Заметим, что в пределах указанных значений возможно применение «многокорпусных» требований к однокорпусным судам. Структура требований приведена в табл.2.

Таблица 2

Сравнение требований к остойчивости многокорпусных судов

Критерий	HSC Code	MCA MGN280	NSCV
	[11]	[12]	[13]
Угол максимума $\theta_m \geq$	10°	15°	10°
Площадь ДСО до максимума θ_m или $30^\circ \geq$	$0.055 \times 30 / \theta_m$, м \times рад	$0.055 + 0.002 \times (30 - \theta_m)$, м \times рад	$3.15 \times 30 / \theta_m$, м \times градусы
Площадь ДСО от 30° до 40° или $\theta_d \geq$	-	0.03, м \times рад	-
Плечо остойчивости при угле крена 30° , $I_{30} \geq$	-	0.2м	-
Крен от скопления людей \geq	10°	$7(10)^\circ$	10°
Совместное действие скопления людей, поворота и порыва ветра	+	-	+
Остаточная площадь ДСО с учетом ветра и качки	-	-	+
Начальная метациентрическая высота $h \geq$	-	0.35м	-

MCA MGN280 [12] представляет собой правила морской администрации Великобритании к судам длиной до 24м, используемых в коммерческих целях. Документ содержит специальные требования к остойчивости многокорпусных судов - см.табл.2. Следует отметить также, что документ допускает применение ISO12217-1 в качестве альтернативных требований к остойчивости.

NSCV [13] австралийский стандарт для коммерческих судов представляет значительный интерес в качестве примера для разработки нормативных документов,

поскольку он предъявляет весьма разумные дифференцированные требования в зависимости от размера судна, пассажировместимости, района плавания и т.д. Документ применяется для судов местного сообщения без ограничения длины и пассажировместимости. Для многокорпусных судов и широких однокорпусных судов предусмотрены специальные требования к остойчивости. Следует заметить, что требования во многом дублируют HSC Code, но применяются независимо от скорости судна.

ГОСТ/ISO12217-1 [14,15] применяется для судов с длиной корпуса $L_H \leq 24$ м и содержит разумные требования к остойчивости многокорпусных судов. Наиболее критичным оказывается требуемый угол заливания, который определяется по формуле и составляет $\theta_d = 25 \dots 40^\circ$. Для судов с $\theta_m < 30^\circ$ (многокорпусные суда и широкие однокорпусные) площадь ДСО нормируются косвенно, через следующие величины:

Максимальный восстанавливающий момент $M_m \geq (750/\theta_m)$ для категории А или $M_m \geq (210/\theta_m)$ для категории В, $kH \times m$.

Максимальное плечо остойчивости, $lm \geq (6/\theta_m)$, м.

Угол максимума θ_m как таковой в [14,15] не нормируется. Кроме этого, нормируются угол крена при смещении людей к борту, и критерий погоды с учетом бортовой качки. Однако, эти критерии для большинства катамаранов не являются определяющими. В целом, опыт применения автором ISO12217-1 для большого количества катамаранов убедительно свидетельствует, что суда с развитыми двух- и даже трехъярусными надстройками могут уже при $L_H > 15$ м получить категорию А (скорость ветра 28 м/с и значительное волнение до $H_{1/3} = 7$ м).

Таким образом, специализированные требования для многокорпусных судов подразумевают $\theta_m \geq 10 \dots 15^\circ$, в то время как неспециализированные правила эти особенности не учитывают. Например, технический регламент ТР026 [16] содержит требования к $\theta_m \geq 25^\circ$ и $\theta_v \geq 60^\circ$, невыполнимые на подавляющем большинстве реально существующих катамаранов. Подобный же подход применяется для маломерных судов РС [17], где $\theta_m \geq 25^\circ$. Российский Речной Регистр [18] содержит метод определения бортовой качки катамаранов (который сам по себе нуждается в верификации для более легких судов современных типов), однако не содержит альтернативных требований к ДСО катамаранов.

Практическая реализация на примере проектов

Типичные ДСО для относительно «широких» и «узких» катамаранов представлены на рис.5 на примере нескольких проектов. Проект SY60 представляет собой судно $L=18.2$, $B=9.0$ м с электродвижением, оптимизированное на скорости 8 уз, $\theta_m = 14.2^\circ$ с минимальной нагрузкой (МО) и $\theta_m = 15.9^\circ$ в полном грузу (LDC). Судно сертифицировано по ISO12217-1 и имеет высшую категорию А (волнение $H_{1/3} = 7$ м, ветер 27 м/с); суда этой серии совершали трансокеанские переходы. Следует заметить, что ширина подобных судов выбирается из условий а) размещения максимального количества солнечных батарей и б) минимизации буксировочного сопротивления на малых скоростях. В отсутствие адекватной нормативной базы для катамаранов, постройка подобных перспективных судов была бы невозможна.

Проект H48 представляет собой рекреационный катамаран $L=14.8$ м, $B=7.2$ м имеет категории В/А по ISO12217-1 [14]. Судно также имеет класс 1D для коммерческой эксплуатации с 36 пассажирами по NSCV [13].

Проект ASV1500W - высокоскоростной катамаран на 54 пассажира, $L=15.3$ м, $B=4.4$ м. Остойчивость судна соответствует требованиям HSC Code Annex 7 [11] при расчетной скорости ветра 15 м/с.

Проект PV99 - маломерный рекреационный катамаран L=9.9м, B=3.6м серийно строится в России с сертификацией TP026 [16]; при этом для нормирования его остойчивости применен стандарт ГОСТ/ISO12217-1 [15].

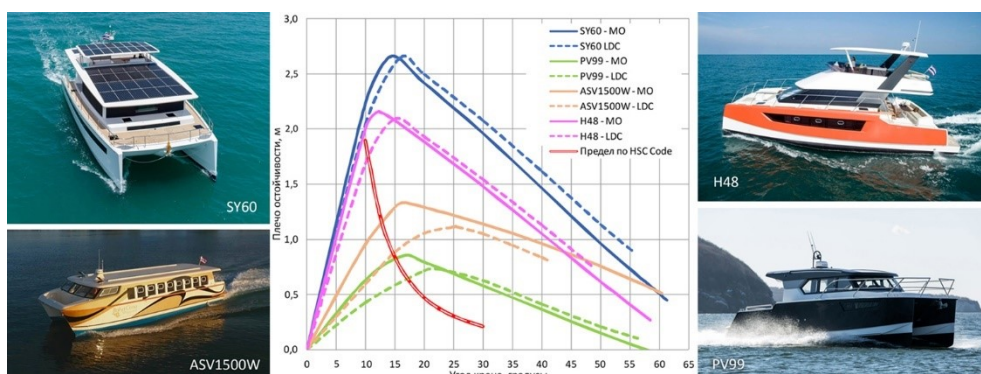


Рис.5. Диаграммы остойчивости катамаранов при минимальном эксплуатационном водоизмещении (МО) и в полном грузу (LDC).

Fig.5. The catamarans stability diagrams at minimal operational load (MO) and at loaded displacement (LDC).

На рис.5 также нанесена ограничительная линия для θ_m по HSC Code [11], полученная из зависимости, представленной в табл.2. Значения θ_m выше и правее линии удовлетворяют критериям HSC Code, на нее удобно ориентироваться при практическом проектировании катамаранов.

Заметим, что ни одно из представленных на рис.5 судов не соответствует критерию $\theta_m \geq 25...30^\circ$ во всех случаях нагрузки; тем не менее, суда обладают высокими мореходными качествами, проверенными опытом их эксплуатации.

Представители классификационных обществ часто нуждаются в рекомендациях от проектировщика при оценке остойчивости катамаранов. Так, в ходе разработки пассажирского катамарана проекта BNTM16 для Андаманских островов Индийским регистром IRS [19] было предъявлено требование соответствия критериям остойчивости из IMO IS Code [9], как известно, предназначенным для однокорпусных судов. Инспекторы IRS при рассмотрении проекта исходили из того, что катамаран при проектной скорости 12уз не был высокоскоростным, чтобы применить к нему HSC Code Annex 7 [11]. В предыдущих аналогичных проектах, индийские коллеги добивались соответствия требованиям IS Code [9] путем герметизации пассажирского салона, балластировки и снижения ширины судна. Таким образом, ДСО катамарана искусственно приводилась к виду, характерному для однокорпусных судов: крайне небезопасное решение, особенно учитывая известные проблемы с перегрузом пассажирских судов в Индии. Автором было предложено, несмотря на скорость судна, применять к нему требования HSC Code [11], разработанные специально для многокорпусных судов. В результате позитивного решения, построенное судно имеет адекватные пропорции и обеспечивает комфорт и безопасность пассажиров, которые могут перемещаться по палубам во время морской прогулки.

В работе с зарубежными классификационными обществами и РС получает распространение разумная практика применения требований из Annex 7 HSC Code [11] для катамаранов, даже формально не являющихся высокоскоростными. С другой стороны, известны и абсурдные ситуации, когда ради соответствия "однокорпусным" требованиям к остойчивости на катамаранах искусственно уменьшают L/B, загружают балластом надстройку и/или герметизируют салон.

Заключение

Катамараны обладают неоспоримыми преимуществами в части комфорта и безопасности и являются перспективными судами для рынка РФ. Одновременно применение критериев остойчивости для однокорпусных судов «навязывает» катамаранам пропорции, при которых двухкорпусные суда не только теряют свои преимущества, но и снижается их безопасность.

Действующие подходы РС [17], PPP [18] и TP026 [16] нуждаются в уточнении с привязкой к международному опыту и реально судействующим судам. Вновь разрабатываемые нормативные документы должны содержать альтернативные требования для многокорпусных судов.

В качестве меры для исправления ситуации и основываясь на опыте реализованных проектов, автором предлагается использовать при нормировании остойчивости катамаранов:

для коммерческих судов - применение Annex 7 HSC Code [11], в том числе и для катамаранов, не являющихся формально высокоскоростными;

для судов рекреационного и служебного назначения - применение ГОСТ/ISO12217-1 [15].

Применение адекватно соответствующих типу судна требований позволит в полной мере обеспечить безопасность рассматриваемых судов при сохранении их эффективности и привлекательности для судовладельцев и пассажиров.

Список литературы

1. Yun L. High Speed Catamarans and Multihulls/ L.Yun, A.Bliault, H.Zong Rong// Springer (2019) - 746 p.
2. Nazarov A. Small Passenger Boats and Water Taxis: Aesthetic and Functional Aspects of Design/ A.Nazarov, A.Jabtanom, N.Charatsidis //Marine Design Conference, RINA, 2014 - Coventry, UK. p.83-94.
3. Bruce P. Heavy Weather Sailing - 7th Edition/ P.Bruce// Bloomsbury Publishing (2016) - 310 p.
4. Report of the Commission of Inquiry into the Collision of Vessels near Lamma Island on 1 October 2012. Government of Honkong, April, 2013.
5. Назаров А.Г. Особенности обеспечения непотопляемости малых судов/А.Г.Назаров //Научно-технический сборник Российского Морского Регистра Судоходства, №58/59, 2020 с.38-49.
6. Nazarov A. Small craft freeboard and stability: approaches to assessment and perspective improvements/A.Nazarov// Transactions of RINA, Vol 159, Part B1, Intl Journal of Small Craft Technology, Jan-Jun 2017 - p.1-13. <https://doi.org/10.3940/rina.ijstc.2015.b2.164>
7. Nazarov A. Application of catamaran concept for small commercial, special and pleasure craft/A.Nazarov// 16th High Speed Marine Vessels Conference (HPMV-2011) - Shanghai, China, 2011. – E18.
8. Nazarov A. HOME Catamaran: Cost Efficient Superyacht/A.Nazarov, J.Wijnants //Design & Construction of Super and Mega Yachts, RINA, 14-15 May 2019, Genoa, Italy.p.31-37. <https://doi.org/10.3940/rina.smy.2019.04>
9. Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments - Resolution A.749(18).
10. Ship Construction. Vol.1-2. Edited by Lamb T. SNAME, 2003.
11. International Code of Safety for High Speed Craft (2000 HSC Code) – IMO, 2008 Edition
12. Small Vessels in Commercial Use for Sport or Pleasure, Workboats and Pilot Boats – Alternative Construction Standards. MSN 280 – SCV Code - Maritime Coastguard Agency, UK.
13. National Standard for Commercial Vessels, Stability – Australian Maritime Safety Authority, 2016.
14. ISO12217-1:2015 – Small Craft - Stability and Buoyancy Assessment and Categorization. International Standards Organization.
15. ГОСТ/ISO12217-1:2016 Суда малые - Оценка остойчивости, запаса плавучести и определение проектной категории. Часть 1 - Непарусные суда с длиной корпуса 6 м и более.
16. Технический Регламент о безопасности маломерных судов. TP TC 026/2012.

17. Правила классификации и освидетельствований маломерных судов. НД № 2-020101-133. Российский морской регистр судоходства, 2020
18. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-и томах). – Правила классификации и постройки судов (ПКПС). –М.: Российский Речной Регистр, 2019 – 1506 с.
19. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed Crafts and Light Crafts. Indian Register of Shipping. 2016.

References

1. Yun L. High Speed Catamarans and Multihulls/ L.Yun, A.Bliault, H.Zong Rong// Springer (2019) - 746 p.
2. Nazarov A. Small Passenger Boats and Water Taxis: Aesthetic and Functional Aspects of Design/ A.Nazarov, A.Jabtanom, N.Charatsidis //Marine Design Conference, RINA, 2014 - Coventry, UK. p.83-94.
3. Bruce P. Heavy Weather Sailing - 7th Edition/ P.Bruce// Bloomsbury Publishing (2016) - 310 p.
4. Report of the Commission of Inquiry into the Collision of Vessels near Lamma Island on 1 October 2012. Government of Honkong, April, 2013.
5. Nazarov A. Specifics of unsinkability of small ships/A.Nazarov// Proceedings of Russian maritime Register of Shipping, #58/59, 2020, p.38-49.
6. Nazarov A. Small craft freeboard and stability: approaches to assessment and perspective improvements/A.Nazarov// Transactions of RINA, Vol 159, Part B1, Intl Journal of Small Craft Technology, Jan-Jun 2017 – p1-13. <https://doi.org/10.3940/rina.ijst.2015.b2.164>
7. Nazarov A. Application of catamaran concept for small commercial, special and pleasure craft/A.Nazarov// 16th High Speed Marine Vessels Conference (HPMV-2011) - Shanghai, China, 2011. – E18.
8. Nazarov A. HOME Catamaran: Cost Efficient Superyacht/A.Nazarov, J.Wijnants //Design & Construction of Super and Mega Yachts, RINA, 14-15 May 2019, Genoa, Italy. p.31-37. <https://doi.org/10.3940/rina.smy.2019.04>
9. Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments - Resolution A.749(18).
10. Ship Construction. Vol.1-2. Edited by Lamb T. SNAME, 2003.
11. International Code of Safety for High Speed Craft (2000 HSC Code) – IMO, 2008 Edition
12. Small Vessels in Commercial Use for Sport or Pleasure, Workboats and Pilot Boats – Alternative Construction Standards. MSN 280 – SCV Code - Maritime Coastguard Agency, UK.
13. National Standard for Commercial Vessels, Stability – Australian Maritime Safety Authority, 2016.
14. ISO12217-1:2015 – Small Craft - Stability and Buoyancy Assessment and Categorization. International Standards Organization.
15. GOST/ISO12217-1:2016 Suda malye - Otsenka ostoichivosti, zapasa plavuchesti i opredelenie proektnoi kategorii. [Small craft – assessment of stability, floatation and deign category] Chast' 1 - Neparusnye suda s dlinoi korpusa 6 m i bolee.
16. Tekhnicheskii Reglament o bezopasnosti malomernykh sudov. [Technical regulation on safety of small lcraft] TR TS 026/2012.
17. Pravila klassifikatsii i osvidetel'stvovaniia malomernykh sudov. [Rules of classification and survey of small craft] ND № 2-020101-133. Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva, 2020
18. Rossiiskii Rechnoi Registr. Pravila (v 5-i tomakh). – Pravila klassifikatsii i postroiiki sudov (PKPS) [Rules of classification and construction of ships]. –М.: Rossiiskii Rechnoi Registr, 2019 – 1506 s.
19. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed Crafts and Light Crafts. Indian Register of Shipping. 2016.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Назаров Альберт Георгиевич, к.т.н., FRINA, CEng, MSNAME директор, конструкторское бюро "Albatross Marine Design", Таиланд, email: an@amdesign.co.th

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

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

OPERATION OF SHIP POWER EQUIPMENT

УДК 621.43.05

DOI: 10.37890/jwt.v68.206

Механизмы управления рабочим процессом дизельного двигателя

С.Е. Андрусенко¹

О.Е. Андрусенко²

В.В. Колыванов³

Ю.И. Матвеев³

¹*РУМО, г. Нижний Новгород, Россия*

²*Российский морской регистр судоходства, г. Варна, Болгария*

³*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается вопрос снижения удельного расхода топлива и улучшение экологических показателей двигателей внутреннего сгорания путем изменения рабочего процесса для получения качественного и своевременного выделения теплоты в результате сгорания топлива. Целью управления рабочим процессом является создание благоприятных условий для воспламенения топлива. Рассмотрены пути возникновения очагов воспламенения в камере сгорания. Выделены основные периоды подачи топлива, продолжительность воспламенения в зависимости от времени запаздывания, процесс сгорания, влияние угла опережения подачи топлива на экологические параметры двигателя. Обоснована возможность управления рабочим процессом в период подготовки начала горения и приведены примеры механизмов отечественных и зарубежных аналогов, обеспечивающих управление рабочим процессом. Вывод – высокие показатели управления рабочим процессом обеспечивает система электронного управления – common rail, несмотря на широкое распространение механических методов.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, процесс сгорания, процесс воспламенения, топливный насос высокого давления, рабочий процесс двигателя, удельный расход топлива, электронная система впрыска, common rail.

Work process control mechanisms of diesel engine

Sergey E. Andrusenko¹

Oleg E. Andrusenko²

Vladimir V. Kolyvanov³

¹*Department JSC «RUMO», N. Novgorod, Russia*

²*Russian Maritime Register of shipping, Varna, Bulgaria*

³*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract The article discusses the issue of reducing the specific fuel consumption and improving the internal combustion engines environmental performance by changing the working process to obtain high-quality and timely heat release as a result of fuel combustion. The workflow control purpose is to create favorable conditions for fuel ignition. The ways of ignition centers occurrence in the combustion chamber are considered. The fuel supply

main periods, the ignition duration depending on the lag time, the combustion process, the influence of the fuel supply advance angle on the engine environmental parameters are considered. The possibility of controlling the working process during the preparation of the combustion beginning is substantiated and examples of domestic mechanisms and foreign analogs that provide the working process control are given. Conclusion - the workflow high performance management is provided by the electronic control system - common rail, despite the mechanical methods widespread use.

Keywords: internal combustion engine, combustion process, ignition process, fuel pump, engine workflow, specific fuel consumption, electronic injection system, common rail.

Введение

В настоящее время доля выработки энергии двигателями внутреннего сгорания (ДВС), работающими на ископаемом топливе, составляет 25% мирового энергетического баланса [1]. Поэтому проблема снижения удельного расхода топлива и улучшения экологических показателей двигателей является актуальной.

Одним из основных механизмов влияния на показатели работы двигателей является рабочий процесс.

Большое количество публикаций посвящено влиянию различных параметров, таких как топливоподача, наполнение и качество смесеобразования в цилиндре на рабочий процесс двигателя [2-7]. Этой же тематике посвящены классические работы отечественных и зарубежных авторов [8-10].

Основной целью организации рабочего процесса является полное и своевременное выделение тепла в результате сгорания, т.е. получение необходимых скоростей реакции окисления углеводородов топлива [11].

Методы и результаты

Физико-химические преобразования горючей смеси в цилиндре быстроходного дизеля представляют собой единый непрерывный процесс. Эксперименты показывают, что этот сложный процесс можно разделить на периоды. Это позволяет установить общую картину управления процессом и определить практические средства для воздействия на протекание рабочего процесса [11].

Анализ кривых, приведенных на рисунке 1, позволил сделать вывод о том, что в процессе преобразования топлива в цилиндре двигателя наблюдаются четыре периода: подготовительный τ_1 , воспламенения и начального горения τ_2 , основного горения τ_3 и замедленного горения τ_4 [11].

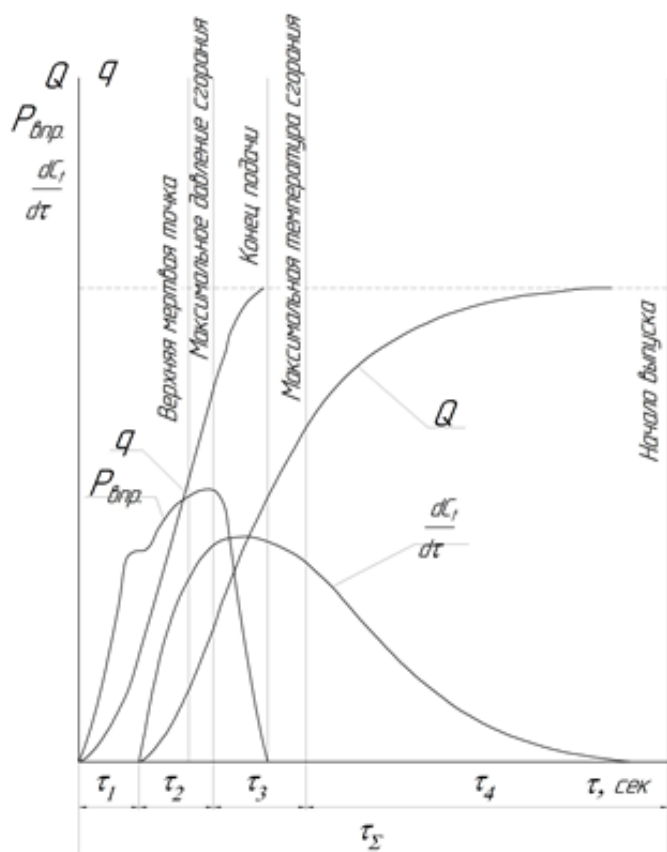


Рис. 1 – Изменение суммарной скорости горения, относительного выделения тепла, давления впрыска и относительной подачи топлива в быстроходном дизеле с наддувом при работе на номинальном режиме.

Fig. 1 –Changes in the total combustion rate, relative heat release, injection pressure and relative fuel supply in a fast-supercharged diesel engine when operating at nominal mode.

Общие и основные признаки, по которым различаются эти периоды, заключаются:

В скорости выделения тепла при горении топлива в зависимости от перемещения поршня;

В характере изменения и величине исходной концентрации топлива [11].

Первый, подготовительный период сгорания (период задержки самовоспламенения) длится от начала подачи топлива в цилиндр до момента отрыва линии сгорания на индикаторной диаграмме от линии сжатия, и является главным периодом, определяющим экономические и экологические показатели работы двигателя [11].

Характерные особенности первого периода заключаются в следующем:

скорости реакции в этот период малы, могут быть приняты равными нулю;

– топливо непрерывно поступает в цилиндр с возрастающей скоростью;

– изменение давления и температуры вследствие начавшихся физико-химических процессов мало, увеличение давления и температуры в цилиндре практически целиком определяется ходом сжатия [11].

В течение первого периода топливо, поступающее в цилиндр двигателя, проходит стадию физико-химической подготовки к воспламенению, заключающуюся в нагреве,

испарении и химических реакциях, связанных с появлением активных центров. Эти процессы происходят при большом избытке воздуха и малых концентрациях топлива.

Результатом такой подготовки является возникновение многочисленных очагов воспламенения, распространённых по объёму камеры сгорания, в которых реакция завершается цепочно-тепловым взрывом и образованием пламени.

В зависимости от продолжительности первого периода, зависящего от времени запаздывания воспламенения, меняется количество топлива, накапливающегося к моменту воспламенения и степень неравномерности распределения топлива по объёму камеры сгорания.

Целью управления рабочим процессом является создание таких условий воспламенения топлива, чтобы максимум давления не приходился на момент движения поршня к ВМТ и не заходил далеко за ВМТ.

Воздействовать на качественные показатели подготовительного периода можно различными способами:

- рычажный (MaK) индивидуальный или с общим эксцентриком;
- поворотный (MAN) – связан с конструкцией двигателя, т.к. требуется отделить газовые и топливные кулачки;
- за счет изменения высоты толкателя топливного насоса высокого давления (ТНВД);
- применение муфты автоматического регулирования угла опережения впрыска топлива [12];
- конструктивная доработка отсечной кромки плунжера [13];
- common rail – аккумуляторная система;
- электронный со следящей системой режима работы двигателя;
- двухфазная и ступенчатая подача топлива, улучшающая рабочий процесс и экономичность дизеля [14].

Рычажный механизм (рис. 2) состоит из рычага, посаженного на эксцентриковый вал [15]. Меняя положение эксцентрика, можно влиять на начало подачи топлива и на своевременность его воспламенения в цилиндре двигателя. Как видно из приведенного графика, с увеличением угла начала подачи топлива (положение I эксцентрика рычага) до ВМТ (точка 0 на графике) максимальное давление сгорания уменьшается. Эксцентриковый вал может устанавливаться вручную на стадии регулировки двигателя или меняться в зависимости от режима работы двигателя. Такие устройства применялись и еще применяются чаще всего на двигателях фирм MaK, SEMT-Pielstic, Caterpillar.

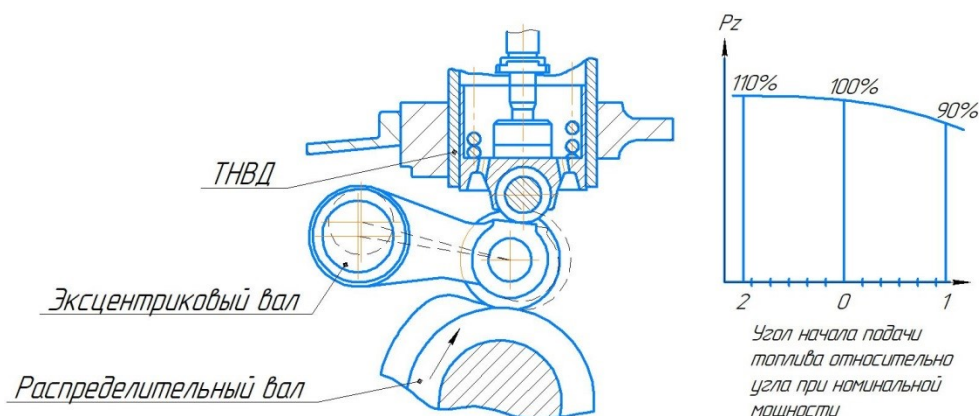


Рис. 2 – Рычажный механизм регулировки начала подачи топлива.

Fig. 2 – Lever mechanism for adjusting the start of fuel delivery.

Поворотный механизм регулирования начала впрыска топлива предполагает наличие в конструкции двигателя двух распределительных валов – газового и топливного. Топливный вал может поворачиваться винтовой зубчатой передачей, предусмотренной на валу и в ступице зубчатого колеса распределительного вала (рис. 3).

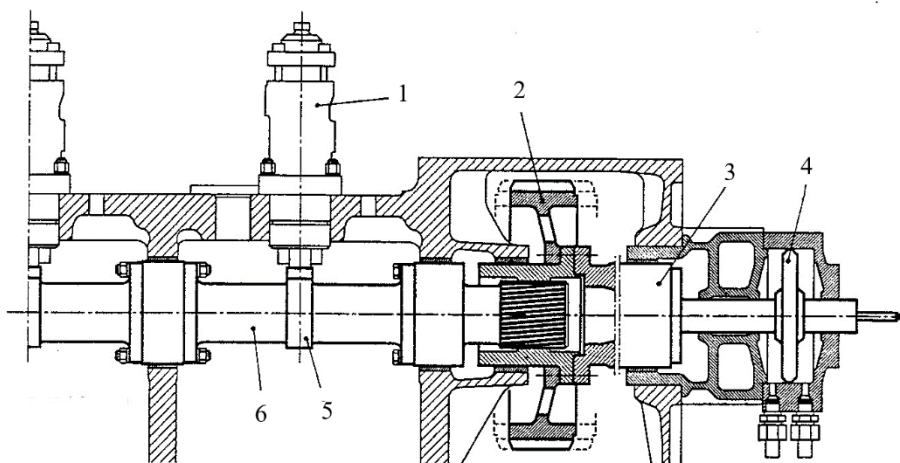


Рис. 3 – Механизм регулирования угла начала подачи топлива: 1 – топливный насос высокого давления; 2 – приводная шестерня; 3 – подшипник; 4 – гидравлический привод; 5 – топливный кулачок; 6 – распределительный вал.

Fig. 3 – Mechanism for adjusting the angle of the beginning of the fuel supply: 1 – high pressure fuel pump; 2 – drive gear; 3 – bearing; 4 – hydraulic drive; 5 – fuel cam; 6 – a camshaft.

Поворот топливного распределительного вала происходит при работающем двигателе в сторону «раньше» или «позже», в зависимости от того, что нужно обеспечить при работе двигателя – экономичность работы по удельному расходу топлива или получить более экологический режим работы двигателя. Как известно, проблема одновременного получения экономичного и экологичного двигателя (решение «дилеммы Дизеля») в двигателестроении эффективно не решена до сих пор даже с применением каталитической очистки газов.

Путем регулировки в направлении «рано» можно увеличить давление воспламенения до расчетной точки, что приведет к значительно меньшему расходу топлива. С другой стороны, регулировка в «более позднем» направлении, приводящая к падению давления воспламенения, приводит к значительно более низкому выбросу NO_x (рис. 4) [16].

Это устройство управляется программой, согласованной с условиями эксплуатации и целями по согласованию с заказчиком.

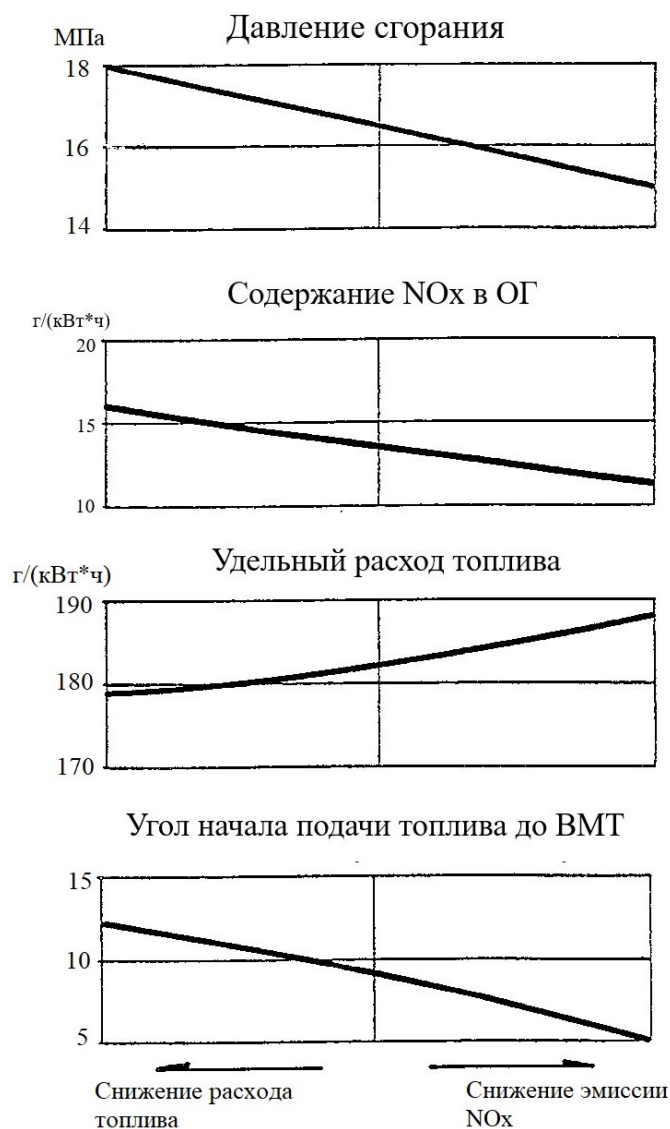


Рис. 4 – Влияние угла начала подачи топлива на давление сгорания, содержание оксидов азота в отработавших газах и удельный расход топлива.

Fig. 4 - Influence of the fuel supply beginning angle on the combustion pressure, the nitrogen oxides content in the exhaust gases and the specific fuel consumption.

В 90-х годах прошлого века такое устройство нашло применение на двигателе L32/40 фирмы MAN B&W.

В обычной системе впрыска, где плунжер впрыскивающего насоса заданной конструкции создавал давление, а также приуроченный и дозированный впрыск, можно было лишь незначительно влиять на переменные «начало впрыска», «продолжительность впрыска» и «давление впрыска».

Совместное влияние на «начало впрыска», «продолжительность впрыска» и «давление впрыска» можно обеспечить электронной системой впрыска. В электронной системе впрыска генерация давления – это одна функция, а время и

дозирование – другая. Для создания давления используется топливный насос высокого давления.

Электронная система впрыска состоит из следующих узлов (рис. 5):

- топливный насос высокого давления, топливопроводы впрыска топлива, аккумулятор давления топлива;
- электро-гидравлический управляемый инжекционный клапан;
- гидравлический контур, служащий в качестве следящего контура для приведения в действие впрыскивающего клапана;
- электронный контроллер для управления впрыском, запуском.

ТНВД подает топливо в аккумулятор, давление в аккумуляторе регулируется датчиком, и, в зависимости от выходной мощности, гидравлическим приводом на топливном насосе. Впрыск осуществляется через электро-гидравлически управляемый инжекционный клапан, который получает свои управляющие импульсы от электронного контроллера.

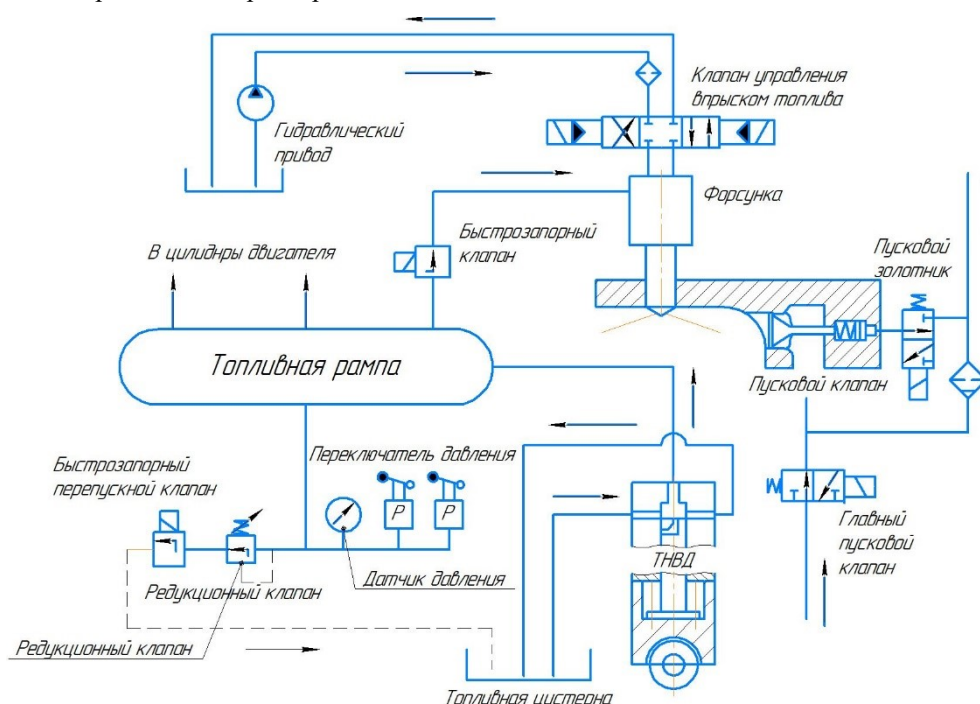


Рис. 5 – Схема электронной системы впрыска топлива.

Fig. 5 – The electronic fuel injection system diagram.

Перед системой механической подачи топлива эта система имеет следующие преимущества:

- гибкое регулирование угла начала подачи и количества подаваемого топлива в цилиндр двигателя в зависимости от многих параметров: атмосферного давления, давления наддувочного воздуха, температуры охлаждающей жидкости, температуры воздуха сгорания и т.д.
- высокое давление впрыска на всех режимах работы двигателя – уменьшение неравномерности подачи топлива по цилиндрам на частичных нагрузках и при холостом ходе, снижение дымности;

– снижение максимального давления и температуры цикла, за счет многократного впрыска топлива, что также положительно сказывается на уменьшении содержания оксидов азота в отработавших газах.

При использовании традиционной системы впрыска температура воспламенения поддерживалась постоянной во всем диапазоне мощности и скорости. Все рабочие значения двигателя были приведены к номинальной мощности при «нормальных условиях окружающей среды» с имеющимся в то время топливом. Сравнительно легко оптимизировать систему впрыска для этой единственной рабочей точки и, следовательно, при номинальной мощности получают удовлетворительные рабочие значения и низкий удельный расход топлива. Однако применявшаяся до сих пор система имела относительно мало возможностей для улучшения смесеобразования. Впрыск большего количества топлива с более высокой скоростью и давлением влечет за собой высокие нагрузки на приводы топливных насосов, кулачки и трубки высокого давления.

При электронном впрыске, когда топливо выходит из аккумулятора, в котором давление постоянно, давление впрыска и, следовательно, напряжения могут быть существенно снижены, при этом топливо более эффективно распыляется и сжигается, так что расход топлива ниже [17, 18]. Эти взаимосвязи показаны на рисунке 6. Максимальное давление сгорания на номинальном режиме остается прежним, при этом за счет тонкости распыливания уменьшается удельный расход топлива на всех режимах работы.

Электронные системы впрыска топлива начали применяться в 1970-х годах на опытных тихоходных двигателях KEZ 52/105 C/CL фирмы MAN B&W с топливной аппаратурой Bosch.

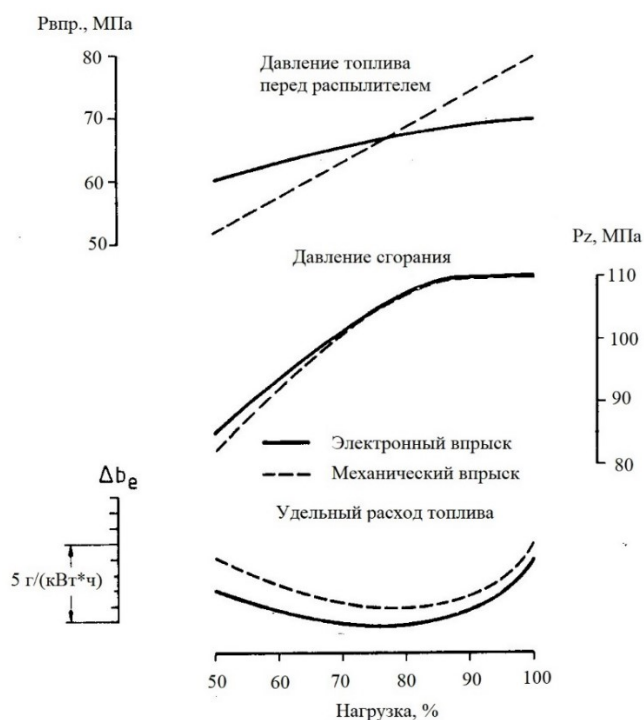


Рис. 6 – Винтовая характеристика. Сравнение основных параметров работы дизеля при электронной и механической системе впрыска.

Fig. 6 – Screw characteristic. . The diesel engine main parameters comparison with electronic and mechanical injection systems.

Заключение

На судовых дизелях, основное время работы которых приходится на работу при постоянной продолжительной нагрузке, широкое распространение получили механические методы управления углом опережения впрыска (поворот распределительного вала, рычажный механизм). Однако для получения высоких энергетических и экологических показателей в настоящее время широкое распространение получает система электронного управления common rail, которая дает более широкие возможности для управления рабочим процессом.

Список литературы

1. IJER editorial: The future of the internal combustion engine / Reitz R.D., Ogawa H., Payri R., Fansler T. [et. Al] // International Journal of Engine research. 2020. Vol. 21 (1). Pp. 3-10.
2. Обозов А.А., Новиков Р.А. Параметрическая оптимизация закона тепловыделения судового малооборотного дизеля // Двигателестроение. 2020. №3 (281). С. 10-12.
3. Атласов Р.Ю., Игнатенко Г.В., Туркин В.А. Оценка влияния регулировочных параметров на экологические характеристики главных судовых дизельных двигателей 7RT-FLEX82T // Эксплуатация морского транспорта. 2019. №3 (92). С. 108-114.
4. Effects of intakes swirl on the fuel/air mixing and combustion performance in a lateral swirl combustion system for direct injection diesel engines / Y. Chen, X. Li, S. Shi, Q. Zhao, D. Liu, J. Chang, F. Liu // Fuel. 2021. Vol. 286. 119376.
5. Effect of fuel injection timing and pressure on combustion, emissions and performance characteristics of a single cylinder diesel engine / A.K. Agarwal, D.K. Srivastava, A. Dhar, R.K. Maurya, P.C. Shukla, A.P. Singh // Fuel. 2013. Vol. 111. Pp. 374-383.
6. Марков В.А., Камалтдинов В.Г., Рязанов К.П., Косова Л.Е. Фазы топливоподачи и показатели транспортного дизеля // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2019. Т. 18, №5. С. 216-222.
7. YU H., Liang X., Shu G. Numerical study of the early injection parameters on wall wetting characteristics of HCCI diesel engine using early injection strategy // Internal Journal of Automotive Technology. 2017. Vol. 18, №5. Pp. 759-768.
8. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. А.С. Орлина, М: 1971 г., 400 с.
9. Риккардо Г.Р. Быстроходные двигатели внутреннего сгорания. М., Гострансиздат, 1932; Машгиз, 1960.
10. Из истории развития отечественных быстроходных дизелей. В кн. Некоторые проблемы развития современных транспортных двигателей. Под ред. А.И. Толстова. Труды НИИТД №20, М. 1968, стр. 7 – 36.
11. Толстов А.И., Бельский Д.И., Болдырев И.В. Вопросы горения и организации рабочего процесса в быстроходном дизеле. В кн. Некоторые проблемы развития современных транспортных двигателей. Под ред. А.И. Толстова. Труды НИИТД №20, М. 1968, стр. 37 – 63.
12. Корабельников С.К. Муфта автоматического регулирования угла опережения впрыска топлива // Двигателестроение. 2005. №3 (221). С. 40-43.
13. Кочев Н.С., Плотников Л.В., Григорьев Н.И. Совершенствование процесса топливоподачи тепловозного дизеля 8ЧН21/21, работающего по циклу Миллера // Двигателестроение. 2021. №1 (283). С. 20-25.
14. Болдырев И.В. Особенности сгорания частиц углерода в цилиндре быстроходных двигателей. Под. Ред. Кутового. Труды №18 НИИ, М. 1966, стр. 45-63.
15. L58/64: designing for power with strength. The Motor Ship. December 1983. P.30 – 31.
16. MAN B&W. Guide Project L32/40.
17. G. Kattenbusch, H. Krug, H. Zapf. Design and operating method. The Motor Ship. December, 1979. p. 32, 35
18. Wolfgang Klaunig. Improving engine performance with electronically-controlled injection. The Motor Ship. November, 1979. №712, p. 71-72.

References

1. IJER editorial: The future of the internal combustion engine / Reitz R.D., Ogawa H., Payri R., Fansler T. [et. Al] // International Journal of Engine research. 2020. Vol. 21 (1). Pp. 3-10.
2. Obozov A.A., Novikov R.A. Parametricheskaya optimizatsiya zakona teplovydeleniya sudovogo malooborotnogo dizelya [Parametric optimization of the law of heat release of a marine low-speed diesel engine] // Dvigatelistroyeniye. 2020. №3 (281).). pp. 10-12, (In Russ).
3. Atlasov R. Yu, Ignatenko G.V., Turkin V.A. Otsenka vliyaniya regulirovochnykh para-metrov na ekologicheskiye kharakteristiki glavnykh sudovykh dizel'nykh dvigateley 7RT-FLEX82T [Assessment of the influence of adjusting parameters on the environmental characteristics of the main marine diesel engines 7RT-FLEX82T] // Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2019. №3 (92). pp. 108-114 (In Russ).
4. Effects of intakes swirl on the fuel/air mixing and combustion performance in a lateral swirl combustion system for direct injection diesel engines / Y. Chen, X. Li, S. Shi, Q. Zhao, D. Liu, J. Chang, F. Liu // Fuel. 2021. Vol. 286. 119376.
5. Effect of fuel injection timing and pressure on combustion, emissions and performance characteristics of a single cylinder diesel engine / A.K. Agarwal, D.K. Srivastava, A. Dhar, R.K. Maurya, P.C. Shukla, A.P. Singh // Fuel. 2013. Vol. 111. Pp. 374-383.
6. Markov V.A., Kamaltdinov V.G., Ryazanov K.P., Kosova L.E. Fazy toplivopodachi i pokazateli transportnogo dizelya [Fuel supply phases and indicators of a transport diesel engine] // AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Al'ternativnoye toplivo. 2019. T. 18, №5. Pp. 216-222 (In Russ)
7. YU H., Liang X., Shu G. Numerical study of the early injection parameters on wall wet-ting characteristics of HCCI diesel engine using early injection strategy // Internal Journal of Automotive Technology. 2017. Vol. 18, №5. Pp. 759-768.
8. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Teoriya rabochikh protsessov porshnevnykh i kombi-nirovannykh dvigateley [Internal combustion engines. Theory of working processes of reciprocating and combined engines]. Editor Orlina A.S. M: 1971. P 400 (In Russ).
9. Rikkardo G.P. Bystrokhodnyye dvigateli vnutrennego sgoraniya [High-speed internal combustion engines]. M: Gostransizdat, 1932. Mashgiz. 1960.
10. Iz istorii razvitiya otechestvennykh bystrokhodnykh dizeley. V kn. Nekotoryye pro-blemy razvitiya sovremennykh transportnykh dvigateley. [From the history of the development of domestic high-speed diesel engines. In the book. Some problems in the development of modern transport engines.] Under. Ed. Tolstov A.I. Trudy NIITD №20, M. 1968. Pp. 7 – 36. (In Russ)
11. Tolstov A.I, Bel'skiy D.I., Boldyrev I.V. Voprosy goreniya i organizatsii rabo-chego protsessa v bystrokhodnom dizele. V kn. Nekotoryye problemy razvitiya sovremennykh transportnykh dvigateley. [Combustion and organization of the working process in a high-speed diesel engine. In the book. Some problems in the development of modern transport engines.] Under. Ed. Tolstov A.I. Trudy NIITD №20, M. 1968. Pp. 37 – 63. (In Russ)
12. Korabel'nikov S.K. Mufta avtomaticheskogo regulirovaniya ugla operezheniya vpryska topliva [Clutch for automatic control of the fuel injection advance angle] // Dvigatelistroyeniye. 2005. №3 (221). Pp. 40-43. (In Russ)
13. Kochev N.S., Plotnikov L.V., Grigor'yev N.I. Sovershenstvovaniye protsessa topli-vopodachi teplovoznogo dizelya 8ЧН21/21, rabotayushchego po tsiklu Millera [Improvement of the fuel supply process of a diesel locomotive 8ЧН21/21 operating according to the Miller cycle] // Dvigatelistroyeniye. 2021. №1 (283). Pp. 20-25. (In Russ)
14. Boldyrev I.V. Osobennosti sgoraniya chastits ugleroda v tsilindre bystrokhodnykh dvigateley [Features of combustion of carbon particles in the cylinder of high-speed engines] Under. Ed. Kutovoy. Trudy №18 NII, M. 1966. Pp. 45-63. (In Russ)
15. L58/64: designing for power with strength. The Motor Ship. December 1983. Pp.30 – 31.
16. MAN B&W. Guide Project L32/40.
17. G. Kattenbusch, H. Krug, H. Zapf. Design and operating method. The Motor Ship. December, 1979. Pp. 32-35
18. Wolfgang Klaunig. Improving engine performance with electronically-controlled injection. The Motor Ship. November, 1979. №712. Pp. 71-72.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Андрусенко Сергей Евгеньевич, к.т.н.,
начальник отдела по системам двигателя, АО
«РУМО», 603061, г. Нижний Новгород, ул.
Адмирала Нахимова, 13, e-
mail: info@aorumo.ru

Sergey E. Andrusenko, Sci. Tech, The chief
engineer of Engine System Department, AO
«RUMO», Russia, 13, Adm. Nahimova, Nizhny
Novgorod, 603061, e-mail: info@aorumo.ru

Андрусенко Олег Евгеньевич, к.т.н.,
старший инженер-инспектор, Морской
Регистр Судоходства, Болгария, 9000, Варна,
ул. Дебър, д. 18, e-mail:
oeandrusenko@gmail.com

Oleg E. Andrusenko, Sci. Tech. Surveyor,
Russian Maritime Register of Shipping, Ul.
Debar, 18, 9000, Varna, Bulgaria, e-mail:
oeandrusenko@gmail.com

Колыванов Владимир Викторович, к.т.н.,
доцент кафедры «Эксплуатация судовых
энергетических установок», Волжский
государственный университет водного
транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: kaf_eseu@vsuwt.ru

Vladimir V. Kolyvanov, Sci. Tech, Associate
Professor of the Department Operation of Ship
Power Plants, Volga State University of Water
Transport, Russia, 5, Nesterova, Nizhny
Novgorod, 603950, e-mail: kaf_eseu@vsuwt.ru

Матвеев Юрий Иванович, д.т.н., профессор
кафедры «Эксплуатация судовых
энергетических установок», Волжский
государственный университет водного
транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: kaf_eseu@vsuwt.ru

Yuri I. Matveev, D.Sc., Professor of the
Department Operation of Ship Power Plants,
Volga State University of Water Transport,
Russia, 5, Nesterova, Nizhny Novgorod, 603950,
e-mail: kaf_eseu@vsuwt.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 533.697.5 / 621.646.79
DOI: 10.37890/jwt.v68.205

Струйная смесительная установка для ввода легкого сыпучего вещества в поток жидкости

А.К. Тюльканов¹

ORCID: 0000-0002-9312-5851

С.В. Петрашѐв²

ORCID: 0000-0003-3183-5150

А.А. Панасенко²

М.И. Моисеенко²

¹*ООО ВОК, г. Владивосток, Россия*

²*МГУ им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия*

Аннотация. Для ликвидации аварийных разливов нефти предложена судовая система подачи активного вещества в зону загрязнения. В качестве активных веществ могут быть использованы различные химические соединения и вещества, микроорганизмы. Для сбора основной массы нефтяного разлива предложено использовать сорбент терморасщепленный графитовый. Его подача в зону загрязнения должна осуществляться в виде пульпы. Одним из ключевых элементов системы является смеситель для ввода сорбента в поток воды. В работе представлены результаты трех этапов исследования влияния геометрических параметров струйного смесителя на среднее объемное содержание сорбента в пульпе, а также формы сопла и показателей потока рабочей жидкости. Отмечена необходимость обязательного использования в бункере с легким сорбентом устройства разрушения свода.

Ключевые слова: морские нефтегазовые сооружения, северный морской путь, разлив нефти, сорбент, пульпа, струйный смеситель, сорбент термо-расщепленный графитовый, ледовый покров.

Jet mixing unit for introducing a light bulk substance into a liquid stream

Artur K. Tyulkanov¹

ORCID: 0000-0002-9312-5851

Sergey V. Petrashev²

ORCID: 0000-0003-3183-5150

Andrey A. Panasenko²

Mikhail I. Moiseenko²

¹*VOK Ltd, Vladivostok, Russia*

²*Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi, Vladivostok, Russia*

Abstract. For the oil spill emergency response, a ship system for supplying an active substance to the contaminated zone has been proposed. Various chemical compounds and substances, microorganisms can be used as active substances. To collect most of the oil spill, it was proposed to use a thermally split graphite sorbent. Its supply to the contaminated zone should be carried out in the form of a pulp. One of the key system elements is a mixer for introducing the sorbent into the water flow. This article presents the results concerning the three stages of the study in relation to the influence of the jet mixer geometric parameters on the average sorbent volumetric content in the pulp, the nozzle shape and the working fluid flow. The necessity of arch destruction device mandatory use in a bunker with a light sorbent is noted.

Keywords: offshore oil and gas facilities, northern sea route, oil spill, sorbent, pulp, jet mixer, thermo-split graphite sorbent, ice cover.

Введение

В последние годы в полярных морях России постоянно растёт грузооборот, увеличивается количество объектов добычи углеводородов, судов, проходящих северным морским путем, а также количество работ, связанных с погрузкой (разгрузкой) нефтяных грузов. Все это многократно увеличивает вероятность аварийных разливов нефти. В полярных морях поверхность покрыта льдом более 7 месяцев в году [1], что сильно затрудняет, а в ряде случаев делает невозможным непосредственный доступ к нефтяному пятну. Для ликвидации последствий аварийных разливов в МГУ им. адм. Г.И. Невельского предложена система подачи активного вещества (СПАВ) в зону загрязнения [2]. Схема системы представлена на рисунке 1. В качестве активных веществ могут подаваться специальные химические соединения, микроорганизмы, окислители, диспергенты, сорбенты и др.

В состав СПАВ входит: насос, смесительное устройство, трубопроводы, кран-распределитель, гибкий рукав, гидромонитор, подводное устройство-распылитель. Для ликвидации обнаруженного нефтяного пятна под воду (под ледовый покров, сплошной или битый) погружается подводное устройство – распылитель активного вещества 7. К нему от насоса 1 по трубопроводу 3 и гибкому рукаву 5, через кран-распределитель 4 поступает морская вода. Подводное устройство-распылитель является самоходным гидрореактивным устройством с двумя соплами [3]. Выпуск большого количества воды через сопла вызывает появление реактивной тяги и перемещение устройства-распылителя к нефтяному пятну. При достижении последнего подключается смесительное устройство и в поток морской воды вводится активное вещество. Подводный выпуск плавучего сорбирующего вещества позволяет провести сбор частиц нефти в тоще воды, на ее поверхности или подо льдом.

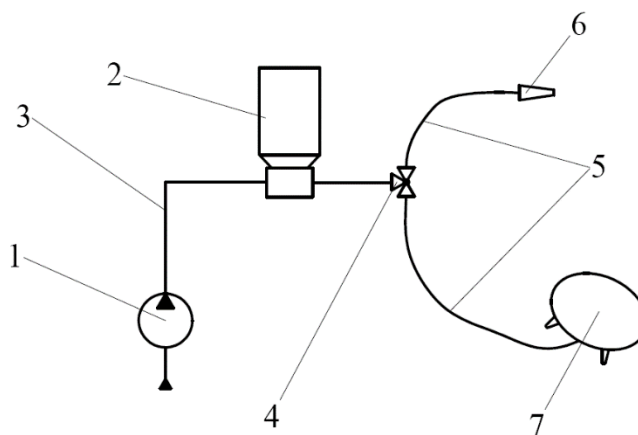


Рис. 1. Схема системы подачи активного вещества в зону загрязнения
 1 - насос, 2 - смесительное устройство, 3 - трубопровод, 4 - кран-распределитель,
 5 - гибкий рукав, 6 - гидромонитор, 7 - подводное устройство-распылитель

Fig. 1. The system for supplying an active substance to the contaminated zone diagram
 1 - pump, 2 – mixing unit, 3 - pipeline, 4 - distributor valve, 5 - flexible hose, 6 - hydromonitor,
 7 - underwater spray unit

Анализ различных вариантов активного вещества показал, что на первоначальном этапе обработки нефтяного пятна с помощью систем подобного типа предпочтительно использовать сорбент [4, 5] терморасщепленный графитовый (СТРГ). Если зона загрязнения не имеет ледового покрова и находится в пределах 20 – 25 м от гидромонитора 6, то кран-распределитель переключается на подачу пульпы с сорбентом через гидромонитор.

Как видно из конструкции СПАВ, основными ее ключевыми элементами являются смесительное устройство и подводное устройство–распылитель. Последнее в данной работе не рассматривается. После анализа особенностей, преимуществ и недостатков различных типов конструкции смесительного устройства был выбран вариант струйного эжектора.

Проектирование струйного смесителя - многоплановая междисциплинарная задача из областей гидромеханики, термодинамики, теоретической механики и экологии. Дополнительную сложность добавляют свойства сорбента марки СТРГ: 100%-ая плавучесть, олеофильность, химическая инертность, гидрофобность, размер расщепленных гранул от 1 до 2,5 мм, насыпная плотность до 12 кг/м³, высокая скорость сорбции - пленка нефти толщиной 3 мм адсорбируется на 99,5% за 10 с [5], сложная пространственная структура гранул сорбента. Для перемещения большого объема легких сыпучих веществ подобных СТРГ обычно используется пневмотранспорт. В нашем случае возникла необходимость ввести сорбент СТРГ в поток морской воды. В этом случае перемещаемое вещество оказывается более чем в 80 раз легче, чем транспортирующая среда.

Цель настоящей статьи – представить результаты исследования струйного смесителя для легкого сыпучего вещества и жидкости с большой разностью плотностей между ними.

В данное время методических рекомендаций по расчету параметров струйного смесителя для легкого сыпучего сорбента и воды нет. Соответственно, решение этой проблемы является актуальной.

Методика эксперимента

Экспериментальные исследования струйного смесителя проводились на модели, выполненной в масштабе 1:2. При работающем струйном смесителе из потока воды с сорбентом отбирались пробы объемом от 0,0005 до 0,0011 м³. Сразу после отбора определялся общий объем смеси. Методом фильтрования из общего объема отделялась вода и измерялся ее объем. Количество сорбента в пробе полученной пульпы определялось как разница общего объема и отфильтрованной воды. Серия экспериментов включала три последовательных этапа.

Первый: трехфакторные экспериментальные исследования влияния геометрических параметров струйного смесителя (длина входа сопла в приемную камеру, длина камеры смещения) и числа Рейнольдса на свойства струйного смесителя. Предварительно длина входа сопла в приемную камеру рассчитана с учетом данных представленных в [6, 7, 8].

Второй: исследование влияния формы сопла на свойства струйного смесителя с наиболее эффективным сочетанием геометрических параметров, выявленном на первом этапе. Сравнивались достигнутые значения параметров смесителей с круглым и щелевым соплами, учитывались данные как отечественных, так и зарубежных исследователей [9, 10,]

Третий: исследование влияния числа Рейнольдса на свойства струйного смесителя с плоским щелевидным соплом и наиболее эффективным сочетанием геометрических параметров, выявленном на первом этапе.

Первый этап.

Для определения наиболее эффективного сочетания геометрических параметров струйного смесителя и чисел Рейнольдса построена матрица планирования 3-х факторного эксперимента [11, 12, 13]. В качестве изменяемых факторов приняты:

X1 – число Рейнольдса в потоке активной жидкости (изменялось от 59000 до 66500, диаметр круглого сопла – 0,0055 м;

X2 – длина камеры смещения, изменялась в диапазоне от 0,024 до 0,145 м, диаметр камеры смещения 0,026м;

X3 – Длина входа сопла в приемную камеру, изменялось в диапазоне от 0,04 до 0,102 м, длина приемной камеры 0,105 м.

В предварительных опытах выявлено возникновение развитого сводообразования. Устранение этого явления обеспечено использованием вибрационного метода сводоразрушения.

Для уменьшения влияния внешней среды и неконтролируемых факторов внутри каждой серии опытов обход точек факторного пространства проводился случайным образом, т.е. рандомизировалась последовательность опытов [14, 15]. В соответствии с теорией планирования эксперимента назначена стандартная серия из 8 замеров [16, 13]. Матрица планирования представлена в табличной форме (табл. 1). Знак «+» соответствует максимальному значению указанного фактора, «-» – минимальному.

Таблица 1

Матрица эксперимента

Вариант сочетания факторов	Изменяемые факторы		
	X1 Число Рейнольдса (Re)	X2 Длина камеры смещения	X3 Длина входа сопла в приемную камеру
1	+	+	+
2	+	+	-
3	+	-	+
4	+	-	-
5	-	+	+
6	-	+	-
7	-	-	+
8	-	-	-

Результаты экспериментов по влиянию геометрических параметров струйного смесителя и числа Рейнольдса на свойства эжектора в соответствии с матрицей планирования эксперимента представлены в (табл. 2).

Таблица 2

Результаты измерения влияния геометрических параметров и числа Re активной жидкости на свойства струйного смесителя

Вариант сочетания факторов	Общий объем смеси, см ³	Объем воды, см ³	Объем сорбента, см ³	Объемное содержание сорбента, %	Среднее объемное содержания сорбента, ф, %
1	1098	986	112	10,2	10,85
	965	854	111	11,5	
	987	883	104	10,52	
	896	794	102	11,39	
	913	816	97	10,64	

2	826	690	136	16,46	15,79	
	650	558	92	14,15		
	917	760	153	16,76		
	987	837	150	15,16		
	864	722	142	16,42		
3	710	643	67	9,44	7,97	
	631	590	41	6,5		
	886	818	68	7,65		
	928	850	78	8,37		
	794	731	63	7,91		
	4	650	558	92	14,15	15,46
		913	760	153	16,76	
		938	799	139	14,84	
874		732	142	16,23		
862		730	132	15,31		
5	710	643	67	9,44	10,36	
	665	590	75	11,28		
	823	741	82	9,95		
	927	826	101	10,88		
	887	796	91	10,24		
6	570	507	63	11,05	12,22	
	583	505	78	13,38		
	794	701	93	11,73		
	662	577	85	12,83		
	726	637	89	12,31		
7	841	786	55	6,54	7,36	
	728	668	60	8,24		
	867	806	61	7,07		
	764	705	59	7,73		
	908	842	66	7,23		
8	713	661	52	7,29	8,80	
	728	653	75	10,3		
	836	765	71	8,45		
	891	809	82	9,24		
	754	688	66	8,73		

Второй этап

На втором этапе проводилось исследование влияния формы сопла на свойства струйного смесителя с наиболее эффективным сочетанием геометрических параметров, выявленном на первом этапе. Исследовалось два типа сопел – сходящееся коническое, диаметром на выходе – 0,0055 м и плоское щелевое с размерами 0,0015×0,016 м (площадью проходного сечения примерно соответствует коническому соплу – $2,4 \times 10^{-5} \text{ м}^2$). Продольное сечение щелевого сопла представлено на рисунке 2. Сопло изготовлено методом печати на 3D-принтере из пластика марки ABS. Внутренняя поверхность сопла дополнительно отшлифована.

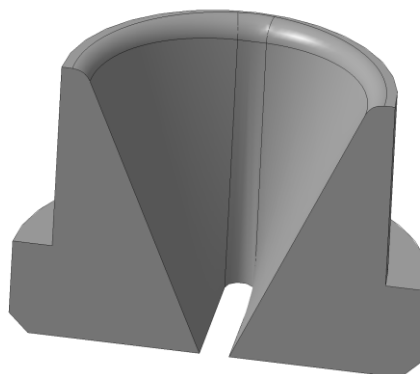


Рис. 2. Продольное сечение плоского щелевого сопла

Fig. 2. A flat slotted nozzle longitudinal section

При исследовании влияния формы сопла на свойства струйного смесителя использовалась пресная вода. Рабочая жидкость подавалась через сопла конической сходящейся формы и плоское щелевое. Замеры проводились на расходах с частичной подачей воды. Числа Рейнольдса для конического сходящегося и плоского щелевого сопел имели величины 58763 и 58874 соответственно. Для плоского щелевого сопла режим подобран близким к аналогичному с коническим сходящимся соплом. Данные замеров для конического сходящегося и плоского щелевого сопел представлены ниже (табл. 3).

Таблица 3

Влияния формы сопла на свойства струйного смесителя

Вариант сочетания факторов	Общий объем смеси, см ³	Объем воды, см ³	Объем сорбента, см ³	Объемное содержание сорбента, %	Среднее содержания сорбента, ф, %
Коническое сходящееся сопло при Re=58763					
1	989	879	110	12,51	14,61
2	965	854	111	13,00	
3	1084	930	154	16,32	
4	752	658	94	14,29	
5	895	768	127	16,54	
6	1135	985	150	15,23	
7	784	688	96	13,95	
8	1098	954	144	15,09	
9	874	765	109	14,25	
10	812	713	99	13,88	
Плоское щелевое сопло при Re=58874					
1	965	765	200	26,14	27,64
2	982	765	217	28,37	
3	976	752	224	29,79	
4	649	520	129	24,81	
5	746	587	159	27,09	
6	653	512	141	27,54	
7	587	453	134	29,58	
8	1132	875	257	29,37	

Вариант сочетания факторов	Общий объем смеси, см ³	Объем воды, см ³	Объем сорбента, см ³	Объемное содержание сорбента, %	Среднее содержания сорбента, ф, %
9	823	647	176	27,20	
10	854	675	179	26,52	

Третий этап

На третьем этапе исследовалось влияние числа Рейнольдса на свойства струйного смесителя. Испытывался смеситель с плоским щелевым соплом и наиболее эффективным сочетанием геометрических параметров, которое было выявлено на первом этапе. Подача рабочей жидкости осуществлялась с рядом частичных и максимальной подачами воды, числа Рейнольдса изменялись от 32456 до 66496. Результаты замеров параметров с плоским соплом и различными значениями числа Рейнольдса, представлены в табличном виде (табл. 4). Графическая зависимость содержания сорбента в водяной пульпе от числа Рейнольдса для плоского сопла представлена в виде графика на рисунке 3.

Анализ полученных результатов и выводы

В результате первого этапа экспериментальных исследований влияния геометрических параметров струйного смесителя и чисел Рейнольдса на содержание в полученной пульпе сорбента установлено, что наибольшее влияние оказывает длина входа сопла в приемную камеру. При минимальной величине данного параметра обеспечивается максимальная площадь контакта водяной струи с окружающим сорбентом. Максимальная величина среднего объемного содержания сорбента (ф) зафиксирована в 15,79 %.

При максимальных значениях Re среднее объемное содержания сорбента лежало в диапазоне от 7,36 до 10,85 %. При более низких величинах Re и равных прочих условиях содержание сорбента в пульпе зафиксировано в диапазоне от 8,80 до 15,79 %, что выше на 16 – 48 %.

Длина камеры смешения оказывает заметно меньшее влияние на эффективность захвата сорбента потоком жидкости.

Таблица 4

Результаты измерений влияния Re на свойства струйного смесителя

Re	Номер эксперимента										Среднее объемное содержание сорбента ф, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Объемное содержание сорбента, %										
66327	31,8	29,6	27,5	22,3	30,2	24,8	33,8	32,6	31,4	25,6	28,96
62456	32,5	34,8	31,2	34,2	37,7	31,2	32,5	36,8	38,2	32,1	34,12
58943	37,3	37,9	38,2	40,1	36,9	32,9	39,5	40,2	38,5	41,5	38,30
56325	41,2	38,9	39,2	37,6	41,3	35,8	34,6	43,8	44,2	39,9	39,65
51896	33,2	37,5	43,2	45,0	35,9	36,2	42,8	44,2	33,8	39,5	39,13
47891	35,8	37,5	37,5	35,8	38,6	36,9	36,8	41,7	35,9	36,7	37,32
43869	29,4	38,4	31,0	35,9	31,0	31,8	35,2	30,8	37,2	31,2	33,19

37342	21,5	25,7	23,2	29,5	21,8	21,5	26,5	20,6	25,3	27,5	24,31
32456	20,5	18,9	21,3	18,9	20,0	19,5	20,3	17,5	21,6	17,5	19,60

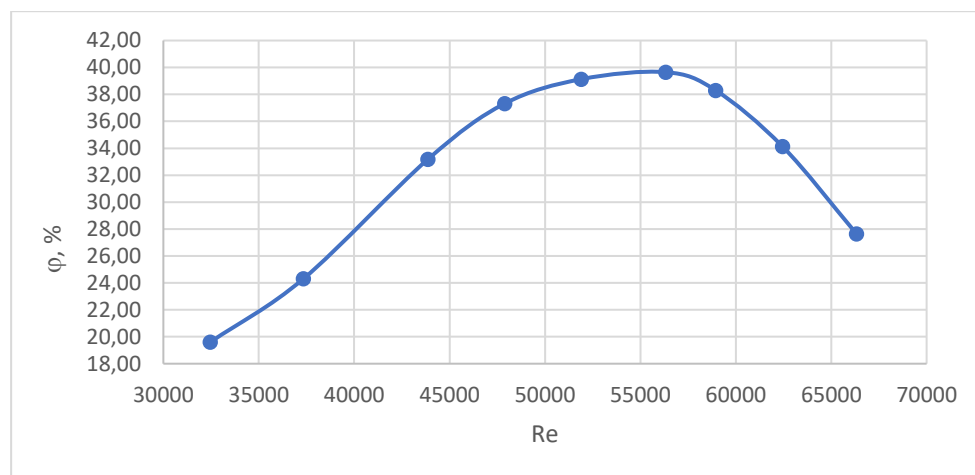


Рис.3. Содержание сорбента в пульпе в зависимости от числа Рейнольдса

Fig. 3. Sorbent content in the pulp depending on the Reynolds number

По результатам второго этапа можно сделать вывод, что по сравнению с коническим соплом использование плоского щелевого горизонтально ориентированного дает существенное увеличение среднего объемного содержания сорбента в пульпе. Так, при близких значениях чисел Рейнольдса (58763 и 58874) значение φ увеличилось на 89,2%, с 14,61% при использовании конического сходящегося сопла до 27,64% у плоского щелевого.

В результате третьего этапа экспериментальных исследований получена эмпирическая графическая зависимость содержания сорбента в пульпе от чисел Рейнольдса (рис. 3) для плоского щелевого сопла при наиболее благоприятном сочетании геометрических параметров струйного смесителя. Наиболее близкий к экспериментальным значениям результат аппроксимации данных получен при использовании полиномиальной зависимости четвертой степени, величина достоверности аппроксимации составила R2=0,9998:

$$\varphi = 5 \times 10^{-17} Re^4 - 1 \times 10^{-11} Re^3 + 9 \times 10^{-7} Re^2 - 0,0277 Re + 322,27$$

Максимальное значение аппроксимирующей зависимости достигается при числах Рейнольдса около 54000. При больших значениях Re наблюдается падение среднего объемного содержания сорбента в пульпе.

Заклучение

Полученные в результате исследования эмпирические зависимости и закономерности позволяют более точно решить частную задачу создания струйного смесителя для ввода в поток воды легкого сыпучего вещества - сорбента типа СТГ. Установлена необходимость обязательного применения устройства для разрушения свода в бункерном устройстве. На основе полученных данных запатентовано два технических решения, направленных на повышение объемного содержания сорбента в получаемой пульпе [17, 18].

Дальнейшие исследования направлены на более глубокий анализ полученных результатов, их использование для разработки новых технических решений.

Список литературы

1. Astafiev V.N., Truskov P.A., Polomoshnov A.M. Sea Ice Investigation on Sakhalin Offshore. Proc.5 International Symp.on Okhotsk Sea & Sea Ice. Mombetsu, Japan, 3-5 February 1990, pp.163-171.
2. Тюльканов А.К., Петрашев С.В., Моисеенко М.И., Перехода И.А., Куренский А.В. Новая судовая система как способ обеспечения экологической безопасности в условиях арктического шельфа // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2021. № 1(46). С. 63–69. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-6>
3. Пат. 144489U1, Российская Федерация, МПК E02B 15/04, E02B 15/10. Устройство для подводного введения сорбента / Петрашёв С.В., Городников О.А., Монинец С.Ю.; заявитель и патентообладатель Монинец С.Ю. (RU). – № 2013147318/13; заявл. 09.01.2014; опубл. 20.08.2014 Бюл. № 23.
4. The use of sorbents in oil spill response, technical information document. ITOPF Ltd. Produced by Impact PR & Design Limited. Canterbury, UK, 2012.
5. ТУ 2164-001-05015070-97 «Сорбент терморасщепленный графитовый».
6. Темнов В. К. О влиянии положения сопла на характеристики жидкостного эжектора /Известие вузов. Сер. Машиностроение. - 1975.
7. A. A. A. Sheha, M. Nasr, M. A. Hosien, E. M. Wahba. Computational and Experimental Study on the Water-Jet Pump Performance/ Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 11, No. 4, pp. 1013-1020, 2018. Available online at www.jafmonline.net, ISSN 1735-3572, EISSN 1735-3645. DOI: 10.29252/jafm.11.04.28407
8. R Yapıcı, K Aldas. Optimization of water jet pumps using numerical simulation. Journal of Power and Energy Part A: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2013 227: 438 originally published online 4 June 2013. DOI: 10.1177/0957650913487529
9. Yukitaka Yamazaki, Atsushi Yamazaki, Tadashi Narabayashi, Junya Suzuki, Toshihiko Shakouchi. Studies on Mixing Process and Performance Improvement of Jet Pumps (Effect of Nozzle and Throat Shapes)/ Journal of Fluid Science and Technology, Vol.2, No.1, 2007, p.238-247. DOI: 10.1299/jfst.2.238
10. Битюцких С.Ю. Исследование и расчет гидроструйного насоса-смесителя: дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2018. 161 с.
11. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ. Многофакторная регрессия. Оренбург, ГОУ ВПО ОГУ, 2003.
12. Miryam Barad. Design of Experiments (DOE)—A Valuable Multi-Purpose Methodology. Applied Mathematics, 2014, 5, p. 2120-2129. Published Online July 2014 Applied Mathematics, 2014, 5, 2120-2129 Published Online July 2014 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/am> <http://dx.doi.org/10.4236/am.2014.514206> DOI: 10.4236/am.2014.514206
13. Mubashir Siddiqui, Kai Yang Adaptive sequential experimentation technique for 3 factorial designs based on revised simplex search/ International Journal of Experimental Design and Process Optimisation, 2010 Vol.1 No.4, pp.296 – 314 DOI: 10.1504/IJEDPO.2010.034987
14. Батурина Н.Ю. Автоматизация планирования эксперимента // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 11–4(53). С. 14–17.
15. Simon T. Bate, Marion J. Chatfield. Identifying the Structure of the Experimental Design/ Journal of Quality Technology, Volume 48, 2016 p.p. 343-364. / Published online: 21 Nov 2017 DOI:10.1080/00224065.2016.11918173
16. Рудакова Т.И., Осинцев Е.Г., Осинцева Д.В. Методика планирования эксперимента и обработка статистических данных // Инновационные технологии в подготовке современных профессиональных кадров: опыт, проблемы: сб. науч. тр. Челябинск: Изд-во Челябинского филиала РАН-ХиГС, 2016. С. 115–120.
17. Пат. 2680079 С1, Российская Федерация, МПК B01F 3/12 B01F 5/04. Смесительная установка струйного типа / Петрашёв С.В., Тюльканов А.В., Самойленко Ю.Р.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС (RU). – № 2018106217; заявл. 19.02.2018; опубл. 14.02.2019, Бюл. № 5.
18. Пат. 2722993 С1, Российская Федерация, МПК B01F 3/12. Смесительная установка струйного типа с кольцевым соплом/ Петрашёв С.В., Тюльканов А.В., Гриванова О.В.,

Моисеенко М.И.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС (RU). – № 2019143536.; заявл. 20.12.2019; опубл. 05.06.2020 Бюл. № 16

References

1. Astafiev V.N., Truskov P.A., Polomoshnov A.M. Sea Ice Investigation on Sakhalin Offshore. Proc.5 International Symp.on Okhotsk Sea & Sea Ice. Mombetsu, Japan, 3-5 February 1990, pp.163-171.
2. Tulkanov A.K., Petrashev S.V., Moiseenko M.I., Perekhoda I.A., Kurenskiy A.V. Novaya sudovaya sistema kak sposob obespecheniya ehkologicheskoi bezopasnosti v usloviyakh arkticheskogo shel'fa [New ship system as a way to ensure environmental safety in the Arctic shelf]// Vestnik Inzhenernoi shkoly DVFU [FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN]. 2021. № 1(46). pp. 63–69. (In Russ.). DOI: 10.24866/2227-6858/2021-1-6
3. Patent 144489U1, Russia, IPC E02B 15/04, E02B 15/10. Ustroistvo dlya podvodnogo vvedeniya sorbenta [Device for underwater injection of sorbent] / Petrashev S.V., Gorodnikov O.A., Moninets S.Yu.; applicant and patentee Moninets S.Yu. (RUS). – № 2013147318/13; announced 09.01.2014; published 20.08.2014 Bulletin No. 23. (In Russ.).
4. The use of sorbents in oil spill response, technical information document. ITOPF Ltd. Produced by Impact PR & Design Limited. Canterbury, UK, 2012.
5. TU 2164-001-05015070-97. Sorbent termorasscheplynniy grafitovyy [Thermally-split graphite sorbent]. (In Russ.).
6. Temnov V. K. O vliyaniy polozeniya sopla na kharakteristiki zhidkostnogo ehzhektora.[On the influence of the position of the nozzle on the characteristics of a liquid ejector] / Izvestie vuzov. Ser. Mashinostroenie. [News of universities. Ser. Mechanical engineering]. - 1975. (In Russ.).
7. A. A. A. Sheha, M. Nasr, M. A. Hosien, E. M. Wahba. Computational and Experimental Study on the Water-Jet Pump Performance/ Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 11, No. 4, pp. 1013-1020, 2018. Available online at www.jafmonline.net, ISSN 1735-3572, EISSN 1735-3645. DOI: 10.29252/jafm.11.04.28407
8. R Yapici, K Aldas. Optimization of water jet pumps using numerical simulation. Journal of Power and Energy Part A: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2013 227: 438 originally published online 4 June 2013. DOI: 10.1177/0957650913487529
9. Yukiitaka Yamazaki, Atsushi Yamazaki, Tadashi Narabayashi, Junya Suzuki, Toshihiko Shakouchi. Studies on Mixing Process and Performance Improvement of Jet Pumps (Effect of Nozzle and Throat Shapes)/ Journal of Fluid Science and Technology, Vol.2, No.1, 2007, p.238-247. DOI: 10.1299/jfst.2.238
10. Bityutskikh S.Y. Issledovanie i raschet gidrostruinoogo nasosa-smesitelya [Research and calculation of a hydraulic jet pump-mixer]: dis. Cand. tech. sciences. Chelyabinsk, 2018. p. 161. (In Russ.).
11. Shashkov V.B. Prikladnoi regreSSIONnyi analiz. Mnogofaktornaya regreSSION. [Applied regression analysis. Multifactors regression]. Orenburg, Orenburg State University, 2003. (In Russ.).
12. Miryam Barad. Design of Experiments (DOE)—A Valuable Multi-Purpose Methodology. Applied Mathematics, 2014, 5, p. 2120-2129. Published Online July 2014 Applied Mathematics, 2014, 5, 2120-2129 Published Online July 2014 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/am> <http://dx.doi.org/10.4236/am.2014.514206> DOI: 10.4236/am.2014.514206
13. Mubashir Siddiqui, Kai Yang Adaptive sequential experimentation technique for 3 factorial designs based on revised simplex search/ International Journal of Experimental Design and Process Optimisation, 2010 Vol.1 No.4, pp.296 – 314 DOI: 10.1504/IJEDPO.2010.034987
14. Baturina N.Y. Avtomatizatsiya planirovaniya ehksperimenta [Automation of planning of eksperimen] // International Research Journal. 2016. № 11–4(53). pp. 14–17. (In Russ.). DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.161
15. Simon T. Bate, Marion J. Chatfield. Identifying the Structure of the Experimental Design/ Journal of Quality Technology, Volume 48, 2016 p.p. 343-364. / Published online: 21 Nov 2017 DOI:10.1080/00224065.2016.11918173
16. Rudakova T.I., Osintsev E.G., Osintseva D.V. Metodika planirovaniya ehksperimenta i obrabotka statisticheskikh dannykh [Methods of experimental design and processing of statistical DAT] // Innovatsionnye tekhnologii v podgotovke sovremennykh professional'nykh kadrov: opyt, problem [Innovative technologies in the preparation of today's professionals: experience, problems.] Collected academic works. - Chelyabinsk: Chelyabinsk branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 2016. - pp. 115–120. (In Russ.). ISBN 978-5-91970-052-4]

17. Patent 2680079 C1, Russia, IPC B01F 3/12 B01F 5/04. Smesitel'naya ustanovka struinogo tipa s kol'tsevym soplom [Mixing plant of jet type] / Petrashev S.V., Tyulkanov A.V., Samoilenko Yu.R. ; applicant and patentee Vladivostok State University of Economics and Service (RUS). - No. 2018106217; announced 02/19/2018; published 02/14/2019, Bulletin No. 5. (In Russ.).

18. Patent 2722993 C1, Russia, IPC B01F 3/12. Smesitel'naya ustanovka struinogo tipa s kol'tsevym soplom [A jet-type mixing plant with an circular nozzle] / Petrashev S.V., Tyulkanov A.K., Grivanova O.V., Moiseenko M.I. ; applicant and patentee Vladivostok State University of Economics and Service (RUS). - No. 2019143536, announced 12/20/2019; published 06/05/2020 Bulletin No. 16. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Тюльканов Артур Константинович, ведущий специалист по мультимодальным перевозкам, ООО ВСК, г. Владивосток, e-mail: saint_sus25@mail.ru

Artur K. Tyulkanov, leading specialist in multimodal transportation, VOK Ltd, Vladivostok, Russia, e-mail: saint_sus25@mail.ru

Петрашев Сергей Владимирович, к.т.н., доцент, профессор кафедры теории и устройства судна, МГУ им. адм. Г.И. Невельского. г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, e-mail: petrashov@msun.ru

Sergey V. Petrashev, PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Theory and Vessel Construction Department, Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi. 690059, 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, Russia, e-mail: petrashov@msun.ru

Панасенко Андрей Александрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации автоматизированных судовых энергетических установок МГУ им. адм. Г.И. Невельского. г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, e-mail: AAPanasenko@msun.ru

Andrey A. Panasenko, PhD in Engineering Science, Associate Professor of Ship's Power Plants Automation Department, Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi. 690059, 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, Russia, e-mail: AAPanasenko@msun.ru

Моисеенко Михаил Игоревич, аспирант кафедры теории и устройства судна, МГУ им. адм. Г.И. Невельского. г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, e-mail: misha.moiseenko.94@mail.ru

Mikhail I. Moiseenko, Postgraduate Student of the Theory and Vessel Construction Department, Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi. 690059, 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, Russia, , e-mail: misha.moiseenko.94@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА ТРАНСПОРТЕ

ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT

УДК 656.62: 338

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.208>

Многофункциональные грузопассажирские линии: предпосылки, история, перспектива и технологические особенности новых концептов

Е. В. Зарецкая¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1116-5500>

С.Г. Митрошин²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9880-6720>

¹*Академии Водного транспорта Российской университет транспорта, г. Москва, Россия*

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

Аннотация. Задача включения внутреннего водного транспорта в мультимодальные транспортные схемы доставки грузов и пассажиров сегодня приобретает особую актуальность, что обуславливает необходимость поиска адекватных транспортно-технологических решений. В статье рассматриваются основные вызовы и тенденции, связанные с итогами работы мирового и отечественного судоходства за 2020 год. На основании анализа отечественного и иностранного опыта рассматриваются преимущества современной модификации концепции, прекрасно зарекомендовавшей себя ещё с конца 19 века «товаропассажирского» судна с использованием горизонтальной загрузки. По мнению авторов, внедрение многофункциональных паромно-транспортных логистических систем будет способствовать постепенной интеграции реки в систему доставки высокотарифицированных грузов, возвращая автотранспорт в сезон пиковых нагрузок в присущий ему сегмент перевозок средней дальности.

Ключевые слова: грузовые и пассажирские перевозки по внутренним водным путям, грузопассажирские паромы, инновационные мультимодальные транспортно-логистические технологии, грузопассажирская многофункциональная (гибридная) линия.

Multifunctional cargo and freight lines: prerequisites, history, perspectives and technological highlights of new concepts

Ekaterina V. Zaretskaya¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1116-5500>

Sergey G. Mitroshin²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9880-6720>

¹*Academy of water transport, Russian University of Transport (MIIT) Moscow, Russia*

²*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The task of including internal water transport into multimodal transport schemes of freight and passenger transportation is of particular relevance today, which necessitates the need for the search of adequate transport and technological solutions. The article deals with the main challenges and trends associated with the results of the international and domestic shipping in 2020. Based on the analysis of domestic and foreign experience the article deals with the advantages of the modern concept modification of the “cargo and passenger” ship with horizontal loading which has proven itself well since the end of the 19th century. According to the authors the introduction of multifunctional ferry und transport logistics systems will contribute to the gradual integration of the river into the delivery process of high-rate cargo, returning vehicles during the peak season to its inherent medium-haul segment.

Keywords: cargo and passenger transport on internal water ways, cargo and passenger ferries, innovative multimodal transport and logistical technologies, cargo and passenger multifunctional (hybrid) line.

Введение

Итоги работы мирового и отечественного судоходства за 2020 год требуют всестороннего анализа динамично меняющихся структуры и географии перевозок как грузов, так и пассажиров, а также требований к уровню транспортно-логистического сервиса. Пандемия, усугубившая системные проблемы и тенденции последних десятилетий, обострила наиболее болезненные точки мирового и отечественного судоходства и ужесточила межвидовую конкуренцию. Среди наиболее значимых следует отметить жесточайшую борьбу за продолжающиеся расти, причём, в том числе и за счёт массовых грузов, контейнеризированные грузопотоки и жесточайший кризис круизного рынка. В этой связи особенную актуальность приобретает поиск адекватных технологических решений по интеграции внутреннего водного транспорта в существующие мультимодальные транспортные схемы доставки грузов и пассажиров и новых форм участия в развивающемся внутреннем туристическом рынке, что и является целью данного исследования.

В качестве рабочей гипотезы рассматривается перспектива создания на внутренних водных путях РФ многофункциональных паромно-транспортных логистических систем. Объектом исследования выступает разнообразный отечественный и иностранный опыт организации морских и речных грузопассажирских перевозок. Предметом исследования является поиск оптимальных технологических решений, реализация которых будет востребована отечественными судоходными компаниями.

На основании анализа отечественного и иностранного опыта предлагается рассмотреть наиболее перспективные с точки зрения заполняемости городские, пригородные и межрегиональные маршруты и возможные модификации судов с горизонтальной загрузкой. Также важно определить роль и место специализированных контейнерных и пассажирских логистических систем в сравнении с рассматриваемой многофункциональной грузопассажирской паромно-транспортной логистической системой.

Итоги работы 2020 года и основные тренды мирового и отечественного судоходства

Итоги непростого для всех отраслей 2020 года не стали исключением для российской транспортной отрасли, показавшей 6% снижение суммарного объема грузоперевозок до 7,8 млрд. тонн⁴.

При этом сокращение объема перевозок в сравнении с 2019 годом было отмечено на всех видах транспорта, включая трубопроводный (8,4%). Исключением стали морской, увеличивший объем перевезенных грузов на целых 32,8% (по некоторым источникам более 40%), до 24,6 млн. тонн и воздушный транспорт, показавший рост 2,2% до 1,16 млн.⁴

Сокращение объема грузоперевозок, прежде всего можно связать с уменьшением спроса на нефть и нефтепродукты, наблюдавшееся в 2020 году как со стороны внутреннего рынка, так и внешнего. Также из-за глобальной пандемии усугубилась тенденция к снижению транспортировки нефтеналивных грузов, влияющая на мировое судоходство на протяжении последних 10 лет. Это отразилось и на отечественном водном транспорте, показавшем 10% падение объема перевалки наливных грузов (416,1 млн. тонн) в морских портах и сокращение их перевозки по внутренним водным путям на 14% (1,04 млн. тонн)^{5,6}, чему также способствовало «маловодье» на Нижнем Дону [1].

А вот действующий так же давно мировой тренд на рост доли сухих грузов, основными из которых (40%) являются железная руда, зерно, уголь и (25,8%) сталь, дерево, цемент, сахар⁷, напротив, вместе с ростом портовых перегрузочных мощностей, достигших 32,6 млн. тонн³, обеспечили значительное увеличение объема отечественных морских перевозок.

Объем перевалки сухогрузов в российских портах вырос на 7,6% до 404,7 млн. тонн, из которых прирост угля составил 7,1% (188,6 млн. тонн), зерна - 30,3% (50,3 млн. тонн), а руды 47,8% (13,2 млн. тонн).⁸ Рост объемов перевозки этих же грузов по внутренним водным путям также увеличился (зерновые на 13,8% до 916,1 тыс. тонн, металлы и руды - 17,5%, до 500 тыс. тонн)⁶, немного улучшив итоговые показатели работы речного транспорта и нивелировав снижение объема перевозки нефтеналивных грузов (-14%, до 1,04 млн. тонн).^{9,10} По данным Росстата снижение

⁴ Статистика Росстат, Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://rosstat.gov.ru>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

⁵ Обзор перевозок грузов и пассажиров внутренним водным транспортом России за 2019, ОАО «Морцентр ТЭК», Москва 2020

⁶ Доклады, отчеты, обзоры, статистическая информация, Официальный сайт Федерального агентства Морского и Речного транспорта (Росморречфлот) [Электронный ресурс] Режим доступа - <http://morflot.gov.ru/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

⁷ Обзор морского транспорта 2019, Review of Maritime Transport 2019 [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2019>

⁸ Грузооборот морских портов России за 12 месяцев 2020 года, [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-12-mesyacev-2020-goda>, свободный (дата обращения 20.03.2021)

⁹ Обзор перевозок грузов и пассажиров внутренним водным транспортом России за 2019, ОАО «Морцентр ТЭК», Москва 2020

¹⁰ Доклады, отчеты, обзоры, статистическая информация, Официальный сайт Федерального агентства Морского и Речного транспорта (Росморречфлот) [Электронный ресурс] Режим доступа - <http://morflot.gov.ru/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

объёма перевозки по внутренним водным путям составило 7,8% (99,3 млн. тонн) по сравнению с показателем 2019 года.¹¹

Важно отметить ещё один тренд мирового судоходства, имеющий большое влияние не только на российский транспортный рынок и отечественное судоходство, но и на экономику в целом. Ситуация с морским фрахтом на контейнеры ещё раз показала степень зависимости и уязвимости экономики от мирового фрахтового рынка и в частности - от линейного судоходства. В настоящее время 24% мировых морских перевозок приходится на товары в контейнерах.¹²

И ещё, упомянутые выше, сталь, дерево, цемент и сахар, на которые сегодня приходится 25,8% от общего объёма перевозимых мировым флотом сухогрузов, и даже зерно имеют устойчивую тенденцию к контейнеризации.⁹ Эта тенденция в полной мере касается и отечественного транспортного рынка. По различным оценкам доля перевозки насыпных грузов в контейнерах в мире составляет от 3 до 5%, а на российском транспортном рынке она не превышает 1%. Однако все эксперты сходятся во мнении, что этот сегмент продолжит расти.¹³

Технологии перевозки зерна в контейнерах, используемые в портах Дальневосточного бассейна и на Балтике, распространяются на транспортировку удобрений, цемента, кокса, глинозёма и серы, сахара, соли, шрота и пр. «Все новые и новые компании переходят на логистику в контейнерах. В 2020 году наиболее ярко эта тенденция проявилась на рынке стальной продукции, объём перевозок вырос почти в два раза – до 110 тысяч TEU. Помимо металлургической отрасли контейнеризация наблюдалась и у производителей леса, причём необработанного».¹⁰

Печальным итогом 2020 года стала «беспрецедентная дестабилизация торговли вследствие пандемии covid-19 и сокращение глобального рынка морских перевозок на 4,1%».¹⁴ Кроме того меры, принятые линейными операторами для защиты своих интересов, привели к кратному повышению фрахта на перевозку контейнеров. Эксперты отмечают, что «covid-19 ударил по мировой торговле тогда, когда рынок уже был ослаблен её неблагоприятными условиями в 2019 г., в том числе усилением торговых и политических противоречий между Китаем и США, и в целом усилением политики протекционизма»¹⁵, что вероятно продолжится.

Несмотря на устойчивый рост линейного судоходства (с 1980 года по 2018 год доля морских контейнерных перевозок увеличилась на 8%, достигнув общего объёма более 152 млн. TEU,^[2]) усиление конкуренции заставляет крупнейших игроков рынка, терминальных и линейных операторов вновь пересматривать свои стратегии развития. Приоритеты смещаются в сторону логистики. Эта тенденция обуславливает растущий интерес к фидерным операциям, что подтверждается усилением спроса на строительство небольших фидерных контейнеровозов и регистрацией новых фидерных линий, в том числе с заходом в российские порты.

¹¹ Статистика Росстат, Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://rosstat.gov.ru>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

¹² Обзор морского транспорта 2019, Review of Maritime Transport 2019 [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2019>

¹³ Итоги 2020 года: Контейнерный рынок России – рост несмотря на снижение экономики [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://www.fesco.ru/ru/press-center/blog/itogi-2020-goda/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

¹⁴ Доклада о торговле и развитии" Конференции ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД) [Электронный ресурс] Режим доступа - https://unctad.org/system/files/official-document/tdr2020overview_ru.pdf свободный (дата обращения 28.03.2021)

¹⁵ Доклада о торговле и развитии" Конференции ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД) [Электронный ресурс] Режим доступа - https://unctad.org/system/files/official-document/tdr2020overview_ru.pdf свободный (дата обращения 28.03.2021)

Также с целью повышения качества и оптимизации издержек линейные операторы распространяют свои сервисы не только на море, но и на суше. «Например, «Maersk», у которого 80% перевозок приходится на контейнеры, намерены достичь показателя 50/50 по морским и сухопутным сервисам» [2]. В частности, «Трансконтейнер» и «Maersk» присоединились к запущенному летом 2019 года FESCO совместно с «РЖД Логистикой» сервису Trans-Siberian LandBridge. Этот маршрут проходит из Азии в Европу через порты Дальнего Востока и Транссибирскую магистраль. По итогам 2020 года, объем транзита Азия – Дальний Восток России – Европа составит более 8 тысяч TEU.»¹⁶

Таким образом, сильнейшая конкуренция на морском контейнерном рынке в условиях пандемии обострила и межвидовую конкуренцию. После пятилетнего роста объема перевалки грузов в контейнерах в российских портах, темп которого, начиная с 2014 года не был ниже 10% в год и 15-ти процентного роста в 2017 году, можно отметить его снижение. В 2019 году объем перевалки контейнеров вырос в сравнении с предыдущим 2018 годом всего на 4,8% и составил 5,3 млн. TEU. В том же 2019 году увеличилось количество гружёных контейнеров на 4,5% до 4 млн. TEU и сократилось количество порожних на 5,5%. Увеличение контейнеров в транзитном направлении составило 7,7% до 105,5 тыс. TEU, а в экспортном и импортном 4,1 и 5,6% соответственно¹⁷. В 2020 году объем перевалки контейнеров увеличился только на 2,3%.¹⁸

Важно отметить, что на железной дороге в 2020 году при замедлении макроэкономических параметров российский контейнерный рынок показал положительную динамику. «Объем импорта через Дальний Восток по итогам 11 месяцев 2020 года составил 514 тысяч TEU, увеличившись на 11%, в то время как в Санкт-Петербурге грузовая база сократилась на 8% – до 904 тысяч TEU»¹⁹.

По прогнозам аналитиков, «уже в 2021 году рынок морских перевозок полностью восстановится и вернётся к росту (+4,8%)» [2]. При этом глобальные мощности контейнерного флота продолжают расти, его совокупная вместимость на конец марта 2020 года составила 23,3 млн. TEU, что на 3,6% больше, чем на конец 1-го квартала 2019 года [2].

Сможет ли российский транспортный комплекс использовать свои преимущества и стать востребованной и конкурентоспособной частью мирового транспортного рынка или хотя бы снизить транспортную зависимость от иностранных перевозчиков? История знает множество примеров, когда с помощью нового маршрута или ставок фрахта менялась структура и география международной торговли, каждый новый век, подтверждая геополитическое значение транспорта или сформулированный ещё во времена географических открытий тезис о том, что «кто владеет морем, владеет миром».

В этой связи уместно вспомнить развиваемый сегодня как альтернативный международный транспортный коридор проект Северного морского пути, по которому в 2020 году было перевезено 32 млн. тонн грузов, а к 2025 году планируется

¹⁶ Итоги 2020 года: Контейнерный рынок России – рост несмотря на снижение экономики [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://www.fesco.ru/ru/press-center/blog/itogi-2020-goda/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

¹⁷ Доклады, отчеты, обзоры, статистическая информация, Официальный сайт Федерального агентства Морского и Речного транспорта (Росморречфлот) [Электронный ресурс] Режим доступа - <http://morflot.gov.ru/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

¹⁸ Обзор морского транспорта 2019, Review of Maritime Transport 2019 [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2019>

¹⁹ Итоги 2020 года: Контейнерный рынок России – рост несмотря на снижение экономики [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://www.fesco.ru/ru/press-center/blog/itogi-2020-goda/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

80 млн. тонн, в том числе 43 млн. тонн в контейнерах²⁰. Ещё более амбициозную задачу ставит Иран, имеющий намерение начать строительство на своей территории канала протяжённостью 600 километров, соединяющего Каспийское море с Персидским заливом.

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 предусматривает развитие отечественного транспортного комплекса с учётом обозначенных вызовов и действующих тенденций как неотъемлемой части мировой транспортной системы, способной подстроиться под её меняющиеся запросы. И как уже было отмечено, без реализации инфраструктурных проектов и внедрения транспортно-технологических решений, способных увеличить участие отечественных перевозчиков в транспортировке хотя бы собственных контейнеризованных грузов вопрос экономической безопасности не будет решён.

Мировой и отечественный флот в доставке контейнеров

Внешнеторговые и транзитные грузы в контейнерах по большей части завозятся на территорию РФ через морские порты Северо-Западного, Южного и Дальневосточного бассейнов. На всех направлениях к 2016 году работало порядка 394 судов на 108 морских линий, поддерживаемых 89 операторами²⁰. За последующие четыре года отечественными и иностранными операторами было зарегистрировано ещё более 10 морских контейнерных, паромных и др. линий.

Основными портами захода для контейнерных линий являются Санкт-Петербург – 2,2 млн. TEU (доля в общем контейнерообороте составляет 42%), Владивосток – 1,1 млн. TEU (доля – 20%), Новороссийск – 768 тыс. TEU (доля – 4,5%), Восточный – 395 тыс. TEU (доля – 7,4%) и Калининград – 320 тыс. TEU (доля – 6%).¹⁷

Из портов контейнерные грузы через логистические центры доставляются железнодорожным, а чаще - автомобильным транспортом по регионам страны. Несмотря на географическое положение, обеспечивающее внутренним водным путям РФ значительную роль в транспортировке как межрегиональных и международных, так и транзитных грузопотоков в рамках международных транспортных коридоров, вовлечённость речных судоходных компаний в мультимодальные схемы доставки ничтожно мала (контейнерные перевозки составляют 0,8% в структуре перевозок внутреннего водного транспорта).¹⁷ Причём значительная часть этих перевозок приходится на доставку генеральных грузов в нестандартных архаичных контейнерах в рамках северного завоза. И пока речные судоходные компании ведут межвидовую конкурентную борьбу за свои традиционные массовые грузы, новые транспортные технологии и требования логистического рынка разукрупняют судовые партии, ещё больше сокращая их грузовую базу.

Такая ситуация противоречит современному мировому и отечественному историческому опыту. Современный опыт европейских стран, США и КНР показывает, что маршруты с участием водного транспорта, позволяющие снизить непроизводительные издержки, сегодня максимально отвечают запросам растущих требований клиентов транспортного рынка.

По рекам стран ЕС ежегодно перевозится до 560 млн. тонн грузов, 40% из которых приходится на внутреннее сообщение, а 60% на внешнеторговые перевозки. Стоит отметить, что по рекам США, включая Великие Озера перевозят порядка 600

²⁰ Доклады, отчеты, обзоры, статистическая информация, Официальный сайт Федерального агентства Морского и Речного транспорта (Росморречфлот) [Электронный ресурс] Режим доступа - <http://morflot.gov.ru/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

млн. тонн, а в 1990 году советскими речными пароходствами было перевезено 562 млн. тонн грузов.²¹

В среднем доля участия внутреннего водного транспорта стран ЕС в грузоперевозках составляет 10%²². «На внутренний водный транспорт приходится существенная доля от общего объема перевозок там, где существует доступ к рекам и каналам» [3]. Например, «в Нидерландах, в сегменте контейнерных перевозок на национальные внутренние водные пути приходится 40% перевозок». ¹⁹

Упомянутая выше жёсткая конкуренция за контейнерные грузопотоки вместе с серьёзными инфраструктурными проектами по наращиванию портовых перегрузочных мощностей и провозной способности мирового контейнерного флота фокусируют внимание линейных операторов на усилении сервиса и доставки до места назначения. В этой связи всё большее значение приобретают региональные терминалы, часто расположенные в устьевых портах, а также цены на стивидорные операции.

Линейные операторы создают собственные терминалы не только в магистральных, но и в фидерных портах, что усиливает контроль над всей цепью поставок, развивая магистрально-фидерные системы вглубь, в том числе и с участием внутренних водных путей. В такие крупнейшие порты Евросоюза как Роттердам (11,6 млн. TEU), Гамбург (9,3 млн. TEU) и Антверпен (8,6 млн. TEU) примерно треть от общего числа контейнеров доставляется по внутренним водным путям. К 2050 году доля участия речников в интермодальных транспортных схемах должна составить более половины. Уже сейчас до таких портов как Киль, Дуйсбург, Страсбург, Париж, Лион и пр. от 14 до 40% морских контейнеров доставляются по рекам, а до Франкфурта, Мангейма, Ганновера, Лиля, Базеля и пр. их количество варьирует от 50 до 100% [4].

Эту же тенденцию можно наблюдать во вступившем в конкурентную борьбу за контейнерные грузопотоки Средиземноморско-Черноморском бассейне; некоторые порты Чёрного моря постепенно становятся региональными узловыми портами. Например, в порту Новороссийск уже реализован проект по строительству глубоководного причала, правда, дальнейшие внутренние перевозки контейнеров осуществляются сухопутным транспортом. Другой пример - порт Констанца, он также выступает в качестве хаба магистрального линейного маршрута для транзитных грузов, следующих в страны Центральной Европы, куда они доставляются уже баржами по Дунаю. Прорабатывается проект создания фидерной линии по Днепру.

Европейские транспортно-технологические инновации, интегрирующие реку в интермодальные логистические системы, сумели повторить в Китае, но увеличив при этом их объём на порядок. Ускоренное развитие мультимодальных перевозок и современной логистики в КНР так же, как и в ЕС стали возможными благодаря системной плановой работе, проводимой и в значительной мере финансируемой государством. В настоящее время ежегодный объём перевозок речными судами внутреннего плавания приближается к 4 миллиардам тонн, из которых только по магистральной линии реки Янцзы перевозится 2,39 миллиарда тонн. Контейнерооборот только речных портов Янцзы, включая внутренние и

²¹ Эксперт назвал пять главных достижений Китая в сфере развития ВВТ, материалы вебинара Г.В. Егорова/ PortNews [Электронный ресурс] Режим доступа-<https://portnews.ru/news/306586/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)

²² Материалы доклада Г.В. Егорова на - четвертом вебинаре ИАА "Речной флот Европы. Что полезно для нас или как люди зарабатывают?" "ПортНьюс" (о море) Режим доступа - [Электронный ресурс] <http://www.meb.com.ua/news/newsarch.html> свободный (дата обращения 28.03.2021)

магистральные порты, к 2018 году превысил 36 млн.¹⁹ Сегодня КНР не просто занимает первое место в мире по объёму речных перевозок. При ведущих речных портах созданы специализированные причалы, имеется оборудованная портовая территория со значительными площадями, используются новейшие информационные технологии и создаются условия для дальнейшего роста. В частности, существует ограничение по номенклатуре грузов, перевозимых в контейнерах на автотранспорте. Быстро развиваются и наращивают объёмы передовые логистические решения, такие как интермодальные железнодорожно-речные перевозки и бесперевалочные перевозки река-море. Объем перевозок грузов в сообщении река-море достиг 1,7 млрд. тонн, а объем интермодальных перевозок - 202 тыс. TEU.¹⁹

Осмысление итогов насыщенного событиями, основным из которых стал covid-19, 2020 года выдвинуло на первый план тему диверсификации производства и поставщиков сырья и комплектующих. «Пандемия привлекла внимание к теме сокращения цепочки поставок за счет переноса производства ближе к потребителю, сокращение зависимости от модели поставок «точно в срок» и модели «бережливого производства» в пользу более гибких концепций.²³ Таким образом, по мнению аналитиков, скорость доставки уходит на второй план, уступая место сокращению издержек, ритмичности, предсказуемости, гибкости и вариативности. Таким требованиям в большей мере соответствуют логистические системы с участие водного транспорта.

Стратегия развития Внутреннего Водного транспорта РФ до 2030 предусматривает, что доля контейнеров в структуре перевозок водного транспорта должна увеличиться до 6,3%. В тоже время по экспертным оценкам доля его участия в освоении контейнерных грузопотоков между морскими портами Балтийского и Азово-Черноморского бассейнов и регионами европейской части РФ, тяготеющими к ЕГС, может составить до 9%.²⁴

Перспектива интеграции отечественных внутренних водных путей в доставку контейнеров и многофункциональные паромно-транспортные логистические системы

Приходится признать, что обособленность из-за ориентированности на традиционные технологии перевозки массовых грузов, часто связанные с необходимостью их концентрации в порту и взаимодействием с множеством разрозненных вспомогательных служб, препятствует вовлечению речных перевозчиков в интермодальные транспортные схемы [5]. Отсутствие на реке соответствующих технических, организационных и системообразующих логистических решений, специализированного флота и береговой инфраструктуры для работы с высокотарифицированными грузами делает её транспортный потенциал недоэксплуатированным, исключая их из схем доставки контейнеризированных грузов.

Иностранный опыт свидетельствует, что в современных хорошо организованных магистрально-фидерных интермодальных логистических системах находят место и контейнеровозы различных размеров, работающие с разной скоростью, и барже-буксирные составы и всё чаще сухопутные виды транспорта. По мнению авторов, в качестве промежуточного этапа, предваряющего начало работы по созданию на реке, без сомнения, более эффективных контейнерных логистических систем,

²³ Доклад о торговле и развитии" Конференции ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД) [Электронный ресурс] Режим доступа - https://unctad.org/system/files/official-document/tdr2020overview_ru.pdf свободный (дата обращения 28.03.2021)

²⁴ Стратегии развития внутреннего водного транспорта до 2030 года Стратегии развития внутреннего водного транспорта до 2030 года Распоряжение от 29 февраля 2016 года №327-р. [Электронный ресурс] Режим доступа - <http://government.ru/docs/22004/> свободный (дата обращения 28.03.2021)

целесообразно рассмотреть многофункциональные паромно-транспортные логистические системы.

Паромные или ро-ро технологии, приспособленные для перевозки накатных грузов и пассажиров, обычно применяются в местах с безальтернативным вариантом доставки и являются хорошо знакомыми как на реке, так и на море. Доля таких судов в мире невелика, так как если маршрут становится востребованным, они постепенно вытесняются узкоспециализированным флотом, показавшим большую эффективность при работе с большими по объёму грузовыми и пассажирскими потоками[6,7].

В тоже время многофункциональность и гибкость паромных логистических систем способна сократить неизбежные инвестиционные риски, связанные с недозагрузкой провозных и перегрузочных мощностей на первом этапе эксплуатации контейнерных логистических систем, создавая необходимую грузовую базу и формируя качественно новый рынок, а также решая важные социальные вопросы.

Контейнерные логистические системы, прежде всего, ориентированы на стабильный унифицированный грузопоток значительного объёма, создание которого усложняется сезонностью и другими существующими недостатками водного транспорта. Паромные логистические системы больше приспособлены для работы с различными грузовыми партиями и средствами укрупнения, а также перевозки пассажиров, совмещая её с широким спектром оказываемых услуг. В зависимости от созданной комбинации сервисов паром одновременно работает в нескольких на первый взгляд трудносочетаемых сегментах транспортного рынка, формируя и укрупняя каждый из них и создавая уникальный транспортный продукт.

Таким образом, паромно-транспортная логистическая система представляет собой гибрид, который за счёт синергического эффекта на первом этапе интеграции реки в мультимодальные транспортные схемы имеет большой коммерческий потенциал в сравнении с узкоспециализированными контейнерными и пассажирскими концепциями, нивелируя часть их недостатков.

Примечательно, что первое отечественное речное «товаропассажирское» судно, появившееся на Волге в 1871 году, обязано своему появлению с одной стороны, кризису и обострению конкуренции из-за неурожая предыдущего года, а с другой, предприимчивости и таланту Альфонса Зевеке. По его инициативе новая грузопассажирская концепция была воплощена на Сормовском заводе в Нижнем Новгороде по выписанным из-за границы чертежам. Были заказаны и построены сразу три парохода, нового образца. «Первым стал двухпалубный «Переворот». На втором этаже надстройки находились каюты всех трех классов (впервые третий класс получил отдельные благоустроенные помещения). Корабль перевозил 810 пассажиров и 500 тонн груза» [8].

Другим новшеством Альфонса Зевеке стало внедрение для эксплуатации на верхневолжском мелководном плёсе судов с задним расположением колеса и малой осадкой. Их идея, подсмотренная на Миссисипи уже зимой 1882 г. была реализована. В Нижнем Новгороде построили первый в России заднеколёсный пароход «Амазонка», большое трёхпалубное судно длиной 58 м, шириной 11 м. Оно было плоскодонное и чрезвычайно лёгкое, имело осадку при полной загрузке 1,2 м. и вмещало 393 тонн грузов и 400 пассажиров. Скорость парохода вниз по течению при полной осадке составляла 20 км/ч. Малый вес и малую стоимость судна по сравнению с обычными колёсными пароходами обеспечило применение лёгкого деревянного корпуса. Весь трюм и значительная часть палубы были отведены под груз. Пассажирские помещения всех трех классов располагались на третьей палубе[9].

Альфонс Зевеке внедрил целый ряд новшеств, например, скидки на обратный билет, сдельную оплату услуг портовых агентов, широкий перечень дополнительных услуг для пассажиров первых классов и минимальную плату для третьего, а ещё ввёл круговые железнодорожно-водные билеты. Всё это и сегодня не потеряло

актуальности. Уже в первый год работы грузопассажирская линия принесла прибыль 33 000 рублей, доказав, что для Волги оптимальной оказалась одновременная перевозка людей и грузов. Победив конкурентов на реке, «он вёл смертельную борьбу с железными дорогами. Всего было построено 13 больших заднеколесных пароходов, обслуживавших две «товаропассажирские линии»: Рыбинск - Нижний Новгород и Нижний Новгород – Астрахань, которые заработали своему хозяину миллионное состояние» [9].

Удивительно, что описанные инновационные технологические и сбытовые решения позапрошлого века не потеряли сегодня своей актуальности. Традиционно значительный объём работы по укрупнению и разукрупнению контейнерных грузов производится в Москве и Московской области, но постепенно они переносятся в такие города как Рязань, Тверь и Калуга, города Поволжья. Здесь располагаются и продолжают расти множество промежуточных транспортно-распределительных центров [5]. Вместе с населением растёт и потребление товаров, в том числе реализуемых через сетевые торговые площадки. Примечательно, что только за 2019 год торговые сети увеличили темп роста объёма перевозок с 1,5 до 2,4 %.²⁵ Весь дополнительный объём был освоен автотранспортом, в том числе по автотрассам, имеющим водных дублёров.

Сегодня заметными пользователями транспортных услуг, формирующими географию перевозок, являются торговые предприятия: их доля 47%²², включая интернет-ритейлеров и дистрибьютеров. Этот сегмент является сильно растущим, в том числе за счёт интернет-торговли, выступающей сегодня драйвером спроса на логистические услуги, формирующей спрос на строительство более технологичных и усовершенствованных складских объектов. Онлайн-торговля в 2020 году стала лидером спроса, на неё пришлось 43% от общего объёма сделок по аренде площадей – это самый высокий показатель за все время существования рынка.²²

С учётом особенностей столичной логистики, для Москвы уже разрабатывается концепт двухпалубного судна с горизонтальной загрузкой, предназначенный для круглогодичной перевозки легкового и грузового автотранспорта, а также имеющего трюмные помещения значительной площади, приспособленные для наполнения необходимыми горожанам товарами и услугами. Таким образом, транспортное средство в зависимости от наполнения превращается в гибридный коммерческий центр, включающий складские парковочные, гостиничные, офисные и торговые помещения, передвигающийся через весь город со скоростью до 15 км в час, обеспечивая им наполнение горожанами и туристами.

Наряду с нестандартным назначением парома важнейшей особенностью его работы является новая модель получения дохода. Маршрут парома, проходящий через центр города, превращает две его палубы и трюм в особо дефицитную коммерческую площадь, доход от аренды которой компенсирует большую часть эксплуатационных издержек судоходной компании.

Такое решение позволяет интегрировать реку в грузовую и пассажирскую логистику любого крупного города, например Нижнего Новгорода, Волгограда, Казани или Санкт-Петербурга. Важнейшее условие, соблюдаемое в большинстве крупных городов - дефицит торговых площадей с большой проходимостью. Особое значение имеет наличие или возможность строительства подъездных путей и соответствующих причалов, а также возможность круглогодичной работы и максимальный объём коммерческой площади с учётом допустимых ограничений судового хода.

Внутренние водные пути традиционно являются одним из объектов, привлекающих туристов. Возможность путешествовать по реке на собственном

²⁵ Транспорт в России. 2020: Стат.сб./Росстат. – Т65 М., 2020. – 108 с. [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.gks.ru> свободный (дата обращения 28.03.2021)

автомобиле при разумной цене является во многих странах востребованной и подчёркивает статус высокого уровня путешествий. Данный вид путешествия очень активно развивается в странах Европы и Северной Америки и пользуется там спросом среди населения, повышая туристическую привлекательность государства для внешних туристов[10,11].

Как грузовой, так и личный легковой транспорт или пешеходные пассажиры могут включать многофункциональные паромные линии в свои планы и маршруты заранее или ситуативно из-за затруднения передвижения с использованием других видов транспорта. Специальные сервисы в виде мобильных приложений с необходимой информацией о расписании линии, рекомендуемые оптимальное с точки зрения пользователя включение в свой маршрут водного участка, и осущестляющие бронирование и ряд других сопутствующих услуг помогут сделать такой вариант передвижения востребованным и привычным. Таким образом, в удобном для себя месте можно будет заехать на паром, чтобы избежать дорожных заторов, дать отдохнуть водителю и пассажирам или получить один или несколько из предлагаемых сервисов, не задерживаясь, оплатить проезд через мобильное приложение, а затем, продолжить путь.

Пассажирские перевозки являются социально значимыми. В этой связи важным аспектом накатных технологий является возможность перевозки автотранспорта, который самостоятельно заезжает на борт, затрачивая минимальное время, что важно для маломобильных граждан в контексте Государственной программы Российской Федерации «Доступная среда».

Такие линии целесообразно организовать не только в черте города, но и в навигационный период и в пригородном, и межрегиональном режиме. Например, из Москвы на южном направлении до порта Коломна, с перспективой продления до причалов в Рязани и Нижнем Новгороде, а на северном – до причалов в Дмитрове и далее - на Волгу. Как уже отмечалось, именно эти направления являются наиболее востребованными, здесь расположены распределительные центры торговых сетей, стремительно растут транспортно-логистические центры посылочной торговли.

Заключение

Предварительная проработка требований и условий современного рынка и проблем, связанных с выбором оптимальных технико-экономических параметров парома и системы его обслуживания позволяет прийти к заключению, что и современные инновационные решения нижегородских проектантов, разрабатывающих новый концепт скоростного парома-катамарана для межрегиональной многофункциональной логистической системы, будут не менее успешными, чем рассмотренные исторические примеры.

Межрегиональный вариант в большей степени ориентирован на перевозку контейнеров и грузов в большегрузных автомобилях. Однако, анализ привёл к пониманию того, что в условиях растущего внутреннего туризма и ориентированности на экспорт туристических услуг в целом, а также спроса на круизный отдых, такой вариант будет востребован как у групповых, так и индивидуальных автотуристов в среднем ценовом сегменте.

В этой связи в разрабатываемом проекте предусматриваются не только каюты в корпусах катамарана эконом-класса, предназначенные для команды и водителей грузового транспорта, но и каюты повышенной комфортности для автотуристов. Размещение в корпусах предполагает уровень обслуживания хостела; 4-х местные каюты, оборудованные санузлами, и общие функциональные зоны обеспечивают минимально необходимый уровень комфорта для полноценного отдыха после рабочего дня. Стоимость проживания в них предполагается компенсировать платой за

перевозку большегрузного автомобиля. Каюты же, расположенные на главной и второй палубе, больше по размеру, имеют панорамные иллюминаторы и прилегают к небольшой кают-компания. Очень важно тщательно распределить площадь между сегментами пропорционально инвестиционным затратам и предполагаемому доходу.

По мнению авторов, внедрение многофункциональных паромно-транспортных логистических систем на данном этапе является предпочтительным, так как подобный сервис будет способствовать формированию новых грузовых и пассажирских сегментов. Кроме того, реализация рассматриваемых инновационных транспортно-технологических решений приведёт к постепенной интеграции реки в доставку высокотарифицированных грузов и созданию грузовой и пассажирской базы, достаточной для работы бесспорно более эффективных специализированных грузовых и пассажирских судов. В свою очередь, организация межрегиональных линий будет способствовать справедливому распределению грузовой базы, возврату автотранспорта в присущий ему сегмент перевозок средней дальности, снижению стоимости и повышению качества транспортно-логистических услуг. Кроме того, подобные инновации создают необходимые предпосылки для развития отечественного внутреннего водного транспорта в соответствии с мировыми тенденциями.

Список литературы

1. Гусаченко Н. Речная навигация 2020 года обострила старые проблем отрасли [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://www.rzd-partner.ru/wate-transport/comments/rechnaya-navigatsiya-2020-goda-obostrila-starye-problemy-otrasli/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)
2. Костюченко А. Глобальные тренды морской отрасли: флот, грузы, крупнейшие операторы/ Центр транспортных стратегий [Электронный ресурс] Режим доступа: https://cfts.org.ua/articles/globalnye_trendy_morskoy_otrasli_flot_gruzy_krupneyshie_operatory_1642, свободный (дата обращения 28.03.2021)
3. Andersson, H., Fagerholt, K., Hobbesland, K.: Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from ro-ro shipping. *Computers & Operations Research* 55, (2015)
4. Милославская С.В. Мыскина А.Б. Внутренний водный транспорт России, Евросоюза и США. Монография Транслит, 2017
5. Зарецкая Е.В., Митрошин С.Г., Жаворонков Н.А. Транспортно - технологические мультимодальные системы с участием внутреннего водного транспорта как одного из ключевых интегрирующих элементов// Вестник ВГАВТ -2018 № 55, - С. 124-218.
6. Chandra, S., Christiansen, M., Fagerholt, K.: Combined fleet deployment and inventory management in roll-on/roll-off shipping. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 92, (2016)
7. Christiansen, M., Fagerholt, K.: Ship routing and scheduling in industrial and tramp shipping. In: Toth, P., Vigo, D. (eds.) *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*, chap. 13, pp Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia (2014)
8. Широкопад А. Ах, белый пароход! [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://nasledie.pravda.ru/1151657-zeveki/>, свободный (дата обращения 28.03.2021)
9. Артемьев М. Пароходы сухопутной империи: как флот развивал российскую экономику [Электронный ресурс] Режим доступа - <https://worldmarine.ru/statti/paroxody-suxoputnoy-imperii-kak-flot-razvival-rossiyskuju-ekonomiku/> свободный (дата обращения 28.03.2021)
10. Fagerholt, K., Johnsen, T.A.V., Lindstad, H.: Fleet deployment in liner shipping: a case study. *Maritime Policy & Management* 36(5), (2009)
11. Dong, Bo & Christiansen, Marielle & Fagerholt, Kjetil & Bektaş, Tolga, 2020. "Combined maritime fleet deployment and inventory management with port visit flexibility in roll-on roll-off shipping," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Elsevier, vol. 140(C).
12. Майоров Н. Н. Методологический базис организации сети морских пассажирских перевозок /Н. Н. Майоров // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2018. — № 2. — С. 28–37.
13. Song, J.H., Furman, K.C.: A maritime inventory routing problem: Practical approach. *Computers & Operations Research* 40(3), (2013)

14. Agra, A., Christiansen, M., Delgado, A.: Discrete time and continuous time formulations for a short sea inventory routing problem. *Optimization and Engineering* 18(1), (2017)
15. Егоров Г. В., Егоров А. Г. Предпосылки создания пассажирских судов местных и межрегиональных линий нового поколения // *Вестн. Одес. нац. мор. ун-та. Одесса: ОНМУ, 2016. Вып. 3 (49). С. 17–44.*

References

1. Gusachenko N. Rechnaya navigaciya 2020 goda obostrila starye problem otrasli available <https://www.rzd-partner.ru/wate-transport/comments/rechnaya-navigatsiya-2020-goda-obostrila-starye-problemy-otrasli/> (accessed 28.03.2021)
2. Kostyuchenko A. Global'nye trendy morskoy otrasli: flot, gruzy, krupnejshie operatory/ Centr transportnyh strategij available: https://cfts.org.ua/articles/globalnye_trendy_morskoy_otrasli_flot_gruzy (accessed 28.03.2021)
3. Andersson, H., Fagerholt, K., Hobbesland, K.: Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from ro-ro shipping. *Computers & Operations Research* 55, (2015)
4. Miloslavskaya S.V. Myskina A.B. Vnutrennij vodnyj transport Rossii, Evrosoyuzya i SSHA. Monografiya Translit, 2017
5. Zaretsaya E .V., Mitroshin S.G., ZHavoronkov N.A. Transportno - tekhnologicheskie mul'timodal'nye sistemy s uchastiem vnutrennego vodnogo transporta kak odnogo iz klyuchevykh integrirovushchih elementov// *Vestnik VGAVT -2018 № 55, - p. 124-218.*
6. Chandra, S., Christiansen, M., Fagerholt, K.: Combined fleet deployment and inventory management in roll-on/roll-off shipping. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 92, (2016)
7. Christiansen, M., Fagerholt, K.: Ship routing and scheduling in industrial and tramp shipping. In: Toth, P., Vigo, D. (eds.) *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*, chap. 13, pp Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia (2014)
8. SHirokorad A. Ah, belyj parohod! available - <https://nasledie.pravda.ru/1151657-zeveki/>, (accessed 28.03.2021)
9. Artem'ev M. Parohody suhoputnoj imperii: kak flot razvival rossijskuyu ekonomiku available-<https://worldmarine.ru/statti/parohody-suxoputnoy-imperii-kak-flot-razvival-rossijskuyu-ekonomiku/> (accessed 28.03.2021)
10. Fagerholt, K., Johnsen, T.A.V., Lindstad, H.: Fleet deployment in liner shipping: a case study. *Maritime Policy & Management* 36(5), (2009)
11. Dong, Bo & Christiansen, Marielle & Fagerholt, Kjetil & Bektaş, Tolga, 2020. "Combined maritime fleet deployment and inventory management with port visit flexibility in roll-on roll-off shipping," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Elsevier, vol. 140(C).
12. Majorov N. N. Metodologicheskij bazis organizacii seti morskikh passazhirskih perevozok /N. N. Majorov // *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. — 2018. — № 2. — p. 28–37.*
13. Song, J.H., Furman, K.C.: A maritime inventory routing problem: Practical approach. *Computers & Operations Research* 40(3), (2013)
14. Agra, A., Christiansen, M., Delgado, A.: Discrete time and continuous time formulations for a short sea inventory routing problem. *Optimization and Engineering* 18(1), (2017)
15. Egorov G. V., Egorov A. G. Predposylki sozdaniya passazhirskih sudov mestnyh i mezhregional'nyh linij novogo pokoleniya // *Vestn. Odes. nac. mor. un-ta. Odessa: ONMU, 2016. Вып. 3 (49). p. 17–44.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Зарецкая Екатерина Владимировна, к.э.н., доцент кафедры эксплуатации водного транспорта Академии водного транспорта Российский университет транспорта (АВТ ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)), 117105, г. Москва, ул. Новоданиловская набережная, 2 к.1. e-

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

mail: zarekaterina@yandex.ru

Митрошин Сергей Григорьевич, к.т.н.,
доцент, доцент кафедры экономики и
менеджмента, Волжский государственный
университет водного транспорта, 603951, г.
Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail:
priemnaya@vgavt-nn.ru

zarekaterina@yandex.ru

Sergey G. Mitroshin, Ph.D. in Engineering
Science, Associate Professor of the Department
of Economics and Management, Volga State
University of Water Transport, 5, Nesterov st,
Nizhny Novgorod, 603951, e-mail:
priemnaya@vgavt-nn.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 330.567.2:336

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.v68.209>

Анализ денежных доходов населения: вызов времени

Н.А.Маркова

Волжский государственный университет водного транспорта

г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье представлен теоретический и практический взгляд на категорию «доход»; рассмотрено понятие домохозяйства. Проведен анализ состава и структуры денежных доходов россиян в целом по стране в период с 2015 года по 2019 год и представлен региональный аспект: проанализированы денежные доходы населения Нижегородской области за указанный период. На базе сравнительного анализа общероссийских тенденций изменения состава и структуры денежных доходов населения и ситуации в регионе дана характеристика современного состояния отдельных видов денежных доходов физических лиц и экономического поведения россиян. Автор использует методику статистического обследования населения Росстата при анализе каждого компонента денежных доходов россиян; указывает ее недостатки. Анализ состава и структуры различных компонентов денежных доходов россиян позволяет расставить акценты в источниках денежных доходов населения в условиях рыночной экономики. Автор выделяет доходы от предпринимательской деятельности и подчеркивает их значение в рыночной экономике; рассматривает предпринимательскую активность россиян в динамике. В статье приводится детализированный анализ показателя доходы от собственности населения страны в целом и в Нижегородской области и обосновывается наиболее значимый источник дополнительных денежных средств для населения в настоящее время. Дана критическая оценка выявленной динамики каждого компонента денежных доходов населения и возможности усиления контроля со стороны государственных структур за доходами и расходами физических лиц.

Ключевые слова: доход; домохозяйство; состав денежных доходов населения; структура доходов населения; анализ денежных доходов населения; Нижегородская область; контроль за доходами и расходами домохозяйств.

Analysis of monetary income of the population: time challenge

Natalya A. Markova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The task of including internal water transport into multimodal transport schemes of freight and passenger transportation is of particular relevance today, which necessitates the need for the search of adequate transport and technological solutions. The article deals with the main challenges and trends associated with the results of the international and domestic shipping in 2020. Based on the analysis of domestic and foreign experience the article deals with the advantages of the modern concept modification of the “cargo and passenger” ship with horizontal loading which has proven itself well since the end of the 19th century. According to the authors the introduction of multifunctional ferry and transport logistics systems will contribute to the gradual integration of the river into the delivery process of high-rate cargo, returning vehicles during the peak season to its inherent medium-haul segment.

Keywords: cargo and passenger transport on internal water ways, cargo and passenger ferries, innovative multimodal transport and logistical technologies, cargo and passenger multifunctional (hybrid) line.

Введение

С 17 марта 2021 года вступили в силу поправки в Налоговый кодекс РФ в соответствии с Федеральным законом от 17 февраля 2021 г. № 6-ФЗ «О внесении изменений в часть первую Налогового кодекса Российской Федерации». Федеральная налоговая служба России получила новые полномочия в части запроса документов из банков. В статье 86 части первой Налогового кодекса РФ внесен пункт²⁶, обязывающий кредитные организации предоставлять налоговым органам имеющиеся в их распоряжении копии паспортов лиц, имеющих право на получение (распоряжение) денежными средствами, находящихся на счете клиента; доверенностей на получение (распоряжение) денежными средствами и другие документы, содержащие финансовую информацию о клиенте в течение трех дней со дня получения мотивированного запроса налогового органа. Запрашивать такую информацию сотрудники налоговых органов по физическим лицам могут в случаях проведения налоговой проверки, истребования у него документов и только при наличии согласия руководителя вышестоящего налогового органа или руководителя (заместителя руководителя) федерального органа исполнительной власти, уполномоченного по контролю и надзору в области налогов и сборов.

Месяцем ранее руководитель ФНС России Даниил Егоров рассказал о планах объединения «Личного кабинета налогоплательщика» с данными онлайн-касс на сервисе «Мои чеки онлайн».

Эти два события всколыхнули экономическую жизнь россиян. Сотрудники налоговых органов получили расширенный доступ к банковской тайне и стремятся сделать все денежные операции граждан РФ прозрачными. Практическая реализация контроля за доходами и расходами россиян на практике породила много вопросов.

Теоретический аспект дохода физического лица

Первый вопрос связан с теоретическим и практическим пониманием категории «доход» физического лица.

В отечественной и зарубежной литературе экономисты продолжают рассуждать о природе «дохода» [1, с.61], [2, с.589], [3, с.626-627], [4, с.63], [5, с.30]. Отдельные экономисты подчеркивают сугубо практический подход к пониманию «дохода» физического лица через призму фискальной функции налога [6, с.203].

Известный английский экономист Джон Ричард Хикс рассматривал природу дохода и утверждал, что следует определять «как максимальную сумму, которую можно направить на потребление в течение недели и в то же время сохранить в конце недели благосостояние таким же, каким оно было в ее начале» [7, с.290]. Предложенная концепция дохода индивида лежит в основе СНС ООН 1993 и в обновленной версии СНС 2008 года и используется Федеральной службой государственной статистики страны [8], [9].

В соответствии с Методологическими положениями по расчету показателей денежных доходов и расходов населения от 02.07.2014 г. № 465 (с изменениями от 20.11.2018 г. № 680) в российской практике денежные доходы населения определяются как сумма всех денежных поступлений населения, которые доступны для текущего потребления и не уменьшают сбережений населения за счет

²⁶ Налоговый кодекс Российской Федерации от 05.08.2000 N 117-ФЗ (ред. от 20.04.2021). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/043b3ec883ce309e856dd0c833f5b8b817c276e9/ (дата обращения 22.04.2021)

расходования финансовых и нефинансовых активов или увеличения обязательств [10]. Денежные доходы россиян рассчитываются на основе суммы следующих основных компонентов: трудовые доходы; социальные выплаты; доходы от собственности и прочие денежные поступления.

Анализ оплаты труда наемных работников

Трудовой доход охватывает вознаграждения, связанные с участием населения в экономической деятельности и состоит из: доходов лиц, работающих по найму; доходов от самостоятельной занятости (доходов от предпринимательской деятельности и другой производственной деятельности). Формирование доходов наемных работников происходит на основе статистических данных организаций об оплате труда наемных работников, об объемах денежного довольствия военнослужащих и иных выплат наемным работникам, не учитываемых в составе фонда оплаты труда. В составе доходов от предпринимательской и другой производственной деятельности учитываются такие компоненты как: доходы по труду работающих не по найму; доходы от сдачи в аренду жилья и иного имущества; авторские вознаграждения. Источником информации по определению авторских вознаграждений и доходов от сдачи в аренду являются данные отчетности ФНС России, а вот оценка вознаграждений за труд работающих не по найму основывается на ряде допущений и носит вероятностный характер.

Проанализируем состав и структуру денежных доходов россиян за последние годы. Данные представим в таблице 1.

Таблица 1

Анализ состава и структуры денежных доходов населения (в целом по стране²⁷ и в Нижегородской области²⁸) по итогам за год

Доходы	Абсолютное значение, млрд. руб.					в процентах к общему итогу, %				
	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
I. Оплата труда наемных работников, всего	28067,5	29303,2	30987,0	33568,3	35824,7	52,8	54,0	55,1	57,4	57,7
- Нижегородская обл.	588,3	616,7	662,6	703,0	755,6	50,0	52,6	56,2	57,8	58,0
II. Доходы от предпринимательской и другой деятельности, всего	3449,7	3473,2	3513,9	3573,9	3704,0	6,5	6,4	6,3	6,1	6,0
- Нижегородская обл.	55,0	55,1	53,9	54,5	57,3	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4
III. Социальные выплаты, всего	9656,3	10227,8	10847,5	11154,4	11758,4	18,2	18,8	19,3	19,1	18,9
- Нижегородская обл.	220,0	232,4	243,2	243,4	256,8	18,7	19,8	20,6	20,0	19,7
IV. Доходы от собственности, всего	2739,0	2776,7	2570,8	2688,5	3159,6	5,1	5,1	4,6	4,6	5,1
- Нижегородская обл.	39,6	45,1	46,0	66,0	62,2	3,4	3,8	3,9	5,4	4,8
V. Прочие денежные поступления, всего	9240,7	8544,4	8285,9	7473,6	7629,5	17,4	15,7	14,7	12,8	12,3
	272,7	224,2	173,9	148,5	170,3	23,2	19,1	14,7	12,3	13,1

²⁷ Составлено автором по данным: Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397> Баланс денежных доходов и расходов населения (новая методология) (дата обращения: 14.04.2021).

²⁸ Рассчитано автором по данным: Федеральная служба государственной статистики по Нижегородской области. URL: <https://nizhstat.gks.ru/folder/32657#> Баланс денежных доходов и расходов населения (новая методология) (дата обращения: 02.06.2021).

- Нижегородская обл.										
VI. Всего денежных доходов по России	53153,2 1175,6	54325,3 1173,5	56205,1 1179,6	58458,7 1215,4	62076,2 1302,2	100, 0	100, 0	100, 0	100, 0	100, 0
- Нижегородская обл.						100, 0	100, 0	100, 0	100, 0	100, 0

Анализируя данные табл. 1, можно утверждать, что основным видом денежных доходов россиян является оплата труда наемных работников: ее доля составила 52,8% в 2015 году и неуклонно увеличивалась до 57,7% в 2019 году. Значение оплаты труда как главного источника доходов для работающих граждан было рассмотрено автором ранее [11]. Более того, сформировалась устойчивая тенденция ежегодного роста анализируемого показателя от 4,4% в 2016 году до 6,7% в 2019 году (по сравнению с предыдущим годом). Наибольший рост оплаты труда наемных работников в стране в размере 8,3% наблюдался в 2018 году, что в абсолютном выражении составило 2581,3 млрд. руб.

Данные табл. 1 по Нижегородской области также свидетельствуют о значительной доле оплаты труда в структуре денежных доходов. В 2015 году удельный вес оплаты труда наемных работников в регионе составил 50,0 % и увеличивался на протяжении всего анализируемого периода. Так, в 2019 году удельный вес оплаты труда в составе денежных доходов в Нижегородской области составил 58,0 %, что выше, чем по России в целом. Наибольший прирост денежных доходов населения Нижегородской области произошел в 2017 году (на 7,44 %) и в 2019 году (на 7,48 %), что в абсолютном выражении составило 45,9 млрд. руб. и 52,6 млрд. руб. соответственно. Доходы, связанные с оплатой труда в Нижегородском регионе, увеличивались быстрее, чем по стране в целом. Заслуживает внимания тот факт, что среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций в Нижегородской области также ежегодно увеличивалась на 7-8 % с 26480,7 рублей в 2015 году до 35212,3 рублей в 2019 году соответственно.

Анализ доходов от предпринимательской деятельности и предпринимательской активности россиян

Иную картину демонстрирует показатель «доходы от предпринимательской и другой деятельности»: в период с 2015 по 2019 гг. доля рассматриваемых доходов россиян (в целом по стране) непрерывно сокращалась с 6,5% до 6,0% соответственно. Настораживает тот факт, что в стране, ориентированной на построение рыночной модели хозяйствования, основанной на предпринимательской активности граждан, доходы именно от предпринимательской деятельности имеют незначительный удельный вес в общем составе видов денежных доходов населения. В структуре денежных доходов населения Нижегородской области (данные табл. 1) доля анализируемого вида доходов еще меньше; 4,7 % в 2015 году и 4,4 % в 2019 году соответственно. При этом в абсолютном выражении в Нижегородском регионе наблюдается рост доходов населения от предпринимательской деятельности. Наибольшее увеличение доходов от предпринимательской деятельности в регионе произошло в 2019 году и составило 2,4 млрд. руб.

Общемировая нестабильность в экономической и политической жизни многих стран за последнее десятилетие можно рассматривать как фактор, влияющий на желание граждан заниматься предпринимательской деятельностью. Однако информация, полученная в ходе глобального мониторинга предпринимательской активности в России (проведенного в рамках проекта Global Entrepreneurship Monitor, GEM) свидетельствует об обратном. Согласно результатам исследования, в России в 2019 году было зарегистрировано рекордное за все время наблюдений количество людей, вовлеченных в создание и управление новыми компаниями. Индекс ТЕА (Total entrepreneurship activity index) составил 9,3% взрослого трудоспособного

населения страны. Для людей, чей бизнес существует на рынке более трех с половиной лет, составил 5,1% трудоспособного населения, что сопоставимо со значениями данного показателя в 2016 и 2018 годах (рис. 1) [12, с.42].



Рис.1. Уровень предпринимательской активности в России 2006-2019, % от взрослого трудоспособного населения.
Источник: APS Russia 2006-2019

Fig. 1. Entrepreneurial activity level in Russia 2006-2019, % of the adult working age population.
Source: APS Russia 2006-2019

Рассмотрим более подробно порядок формирования информации по показателю «доходы от предпринимательской деятельности». В состав рассматриваемых доходов входят следующие компоненты: доходы по труду работающих не по найму; доходы от сдачи в аренду жилья и иного имущества; авторские вознаграждения; вознаграждение директоров и иные аналогичные выплаты, получаемые членами органа управления организации (совета директоров или иного подобного органа).

Доходы по труду работающих не по найму состоят из оценки вознаграждения за труд индивидуальных предпринимателей (независимо от факта регистрации), глав и членов фермерских хозяйств; оценки вознаграждения за труд помогающих членов семьи на предприятиях или в собственном деле, принадлежащих домохозяйству; оценки вознаграждения за труд лиц, занятых в домашнем хозяйстве производством продукции для продажи или обмена; оценки вознаграждения за труд иностранных работников, работающих не по найму. При этом оценка вознаграждения за труд работающих не по найму основана на общем допущении, что представители этой категории работников зарабатывают среднее вознаграждение не ниже, чем работающие по найму соответствующего вида экономической деятельности. В Приложении 7 к приказу №680²⁹ указано, что не могут быть заполнены данные по отдельным видам экономической деятельности ввиду того, что они не разрабатываются по форме единовременного наблюдения, являющейся источником информации. К таким видам экономической деятельности наряду с сельским, лесным хозяйством, охотой, рыболовством и рыбоводством входят: образование; деятельность в области здравоохранения и социальных услуг; деятельность в области

²⁹ Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397> Методологические положения по расчету показателей денежных доходов и расходов населения (дата обращения: 13.04.2021)

культуры, спорта, организации досуга и развлечений. Принимая во внимание действующую методику формирования информации по доходам по труду работающих не по найму, базирующуюся на системе оценок, досчета и экспертных оценок, можно смело утверждать, что данные по рассматриваемому показателю носят вероятностный характер и не отражают реальную картину дел. В российском экономическом сообществе ученые также критически оценивают качество формируемых статистических данных [13, с.52-53], [14]. Более того, во внимание следует принять растущий уровень предпринимательской активности в России и востребованность услуг в сфере образования, здравоохранения, спорта и других видов экономической деятельности, рассмотренных выше.

В состав доходов от предпринимательской деятельности входят доходы от сдачи в аренду жилья и иного имущества организациям, авторские вознаграждения и вознаграждения директоров и иных аналогичных выплат, получаемых членами органа управления организации. Источником информации для их оценки являются данные отчетности ФНС России и соответствуют происходящим процессам. Однако, доходы от предоставления в аренду жилья физическому лицу носят усредненный характер.

Анализ социальных выплат населению

Вторым по значению для россиян видом денежных доходов являются социальные выплаты. Доля социальных выплат в структуре денежных доходов населения страны колеблется в диапазоне 18,2% - 19,3% (данные табл. 1).

Проанализируем состав и структуру социальных выплат населению за период с 2015 по 2019 гг. данные представим в таблице 2.

Таблица 2

Анализ состава и структуры социальных выплат населения (в целом по стране и в Нижегородской области) по итогам за год, млрд. руб.

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019
Социальные выплаты, всего	9656,3	10227,8	10847,5	11154,4	11758,4
- Нижегородская обл.	220,0	232,4	243,2	243,4	256,8
1) Пенсии и доплаты к пенсиям в целом по стране	6972,5	7389,5	8002,5	8243,0	8620,9
- в процентах к итогу, %	72,2	72,2	73,8	73,9	73,4
<i>в том числе:</i>					
- Нижегородская область	161,2	169,8	182,6	184,6	194,5
- в процентах к итогу, %	73,3	73,1	75,1	75,8	75,7
2) Пособия и социальная помощь в целом по стране	2286,3	2439,8	2445,3	2543,1	2741,7
- в процентах к итогу, %	23,7	23,9	22,5	22,8	23,3
<i>в том числе:</i>					
- Нижегородская область	50,3	53,2	50,5	51,6	54,4
- в процентах к итогу, %	22,9	22,9	20,8	21,2	21,2
3) Стипендии в целом по стране	78,4	82,4	85,6	90,4	98,1
- в процентах к итогу, %	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>в том числе:</i>					
- Нижегородская область	1,4	1,6	1,6	1,7	1,8
- в процентах к итогу, %	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
4) Страховые возмещения в целом по стране	319,1	316,1	314,1	277,9	297,7
- в процентах к итогу, %	3,3	3,1	2,9	2,5	2,5
<i>в том числе:</i>					
- Нижегородская область	7,1	7,8	8,5	5,5	6,1
- в процентах к итогу, %	3,2	3,4	3,5	2,3	2,4

Источник: рассчитано автором по статистическим данным [15], [16]

Анализируя данные табл. 2, можно сказать, что на протяжении всего анализируемого периода с 2015 по 2019 годы объем социальных выплат в целом по стране в абсолютном выражении неуклонно растет и в 2019 году составил 11758,4 млрд. руб. За 4 года увеличение социальных выплат составило 2102,1 млрд. руб. Наибольший прирост этого показателя наблюдался в 2017 году – 6,1%, что в абсолютном выражении составило 619,7 млрд. руб. Аналогичная тенденция по социальным выплатам в анализируемом периоде наблюдалась и в Нижегородском регионе.

В составе социальных выплат лидирующие позиции занимают пенсии и доплаты к пенсиям: доля этого компонента составляет 72,2 % – 73,9 % от совокупного объема социальных выплат. Объем пенсионных выплат в России ежегодно увеличивается на протяжении анализируемого периода и достиг 8620,9 млрд. руб. в 2019 году по сравнению с 6972,5 млрд. руб. в 2015 году. В Нижегородской области в анализируемом периоде (данные табл. 2) отмечается увеличение доли пенсий и доплат к пенсиям на 1-2 % по сравнению с данными в целом по стране; в абсолютном выражении этот показатель в регионе также ежегодно увеличивается. За 4 анализируемых года увеличение общего объема пенсий и доплат к пенсиям в Нижегородской области составило 33,3 млрд. руб. Их размер увеличился с 161,2 млрд. руб. в 2015 году до 194,5 млрд. руб. в 2019 году соответственно. На рост анализируемого показателя оказало влияние увеличение среднего размера пенсии пенсионеров РФ с 10888,7 руб. в 2015 году до 14102,1 руб. в 2019г.³⁰. И эта тенденция продолжается: по данным Росстат средний размер пенсии пенсионеров, состоящих на учете в системе Пенсионного фонда РФ в 2021 году составил 15744,6 руб. Объем выплат негосударственными пенсионными фондами РФ незначителен, но также увеличивается в анализируемом периоде.

Пособия и социальная помощь населению являются инструментом реализации социальной политики в государстве. «Современное общество всё настойчивее требует обеспечения полноценной социальной защиты с тем, чтобы население в целом и отдельные социальные группы получили широкую социальную поддержку. Особенно эта поддержка необходима в тяжёлый для населения период кризиса. Ведь деятельность системы социального страхования в первую очередь адресована группам трудозанятого населения, которые особо остро ощущают на себе неблагоприятную экономическую обстановку» [17, с.221]. В составе социальных выплат (данные табл. 2) доля «пособий и социальной помощи» составляет около 23 % в целом по стране и около 22 % в Нижегородской области и абсолютное значение этого компонента ежегодно увеличивается на протяжении всего анализируемого периода.

Иная картина складывается со страховыми возмещениями. Их доля в структуре социальных выплат (данные табл. 2) снизилась с 3,3 % в 2015 году до 2,5 % в 2019 году в целом по стране. Сумма страховых возмещений ежегодно сокращается с 2015 по 2018 гг. Наибольшее снижение страховых возмещений (11,5 %) произошло в России в 2018 году; в 2019 году значение этого показателя в целом по стране увеличилось на 19,8 млрд. руб. В Нижегородской области по показателю «страховые возмещения» сформировалась разнонаправленная динамика. Так, в период с 2015 года по 2017 год значение этого показателя ежегодно увеличивалось (данные табл. 2) и пиковое значение было достигнуто в 2017 году в размере 8,5 млрд. руб. В 2018 году в Нижегородском регионе, как и в целом по стране, произошло снижение этого показателя на 35,3%, что в абсолютном выражении составило 3,0 млрд. руб. Ключевое влияние на изменение страховых возмещений оказало снижение выплат по

³⁰ Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397> (дата обращения 20.04.2021)

договорам добровольного страхования, заключенным с физическими лицами с 159,6 млрд. руб. в 2015 году до 143,7 млрд. руб. в 2018 году соответственно [18, с.476].

Анализ денежных доходов населения от собственности

Доходы от собственности включают поступления, связанные с получением дохода на финансовые активы, а также иные поступления, связанные с реализацией прав собственности на финансовые активы, запатентованные материалы или материалы, на которые распространяется авторское право [10].

Доходы от собственности, как и доходы от предпринимательской деятельности, в составе денежных доходов россиян занимают незначительное место. Их доля составляет чуть более 5,0 % в анализируемом периоде и на конец 2019 года составляет 3159,6 млрд. руб. (данные таблицы 1).

Доходы от собственности в условиях рыночной экономики имеют важное значение и зависят от финансовой грамотности населения, уровня предприимчивости и инициативы граждан и их благосостояния.

Таблица 3

Анализ отдельных видов денежных доходов населения России в динамике

Годы	Денежные доходы - всего, млрд. руб.	Темпы роста денежных доходов, %	Доходы от предпринимательской деятельности, млрд. руб.	Темпы роста доходов от предпринимательской деятельности, %	Доходы от собственности, млрд. руб.	Темпы роста доходов от собственности, %
2000	3984		612		271	
2005	13819	346,8	1580	258,2	1425	525,8
2010	32498	235,2	2873	181,8	2023	141,9
2015	53153	163,7	3450	120,1	2739	135,4
2020*	62701	117,9	3260	94,5	2759	100,7

* - предварительные данные (Федеральная служба государственной статистики: оперативные данные).

Источник: рассчитано автором по статистическим данным [18, с.123]

Анализ статистических данных за последние 20 лет рыночных преобразований в стране свидетельствует о стремительном росте доходов от собственности в 5,25 раз в период с 2000 года по 2005 г. (данные таблицы 3). Следующие два пятилетия темпы роста доходов от собственности составили 1,41 раза в период с 2005 года по 2010 год и 1,35 раза в период с 2010 года по 2015 год соответственно. За последние пять лет рост рассматриваемого вида денежных доходов населения был незначителен и составил 0,7 %.

Аналогичная закономерность сформировалась и по темпам роста доходов от предпринимательской деятельности в целом по стране: при стремительном росте в период с 2000 по 2005 гг. эти доходы и вовсе сократились за последние пять лет на 5,5 %.

На наш взгляд, складывающаяся ситуация говорит о необходимости изменения иждивенческой позиции населения и формирования финансовой культуры, основанной на ответственном поиске альтернативных дополнительных источников денежных доходов. Мы полагаем, что государство должно активно участвовать в этом процессе: создавать благоприятные условия для использования финансовых инструментов россиянами и повышать уровень благосостояния широких слоев населения страны.

Проанализируем состав и структуру доходов от собственности населения России в целом и в Нижегородской области.

Таблица 4

Анализ состава и структуры доходов от собственности населения

(в целом по стране и в Нижегородской области) по итогам за год

Показатели	Абсолютное значение, млрд. руб.					в процентах к общему итогу, %				
	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
Доходы от собственности, всего	2739,0	2776,7	2570,8	2688,5	3159,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
- Нижегородская область	39,6	45,1	46,0	66,0	62,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1) Дивиденды, всего	1175,7	1313,2	1268,5	1521,8	1846,4	42,9	47,3	49,3	56,6	58,4
- Нижегородская область	11,3	16,3	19,9	43,5	38,3	28,5	36,1	43,3	65,9	61,6
2) Проценты, начисленные по денежным средствам на банковских счетах физических лиц в кредитных организациях, всего	1439,4	1328,5	1198,1	1085,6	1270,7	52,6	47,8	46,6	40,4	40,2
- Нижегородская область	25,0	23,9	21,8	19,7	23,2	63,1	52,0	47,4	29,8	37,3
3) Выплата дохода по государственным и другим ценным бумагам, всего	100,6	124,1	91,3	55,1	10,1	3,6	4,5	3,6	2,1	0,4
- Нижегородская область	3,0	4,8	4,1	2,6	0,4	7,6	10,6	8,9	3,9	0,6
4) Инвестиционный доход (доход от собственности держателей полисов), всего	23,3	10,9	12,9	26,0	32,5	0,9	0,4	0,5	0,9	1,0
- Нижегородская область	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,8	0,3	0,4	0,4	0,5

Источник: рассчитано автором по статистическим данным [15], [16]

Анализируя компоненты показателя «доходы от собственности» (данные табл. 4) следует выделить дивиденды и проценты, начисленные по денежным средствам на банковских счетах физических лиц в кредитных организациях как значимые источники формирования дополнительных денежных доходов россиян. Их доля в составе доходов от собственности россиян по стране в совокупности составила 95,5 %

в 2015 году и 98,6 % в 2019 году соответственно и не превышала 5 % в совокупном объеме денежных доходов населения в анализируемом периоде. И если объем дивидендов, получаемых населением страны, неуклонно растет, то размер начисленных процентов по денежным средствам на банковских счетах физических лиц в кредитных организациях в период с 2015 года по 2018 год ежегодно сокращался. Ситуация в Нижегородском регионе схожа с общероссийской. Отличительной особенностью региона является более высокий удельный вес начисленных процентов по денежным средствам на банковских счетах физических лиц в структуре доходов от собственности. Так, в 2015 году доля начисленных процентов по денежным средствам на банковских счетах нижегородцев составляла 63,1 %, а общероссийские данные соответствовали 52,6 %. При этом в 2019 году произошло увеличение данного источника денежных средств населения страны в целом на 185,1 млрд. руб. Причина такой ситуации заключается в снижении ставок по вкладам физических лиц с 2015 года и по начало 2021 года.

Инвестиционный доход от собственности держателей полисов занимает самую незначительную долю в составе денежных доходов россиян в целом по стране и в Нижегородской области в анализируемом периоде (менее 0,1 %); однако он стремительно набирает обороты: прирост в 2018 году в целом по стране инвестиционного дохода составил 13,1 млрд. руб.; в 2019 году – 6,5 млрд. руб. На это повлияла проводимая банками агрессивная политика по продаже клиентам полисов инвестиционного и накопительного страхования жизни.

Таблица 5

**Вклады (депозиты) и прочие привлеченные средства физических лиц
кредитными организациями в целом по стране, млрд. руб.**

Показатели	на начало года					абс. изменение к предыдущему году			
	2016	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
Всего	23219,1	24200,3	25987,4	28640,2	30549,0	981,2	1787,1	2652,8	1908,8
в том числе:									
- в рублях	16398,2	18476,7	20642,6	22351,6	24572,7	2078,5	2165,9	1709,0	2221,1
- в иностранной валюте	6820,9	5723,7	5344,8	6108,6	5976,3	-1097,2	-378,9	763,8	-132,3

Источник: рассчитано автором по статистическим данным [18, с.473-474]

Автором ранее были проанализированы данные по объему и составу денежных накоплений россиян в разрезе остатков вкладов, остатков наличных денег, ценных бумаг и сформулированы выводы [19, с.137-138].

Мы считаем, что величина процентов, начисленных по денежным средствам на банковских счетах физических лиц в кредитных организациях и инвестиционный доход от собственности держателей полисов будет продолжать расти в абсолютном выражении и увеличивать долю в структуре денежных доходов населения страны, так как россияне склонны к накоплению. Об этом свидетельствуют данные таблицы 5. Несмотря на снижение процентных ставок по вкладам физических лиц, россияне продолжают нести деньги в кредитные организации. Так, на протяжении всего анализируемого периода, объем вкладов и прочих привлеченных средств физических лиц кредитными организациями ежегодно увеличивается и на начало 2020 года составил 30549 млрд. руб. Наибольший прирост произошел в течение 2018 года и составил 2652, 8 млрд. руб.

Следует отметить, что информация по показателю «доходы от собственности» в рамках представленных компонентов является полной и достоверной, так как

формируется на основе данных, представленных ФНС России и Центральным банком Российской Федерации.

Анализ прочих денежных поступлений населения в целом по стране и в Нижегородской области

Прочие денежные поступления устойчиво занимают третье место в структуре денежных доходов населения страны (данные табл. 1); при этом их доля ежегодно сокращается. Так, в 2015 году удельный вес прочих денежных поступлений россиян составлял 17,4 %, что в абсолютном выражении соответствует 9240,7 млрд. руб., а в 2019 году доля этих поступлений в целом по стране составила 12,3 % и их объем сократился на 1767,1 млрд. руб. в течение анализируемого периода до 7629,5 млрд. руб.

Проведем анализ состава и структуры прочих денежных поступлений населения в целом по стране и в Нижегородской области. Данные представим в таблице 6.

Таблица 6

Анализ состава и структуры прочих денежных поступлений населения (в целом по стране и в Нижегородской области) по итогам за год

Показатели	Абсолютное значение, млрд. руб.					в процентах к общему итогу, %				
	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
Прочие денежные поступления россиян в целом по стране, всего <i>в том числе:</i>	9240,7	8544,4	8285,8	7473,6	7629,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
- поступления, распределенные по статьям формирования денежных доходов населения в целом по стране,	1989,1	1802,6	1795,3	1875,3	2041,8	21,5	21,1	21,7	25,1	26,8
- Нижегородская обл.	51,4	46,1	51,3	46,9	53,3	18,8	20,6	29,5	31,6	31,3
- поступления, не распределенные по статьям формирования денежных доходов населения в целом по стране,	7251,6	6741,8	6490,5	5598,3	5587,7	78,5	78,9	78,3	74,9	73,2
- Нижегородская обл.	221,3	178,1	122,6	101,6	117,0	81,2	79,4	70,5	68,4	68,7
Прочие денежные поступления населения Нижегородской области, всего	272,7	224,2	173,9	148,5	170,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Источник: рассчитано автором по статистическим данным [15], [16]

Совокупная величина прочих денежных поступлений в Нижегородской области ежегодно сокращается в абсолютном выражении в анализируемом периоде. Так, в 2017 году этот показатель максимально сократился на 50,3 млрд. руб. и составил

173,9 млрд. руб. (данные табл. 6). На протяжении 2018 года и 2019 года также происходило сокращение совокупной величины прочих денежных поступлений в Нижегородской области на 25,4 млрд. руб. и на 21,8 млрд. руб. в 2019 году соответственно.

Поступления, распределенные по статьям формирования денежных доходов населения, в анализируемом периоде в абсолютном выражении имеют разнонаправленную динамику, как и общий размер прочих денежных поступлений населения страны (данные таблицы 6). Наименьшее значение этих поступлений наблюдается в стране в 2017 году и составляет 1795,3 млрд. руб. Поступления, распределенные по статьям формирования денежных доходов населения, выросли в 2019 году на 166,5 млрд. руб. и составили 2041,8 млрд. руб. в России в целом. Прочие поступления, распределенные по статьям формирования денежных доходов населения, включают в себя: денежные переводы, включая безвозмездные переводы из-за рубежа в пользу физических лиц-резидентов; выигрыши по лотереям и другим операциям игорного бизнеса; доходы от сдачи вторсырья; компенсационные выплаты отдельным категориям граждан по вкладам (Сбербанка); проценты (дисконт), полученные при оплате предъявленного к платежу векселя; материальную выгоду, полученную от экономии на процентах за пользование налогоплательщиками заемными (кредитными) средствами, полученными от организаций или индивидуальных предпринимателей, от приобретения товаров (работ, услуг) и ценных бумаг [10]. Доля рассматриваемых прочих денежных поступлений в анализируемом периоде ежегодно увеличивается и на конец 2019 года составила 26,8 % в структуре прочих денежных поступлений населения страны.

Размер прочих денежных поступлений, распределенных по статьям формирования денежных доходов населения по Нижегородской области, колеблется в абсолютном выражении: сокращаясь до 46,1 млрд. руб. в 2016 году и в 2018 году до размера 46,9 млрд. руб. и увеличиваясь в 2019 году до 53,3 млрд. руб. (данные табл. 6). Однако анализ структуры прочих доходов населения Нижегородской области показал, что по исследуемому показателю сформировалась устойчивая тенденция роста доли этих поступлений в их совокупной величине. Так, доля прочих денежных поступлений, распределенных по статьям формирования денежных доходов, в Нижегородской области в 2015 году составила 18,8 %, а уже в 2019 году размер увеличился до 31,3 % от совокупной величины прочих денежных поступлений в регионе. Это говорит, во-первых, о повышении качества статистических данных, а во-вторых, о выводе части денежных доходов нижегородцев, которые ранее не распределялись по статьям формирования денежных доходов, из теневой экономики.

Структура прочих денежных поступлений в рамках компонентов в целом по стране отражает сформированные пропорции и устойчива в динамике. Размер поступлений, не распределенных по статьям формирования денежных доходов населения России, преобладает и в абсолютном выражении и в структуре прочих денежных поступлений населения и составляет около 75 % (данные табл. 6). Именно эта часть прочих денежных поступлений населения определяется расчетным методом как разница между объемами расходов и сбережений и объемами денежных доходов населения, представленных в официальной отчетности, то есть сальдовым методом [10], и скрывает в себе конкретные источники денежных доходов населения. Величина не распределенных прочих денежных поступлений населения потрясает – это 5,6 трлн. руб. в 2019 году.

Сопоставление доходов и расходов россиян

Второй вопрос связан с организацией контроля за расходами населения. В настоящее время в России представляется информация о денежных расходах и сбережениях населения. Данные о денежных расходах и сбережениях населения носят обобщающий характер и формируются в целом по стране. Расширение границ

банковской тайны и фиксация денежных расходов в личном кабинете налогоплательщика настораживают россиян. Складывается представление о том, что фискальные структуры в нашей стране пытаются организовать тотальный финансовый контроль за расходами граждан. На практике уже не первый год кредитные организации практикуют аналитику данных по расходам физических лиц и наглядно ее демонстрируют, не спрашивая на то разрешение у своих клиентов. Налоговые органы шагнули дальше: они собирают разрозненную информацию по денежным расходам налогоплательщика в одном месте с привязкой к его идентификационному номеру. Сформировать такую информацию, используя современные технические средства, возможно, но актуальным остается вопрос об использовании этих данных в целях организации контроля за расходами.

На практике формирование денежных доходов и расходов, сбережений часто происходит гражданином не индивидуально, а в рамках домохозяйств. Уточнением понятия «домохозяйство» занимаются многие ученые [20, с.107], [21, с.58]. Под домашним хозяйством понимают совокупность лиц, проживающих в одном жилом помещении или его части, как связанных, так и не связанных отношениями родства, совместно обеспечивающих себя всем необходимым для жизни, полностью или частично объединяя и расходую свои средства. Домашнее хозяйство может состоять из одного человека, живущего самостоятельно. В последнем случае организовать контроль не составляет сложности. Но если домохозяйство состоит из двух и более лиц, то возникают вопросы, связанные с качеством определения домохозяйства, составом его членов, жизненным циклом домохозяйства, организацией учета доходов и расходов в рамках одного домохозяйства и другие. Фактически может складываться ситуация, когда одни члены домашнего хозяйства формируют совокупные доходы, а участвуют в осуществлении денежных расходов и сбережений другие его члены. В рассматриваемой ситуации крайне сложно осуществить сопоставление денежных доходов и расходов, сбережений в целях организации финансового контроля в рамках одного домохозяйства.

Заключение

Анализ состава и структуры денежных доходов населения страны показал, что основными видами доходов для россиян были и остаются оплата труда и социальные выплаты. Рыночные преобразования раскрывают возможности для изменения сложившейся структуры денежных доходов россиян за счет увеличения доходов от предпринимательской деятельности и доходов от собственности. На ситуацию может повлиять комплексная поддержка государства, направленная на поощрение хозяйственной инициативы; формирование финансовой культуры граждан по использованию разнообразных финансовых инструментов повышающих доходность домохозяйств.

Существующие сложности в формировании статистических показателей по компонентам денежных доходов населения приводят к образованию значительных сумм денежных поступлений, не распределенных по статьям формирования денежных доходов населения, что подталкивает госструктуры к усилению контроля за доходами граждан. С такой позицией власти сложно не согласиться, так как недоучтенные доходы порождают недопоступление налогов в бюджет и взносов во внебюджетные фонды. На практике такая инициатива государства может спровоцировать недовольство со стороны населения и бизнеса.

Мы считаем, что полученные обобщенные данные о денежных доходах и расходах населения целесообразно использовать для оценки уровня, структуры, и тенденций в области экономического благосостояния россиян; для оценки эффективности мер социальной политики; для формирования других компонентов

национальных счетов. Но о жестком контроле за денежными доходами и расходами граждан говорить еще преждевременно.

Список литературы

1. Тучина Ю.В. Сущность доходов населения // *Инновации и инвестиции*. 2018. № 12. С.61-64.
2. Сабетова Т.В. Новый подход к классификации источников доходов населения // *Экономика труда*. 2018. Том 5. № 2. С. 587-598. DOI: <https://doi.org/10.18334/et.5.2.39011>
3. Бондаренко Н.А. Исследование доходов населения Хабаровского края // *Ученые заметки ТОГУ*. 2018. Том 9, № 1. С. 625-631.
4. Гэлбрейт Дж. Экономические теории и цели общества. М.: Прогресс, 1979. 406с.
5. Булавинец В. М., Захарек А.Н. Теоретические основы доходов домохозяйств // *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2019. № 10-4(54). С. 29-33.
6. Костюк И.В. Занятость и самозанятость как формы доходной деятельности граждан // *Российский журнал правовых исследований*. 2017. Том 4. №2. С. 202-206. DOI: <https://doi.org/10.17816/RJLS18339>
7. Хикс Дж. Р. Стоимость и капитал: Пер. с англ. М.: Прогресс, 1993. 448с.
8. Guide to non-profit organizations in the SNA. Department of economic and social affairs. Statistics division. Methodical studies series F, № 91. Guide to national accounts. New York and Geneva: United Nations. 2006. 395 p. URL: https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_91r.pdf
9. Economic Commission for Europe. Conference of European Statisticians. Group of Experts on National Accounts. Tenth session Geneva, 26–29 April 2010 Item 1 of the provisional agenda Towards implementation strategy for the 2008 SNA in the EECCA and SEE countries. Implementation of the 2008 System of National Accounts in the Eastern Europe, Caucasus and Central Asia, South East Europe and Mongolia. 2010. 19p. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.20/2010/30.e.pdf>
10. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. Методологические положения по расчету показателей денежных доходов и расходов населения. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 13.04.2021).
11. Маркова Н.А., Любимова Е.А. Использование финансов для решения социальных проблем // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. 2016. № 46. С. 122-131.
12. Верховская О. Р., Богатырева К. А., Дорохина М. В., Кнатько Д. М., Шмелева Э. В. Национальный отчет. Глобальный мониторинг предпринимательства. Россия 2019/2020 СПб.: ВШМ СПбГУ, 2020. URL: https://gsom.spbu.ru/images/cms/menu/otchet_2020-red-2n-04-06.pdf (дата обращения 21.04.2021).
13. Янцен А.В. Альтернативные оценки доходов населения в регионах России // *Пространственная экономика*. 2017. № 1. С. 52-70. DOI: <https://doi.org/10.14530/se.2017.1.052-070>
14. Мигранова Л. А. Денежные доходы населения России в 2013-2018 гг.: результаты изменений в методологии Росстата // *Уровень жизни населения регионов России*. 2020. Том 16. № 2. С. 25-35. DOI: <https://doi.org/10.19181/lspr/2020.16.2.2>.
15. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. Официальная статистика/Население/Уровень жизни. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397>
16. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики по Нижегородской области. Официальная статистика / Население / Уровень жизни. URL: <https://nizhstat.gks.ru/folder/32657>
17. Маркова Н. А., Полазнова М.А. Актуальные проблемы социального страхования в России // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. 2014. № 40. С. 211-214.
18. Россия в цифрах. 2020: Краткий стат. сборник. М.: Росстат, 2020. 550с. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/GOyirKPV/Rus_2020.pdf
19. Маркова Н. А. Усиление роли домохозяйств как конечных потребителей валового внутреннего продукта и изменение системы групп финансовых отношений // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. 2017. № 53. С. 134-140.
20. Гаджиев Ю. А. Финансы домашних хозяйств: региональный анализ располагаемых ресурсов // *Север и рынок: формирование экономического порядка*. 2019. № 2(64). С. 105-115. DOI: <https://doi.org/10.25702/KSC.2220-802X.2.2019.64.105-115>
21. Воронин Г. Л., Захаров В.Я., Козырева П.М. Измерение устойчивости домохозяйств: 1994-2017 гг. // *Социологический журнал*. 2020. Том 26. № 1. С. 55-86. DOI: <https://doi.org/10.19181/socjour.2020.26.1.7053>.

References

1. Tuchina, YU.V. Sushchnost' dokhodov naseleniya [The essence of the income of the population] *Innovacii i investicii*. 2018, no. 12, pp. 61-64. (in Russ.).
2. Sabetova, T.V. Novyj podkhod k klassifikacii istochnikov dokhodov naseleniya [A new approach to the classification of sources of income of the population] *Ehkonomika truda*. 2018, Tom 5, no. 2, pp. 587-598. (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18334/et.5.2.39011>.
3. Bondarenko, N.A. Issledovanie dokhodov naseleniya Khabarovskogo kraja [Study of the income of the population of the Khabarovsk Territory] *Uchenye zametki TOGU*. 2018, Tom 9, no 1, pp. 625-631. (in Russ.).
4. Gehlbrejt, Dzh. Ehkonomicheskie teorii i celi obshchestva [Economic theories and goals of society]. M.: Progress, 1979. 406p. (in Russ.).
5. Bulavinec, V. M., Zakharek, A.N. Teoreticheskie osnovy dokhodov domokhozyajstv [Theoretical foundations of household income] *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*. 2019, no. 10-4(54), pp. 29-33. (in Ukrain.).
6. Kostyuk, I.V. Zanyatost' i samozanyatost' kak formy dokhodnoj deyatel'nosti grazhdan [Employment and self-employment as a form of income - generating activity of citizens] *Rossiiskij zhurnal pravovykh issledovanij*. 2017, Tom 4, no. 2, pp. 202-206. (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/RJLS18339>
7. Hiks, Dzh. R. [Cost and capital]. M.: Progress, 1993. 448p. (in Russ.).
8. Guide to non-profit organizations in the SNA. Department of economic and social affairs. Statistics division. Methodical studies series F, № 91. Guide to national accounts. New York and Geneva: United Nations. 2006, 395 p. Available at: https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_91r.pdf
9. Economic Commission for Europe. Conference of European Statisticians. Group of Experts on National Accounts. Tenth session Geneva, 26–29 April 2010 Item 1 of the provisional agenda Towards implementation strategy for the 2008 SNA in the EECCA and SEE countries. Implementation of the 2008 System of National Accounts in the Eastern Europe, Caucasus and Central Asia, South East Europe and Mongolia. 2010, 19p. Available at: <https://unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.20/2010/30.e.pdf>
10. Oficial'nyj sajt Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. Metodologicheskie polozeniya po raschetu pokazatelej denezhnykh dokhodov i raskhodov naseleniya [Methodological provisions for the calculation of indicators of monetary income and expenditure of the population]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed 13.04.2021).
11. Markova, N.A., Lyubimova, E.A. Ispol'zovanie finansov dlya resheniya social'nykh problem [Using finance to solve social problems] *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta*. 2016, no. 46, pp. 122-131. (in Russ.).
12. Verkhovskaya, O. R., Bogatyreva, K. A., Dorokhina, M. V., Knat'ko, D. M., Shmeleva, E.H. Nacional'nyj otchet. Global'nyj monitoring predprinimatel'stva. Rossiya 2019/2020 [National report. Global entrepreneurship monitoring. Russia 2019/2020]. SPb.: VSHM SPBGU, 2020. Available at: https://gsom.spbu.ru/images/cms/menu/otchet_2020-red-2n-04-06.pdf (accessed 21.04.2021).
13. Yantsen A.V. Alternative Estimates of Personal Income Per Capital in Russian Regions. *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2017, no. 1, pp. 52-70. DOI: <https://doi.org/10.14530/se.2017.1.052-070>
14. Migranova L.A. Monetary Income of the Russian Population In 2013-2018: Results of the Changes in the Rosstat Methodology. *Living Standards of the Population in the Regions of Russia*. 2020. vol. 16, no. 2, pp. 25-35. DOI: <https://doi.org/10.19181/isprr/2020.16.2.2>
15. Oficial'nyj sajt Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. Oficial'naya statistika/Naselenie /Uroven' zhizni [Official statistics/Population /Standard of living]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397>
16. Oficial'nyj sajt Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Nizhegorodskoj oblasti. Oficial'naya statistika / Naselenie / Uroven' zhizni [Official statistics/Population /Standard of living]. Available at: <https://nizhstat.gks.ru/folder/32657>

17. Markova, N. A., Polaznova, M.A. Aktual'nye problemy social'nogo strakhovaniya v Rossii [Current problems of social insurance in Russia] Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. 2014, no. 40, pp. 211-214. (in Russ.).
18. Rossiya v cifрах. 2020: Kratkij stat. sbornik [Russia in numbers. 2020: Short stat. collection]. M.: Rosstat, 2020. 550p. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/GOyirKPV/Rus_2020.pdf
19. Markova, N. A. Usilenie roli domokhozyajstv kak konechnykh potrebitelej valovogo vnutrennego produkta i izmenenie sistemy grupp finansovykh otnoshenij [Strengthening the role of households as final consumers of gross domestic product and changing the system of groups of financial relations] Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. 2017, no. 53, pp. 134-140. (in Russ.).
20. Gadzhiev, YU. A. Finansy domashnikh khozyajstv: regional'nyj analiz raspolagaemykh resursov [Household finance: regional analysis of available resources] Sever i rynek: formirovanie ehkonomicheskogo porjadka. 2019, no. 2(64), pp. 105-115. (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25702/KSC.2220-802X.2.2019.64.105-115>
21. Voronin, G.L., Zakharov, V.Y., Kozyreva, P.M. Measuring the Stability of Households: 1994–2017. Sotsiologicheskij Zhurnal = Sociological Journal. 2020. vol. 26, no. 1, pp. 55-86. DOI: <https://doi.org/10.19181/socjour.2020.26.1.7053>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Наталья Андреевна Маркова, к.э.н., доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и финансов. «Волжский государственный университет водного транспорта. 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5, e-mail: masha.markovka@mail.ru

Nataliya A. Markova, Ph.D. in Economics, Associate Professor of the Department of Accounting, Analysis and Finance, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: masha.markovka@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 336.6

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.v68.214>

Финансирование воднотранспортной инфраструктуры: зарубежный опыт

С.В. Милославская¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5745-0959>

Е.С. Плотникова²

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

²Университет Витаутаса Великого, г. Каунас, Литва

Аннотация. В последние десятилетия многие страны мира сталкиваются с проблемой перегруженности наземных видов транспорта в связи с увеличением объемов перевозимых грузов. Вследствие этого большое внимание уделяется внутреннему водному транспорту, который располагает значительным неиспользованным потенциалом. Также немаловажно, что внутренний водный транспорт (ВВТ) по сравнению с альтернативными видами транспорта имеет такие преимущества, как низкая себестоимость перевозок, надежность, экологичность. В данной статье проанализирован опыт финансирования объектов воднотранспортной инфраструктуры зарубежных стран, обладающих развитой сетью внутренних водных путей, а именно, Германии и США. Цель работы – обобщение практик привлечения средств в развитие инфраструктуры внутреннего водного транспорта.

Ключевые слова: внутренний водный транспорт, внутренние водные пути, инфраструктура, дефицит финансирования, государственно-частное партнерство, сбор за пользование инфраструктурой, инвестиции.

Financing of water transport infrastructure: foreign experience

Svetlana V. Miloslavskaya¹

Elena S. Plotnikova²

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

²Vytautas the Great University, Kaunas, Lithuania

Abstract. In recent decades, many countries of the world are faced with the problem of congestion in land transport due to the increase in the volume of transported goods. As a result, much attention is paid to inland waterway transport, which has significant untapped potential. It is also important that inland waterway transport (IWT), in comparison with alternative modes of transport, has such advantages as low cost of transportation, reliability, and environmental friendliness. This article analyzes the experience of financing water transport infrastructure facilities in foreign countries with a developed network of inland waterways, namely, Germany and the United States. The purpose of the work is to generalize the practices of attracting funds for the development of the infrastructure of inland water transport.

Keywords: inland waterway transport, inland waterways, infrastructure, funding gap, public-private partnership, infrastructure user fee, investment.

Введение

Ситуация в ЕС: доминирующая роль автотранспорта на рынке грузоперевозок

За последние десятилетия объем грузовых перевозок в Европе значительно увеличился и этот рост был осуществлен преимущественно с использованием автомобильного транспорта (табл. 1).

Таблица 1

Объем грузовых перевозок в ЕС-27, млрд. т-км³¹

Год	Автотранспорт	Все виды транспорта
1995	1127,2	2400
2000	1343,9	2753
2005	1588,2	3088
2010	1558,3	3026
2015	1560,9	3072
2018	1708,9	3353

С 1995 по 2018 год объем перевезенных грузов по ЕС в целом (27 стран) по всем видам транспорта вырос на 40 %. При этом перевозки грузов автотранспортом росли быстрее. Их рост составил 52 %. В 2018 году более половины от общего объема перевезенных грузов осуществлялось с использованием автотранспорта. Если же говорить отдельно о перевозках наземными видами транспорта, то здесь доля автотранспорта в 2018 году составила 72 % (рис. 1).

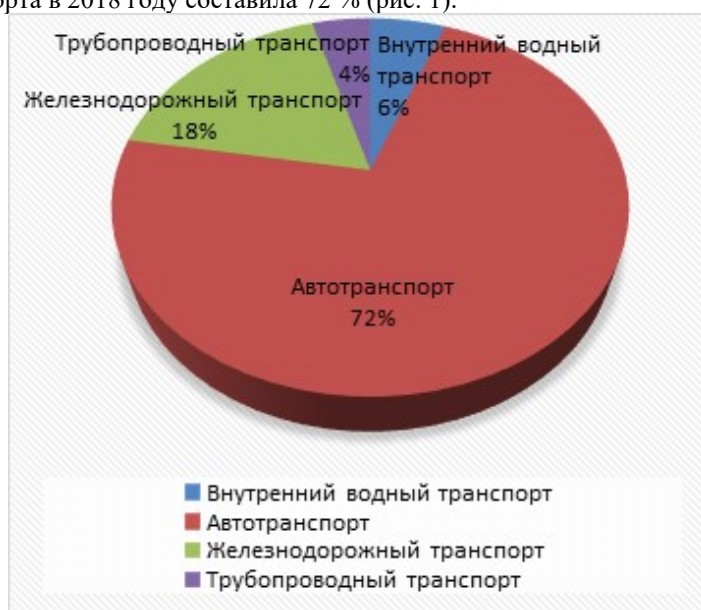


Рис. 1. Модальное разделение грузовых перевозок среди наземных видов транспорта в ЕС-27 (т-км в %) 2018 г.³²

Fig. 2. Modal division of freight transport among land transport modes in the EU-27 (t-km in%) 2018

³¹ EU Transport in figures. Statistical pocketbook 2020. <https://op.europa.eu/s/pOaw>

³² EU Transport in figures. Statistical pocketbook 2020. <https://op.europa.eu/s/pOaw>

Говоря об общих выбросах парниковых газов, стоит отметить, что в последние годы в ЕС наблюдалась положительная динамика уменьшения этого показателя. Что же касается выброса парниковых газов от транспорта, то здесь ситуация продолжает ухудшаться. В целом по ЕС выброс парниковых газов от транспорта вырос с 1995 по 2018 год на 23 % (табл. 2).

Таблица 2

Выбросы парниковых газов от транспорта, в миллионах тонн CO₂ эквивалента³³

Год	ЕС-27
1995	892.6
2000	1012.0
2005	1096.9
2010	1068.1
2015	1028.6
2018	1095.7

В 2018 году доля от выброса парниковых газов, приходящихся на транспорт, в целом по ЕС составила почти 25 % (один из трех самых крупных показателей, больше только у энергетических отраслей – 26%, а третье место занимает промышленность с 20%). Доля парниковых газов, образуемых автотранспортом в ЕС, составляет 72 % от общих загрязнений транспортной отраслью³. Ситуация по выбросам CO₂ от транспорта в ЕС представлена в табл. 3.

Таблица 3

Выбросы CO₂ от транспорта, млн. т³

Год	ЕС-27
1995	876.4
2000	996.0
2005	1083.8
2010	1056.4
2015	1016.9
2018	1083.1

Доля выбросов CO₂ от транспорта в 2018 году составила 30 % от общего количества выбросов CO₂. При этом доля автотранспорта составляет 82 %. В 2018 году на транспорт приходилось 30 % от общего количества потребленной энергии в ЕС. При этом рассматривая соотношения по видам транспорта, безусловным лидером по количеству энергии был автотранспорт – 93 % (табл. 4).

Таблица 4

Доля в транспортном секторе³⁴

Вид транспорта	ЕС-27
Автомобильный	93 %
Железнодорожный	2 %
Авиационный (внутренние перевозки)	2 %
Внутренний водный транспорт (внутренние перевозки)	1 %

³³ EU Transport in figures. Statistical pocketbook 2020. <https://op.europa.eu/s/pOaw>

³⁴ EU Transport in figures. Statistical pocketbook 2020. <https://op.europa.eu/s/pOaw>

Трубопроводный и др.	2 %
----------------------	-----

1. Цель транспортной политики ЕС – устойчивое развитие в условиях климатической нейтральности

В настоящее время продолжается рост спроса на автомобильный транспорт, что не может не беспокоить. Помимо множества преимуществ, грузовые перевозки автомобильным транспортом сопряжены с такими негативными последствиями перевозок, как загрязнение окружающей среды, изменение климата, шумленность, заторы и дорожно-транспортные происшествия, что создает проблемы с точки зрения экономики, здравоохранения и благосостояния граждан. Эти причины заставляют искать решения, направленные на снижение последствий.

Для изменения зависимости от углеводородов и снижения загруженности транспортных артерий требуются стратегии устойчивого развития транспорта, между тем как нынешняя транспортная система не является достаточно устойчивой с точки зрения предполагаемого роста. Очевидно, что сложившаяся ситуация потребует улучшения качества производительности грузовых автомобильных перевозок, а также усиления роли других видов транспорта.

Согласно данным Европейской комиссии, объемы грузовых перевозок в Европе в период с 2020 до 2050 г. увеличатся примерно на 60 процентов [2]. При этом целью транспортной политики Европейского Союза является создание устойчивой транспортной системы [1]. В этом контексте можно сказать, что транспортная система должна быть разработана таким образом, чтобы обеспечить выполнение требований по охране окружающей среды. В связи с этим, основные вызовы в транспортной сфере для государств-членов ЕС на ближайший период - создание единой транспортной системы, установка современных сетей мультимодальной транспортной инфраструктуры, переход к мобильности с низким уровнем выбросов, большей транспортной доступностью и надежностью.

Европейский зеленый курс (The European Green Deal) – «это новая стратегия роста, направленная на преобразование ЕС в справедливое и процветающее общество с современной, ресурсоэффективной и конкурентоспособной экономикой, в которой в 2050 году не будет чистых выбросов парниковых газов «и где экономический рост не связан с использованием ресурсов» [14]. Таким образом, разработчики проекта поставили генеральную задачу превратить Европу в «первую климатически нейтральную часть света».

Что касается выбросов, то для обеспечения климатической нейтральности необходимо к 2050 году сократить выбросы от транспорта на 90%. Такая амбициозная задача ЕС не может быть решена без участия всех видов транспорта в стремлении по сокращению выбросов. «В приоритетном порядке значительная часть из 75% внутренних грузов, перевозимых сегодня автомобильным транспортом, должна быть переведена на железнодорожные и внутренние водные пути» [7]. Кроме того, в проекте констатируется, что «степень воздействия различных средств транспорта на окружающую среду и здоровье должна непосредственно отражаться в их цене» [7]. Также поставлена задача по прекращению в будущем субсидирования ископаемого топлива.

2. Инфраструктура внутреннего водного транспорта: состояние и существующие проблемы

Внутренний водный транспорт обладает значительным потенциалом для внесения вклада в климатические цели ЕС, но часто не получает должного внимания. Неравномерное развитие воднотранспортной инфраструктуры – серьезная проблема Европейского Союза. «Внутренние водные судоходные пути имеются в 21 из 28 стран – членов ЕС. Наиболее заметные различия наблюдаются на Востоке и Западе региона.

Исторически сложилось так, что в восточной части Европейского союза располагаются государства, которые вошли в состав ЕС позже других. Эти страны имеют более низкий уровень экономического развития, отрицательно сказавшийся и на состоянии воднотранспортной отрасли. Недостаточное техническое оснащение, зачастую непригодность для современных видов перевозок (к примеру, интермодальных), наличие «узких мест» отличает водные пути восточной части Европейского Союза. Так, состояние самой протяженной сети внутренних водных путей Европы Рейн-Дунай значительно отличается по мере перемещения с запада на восток. Слабая развитость воднотранспортной инфраструктуры восточной части ЕС сказывается на показателях работы отрасли в этом регионе. Если в бассейне Рейна осуществляется около 80 % грузовых перевозок по внутренним водным путям ЕС, то на долю Дуная приходится лишь 9%» [3].

Благодаря запасам пропускной способности (в отличие от перегруженных дорог), водные пути даже в краткосрочной перспективе способны внести дополнительный вклад в улучшение ситуации по воздействию грузового транспорта на климат, предлагая значительный модальный потенциал сдвига. Уже сегодня отрасль занимает важную роль в транспортном комплексе многих стран. Подробнее остановимся на опыте содержания воднотранспортной инфраструктуры в США и Германии (как страны Европейского Союза, обладающей значительными внутренними водными путями). Наиболее интенсивно среди рассматриваемых государств внутренние водные пути используются в Германии. Доля ВВТ в общем грузообороте этой страны составляет почти 10%, немного ниже - 7,2 % этот показатель в США (табл. 5).

Таблица 5

Показатели работы ВВТ в США, ЕС и Германии³⁵

Показатели	США	ЕС-28	Германия
Протяженность судоходных внутренних водных путей, тысяч километров	40,2	42,0	7,7
Грузоперевозки ВВТ, млрд. ткм	572,3	150,9	59,1
Доля ВВТ в общем грузообороте транспорта	7,2 %	4,3 %	9,6 %

Германия – одно из наиболее развитых государств с точки зрения состояния водного транспорта. Эта страна является примером того, как естественные водные пути, интегрированные с искусственными сооружениями, могут быть использованы для грузовых и рекреационных целей. Основные водные транспортные артерии Германии - реки Рейн и Дунай. В 1992 году Дунай был связан с Рейном каналом Рейн-Майн-Дунай. Сегодня Рейн – одна из самых загруженных рек мира. Основной объем речных грузоперевозок Германии приходится именно на эту водную артерию. Причем наличие, густота и габариты водных путей напрямую связаны с развитием отрасли и состоянием инфраструктуры.

Что касается США, то в этой стране серьезной проблемой для развития ВВТ может стать старение инфраструктуры. Соединенные Штаты больше не имеют лучшей инфраструктуры в мире. Например, согласно Всемирному экономическому форуму, общая инфраструктура Соединенных Штатов занимает 12-е место. По этому показателю США опережают такие страны как Япония, Германия, Нидерланды, Франция [6].

³⁵ EU Transport in figures. Statistical pocketbook 2016. <https://www.europeansources.info/record/eu-transport-in-figures-statistical-pocketbook-2016/>

Большинство гидротехнических сооружений на внутренних водных путях США построены в первой половине XX века. Согласно разумным нормативам, срок службы гидротехнических сооружений составляет 50 лет, но за счет регулярно проводимых Американским корпусом военных инженеров ремонтно-восстановительных работ может быть продлен до 75 лет. В настоящее время более чем у половины объектов гидротехнических сооружений фактический срок службы свыше 50 лет, а у трети объектов - более 70 лет. «По данным Американского общества инженеров-строителей (American Society of Civil Engineers - ASCE) средний возраст всех шлюзов, находящихся в федеральной собственности, расположенных на внутренних водных путях США, равен примерно 60-ти годам» [4]. В целом техническое состояние инфраструктуры оценивается как удовлетворительное, однако, вследствие её значительного возраста продолжительность планового и внепланового прекращения судопропуска через шлюзы нарастает из года в год [16]. Так, если в 2000 году в связи с необходимостью проведения как плановых, так и аварийных ремонтных работ судопропуск был остановлен примерно на 10 тыс. час., в том числе незапланированный – на 6 тыс. час., то уже в 2014 году – соответственно на 26 тыс. час. и 12 тыс. час (рис.2).

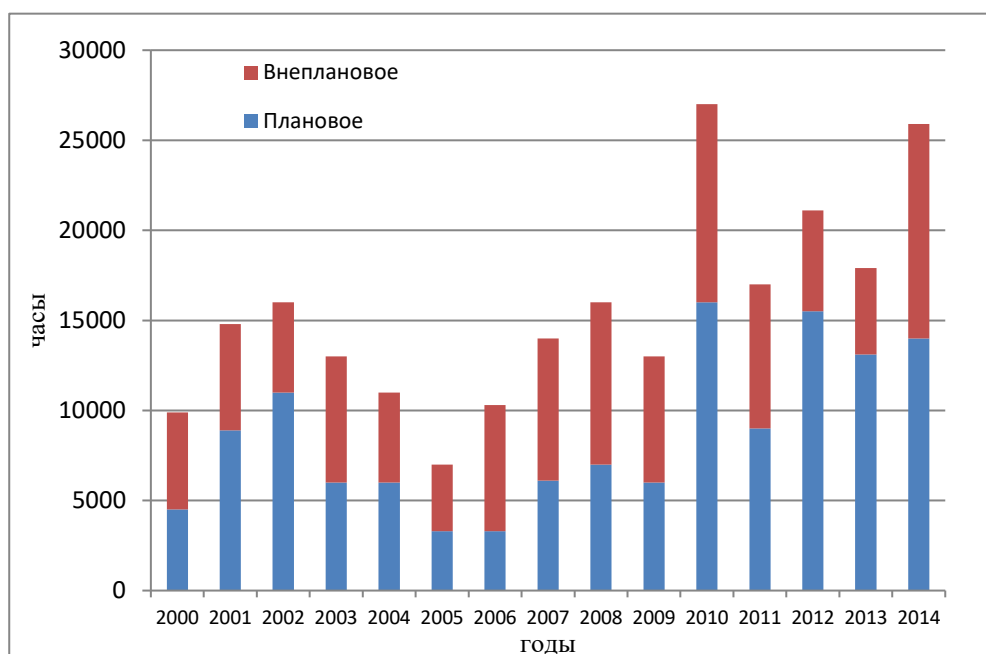


Рис. 2. Продолжительность планового и внепланового прекращения судопропуска на внутренних водных путях США [1]

Fig. 2. Duration of planned and unscheduled termination of ship passage on US inland waterways [1]

В период с 2000 по 2014 года почти вдвое увеличилось время средней задержки при шлюзовании с 64 до 121 минуты. В 2014 году на внутренних водных путях США 49% судов испытали задержки [13].

«Наибольшую тревогу у пользователей инфраструктуры внутренних водных путей США вызывает состояние отдельных участков сети» [5]. Так, «верхняя Миссисипи вместе с впадающей с востока рекой Иллинойс образуют очень важную для экспортеров сельхозпродукции и, в первую очередь, зерна воднотранспортную подсистему с высокой плотностью перевозок общей протяженностью 1900 км. На этой части Миссисипи расположены 28 шлюзов с 34-мя камерами, а на реке Иллинойс – 7 шлюзов. Шлюзы на реке Иллинойс сооружены более 80-ти лет назад. На верхней

Миссисипи самый старый (шлюз №14) построен в 1922 г., 23 шлюза из 28-ти имеющихся построены в 1930-е – начало 1940-х годов, 3 шлюза – в 1950-е – начало 1960-х годов и только 1 шлюз (Melvin Price) - в 1990-е годы» [15].

Таким образом, можно сделать вывод, что обновление инфраструктуры является необходимой мерой для дальнейшего развития ВВТ в рассматриваемых регионах. Одним из основных препятствий для развития внутреннего водного транспорта в последние десятилетия было недостаточное финансирование, которое привело к старению инфраструктуры и флота. В результате отрасль зачастую казалась непривлекательной для инвесторов и бизнеса. Растущий спрос на новую „зеленую“ экономику открывает новые возможности для более активного развития внутреннего водного транспорта. Если удастся увеличить объем инвестиций и установить разумные связи между устойчивой мультимодальной мобильностью, возобновляемыми источниками энергии, экономикой замкнутого цикла и устойчивостью к изменению климата, то это позволит внутреннему судоходству вступить в 21 век и обеспечить столь необходимую добавленную стоимость для экономики и общества. Улучшить состояние основных фондов отрасли способна грамотная политика в области финансирования объектов воднотранспортной инфраструктуры.

3. Система и основные источники финансирования воднотранспортной инфраструктуры Германии и США

Финансирование транспорта является серьезной проблемой государства, особенно, в условиях ограниченности ресурсов. Однако ни в одной стране мира строительство и эксплуатация объектов гидротехнических сооружений ввиду их стратегического значения и капиталоемкого характера, не обходится без государственного финансирования. Но есть и исключения. В соответствии с законом Федеративной Республики Германии [9], федеральное правительство является национальным органом, отвечающим за строительство и поддержание транспортной инфраструктуры. В США «система финансирования внутренних водных путей закрепляет в полном объеме государственное финансирование технического обслуживания и ремонта, а также 50 % от суммы затрат на строительство и модернизацию гидротехнических сооружений. Расходы на содержание внутренних водных путей полностью находятся в сфере ответственности федерального бюджета. За счет бюджетных ассигнований содержится Служба береговой охраны, которая несет ответственность за обеспечение водных путей судоходной обстановкой и безопасностью плавания. Значительную роль в финансировании внутреннего водного транспорта США играют также бюджеты штатов и местных органов управления» [8].

Остановимся более подробно на системе финансирования внутренних водных путей в Германии и США.

Германия

«Транспортная политика в Германии осуществляется в соответствии с 10-15-летним прогнозом развития транспортной отрасли. На его основе Министерство транспорта разрабатывает пятилетний инвестиционный план (Investitionsrahmenplan – IRP). Такая практика применяется в стране с 1973 года. Инвестиционный план является основанием для финансирования проектов транспортной сферы. Процесс определения инвестиционных приоритетов зависит от текущей экономической ситуации. К примеру, распределение инвестиций согласно IRP на 2011-2015 гг. по отраслям транспорта предполагает использование половины средств на развитие автомобильного транспорта и немногим более 40% - на железнодорожный транспорт. Воднотранспортная отрасль традиционно финансируется в меньшем объеме – 9 % от общего количества выделенных средств» [10].

«Дополнительным источником финансирования развития транспортной инфраструктуры Германии служат финансовые ресурсы Европейского Союза. Из фондов ЕС в период 2007-2013 годов Германии было выделено 1,52 млрд. евро, из которых 91 млн. евро предназначался для развития внутреннего водного транспорта» [10].

Еще один источник финансирования ВВТ в Германии – это сборы, среди которых можно выделить судоходный сбор, величина которого составляет около 80 млн. евро в год, и ежегодный сбор профсоюзов рекреационных и спортивных организаций в размере 51 тыс. евро. Однако доходы от существующих сборов весьма незначительны и покрывают лишь 5 % расходов по содержанию внутренних водных путей [10].

С 2004 года в Германии появился еще один источник финансирования ВВТ – часть дорожного сбора, который взимается с грузовых автомобилей массой 12 т или более и зависит от километража, пройденного по дорогам федерального подчинения в Германии: 50% доходов от сбора направляется на финансирование содержания автомобильных дорог, 38% – железнодорожного транспорта и 12% направляется на финансирование внутренних водных путей [10].

Альтернативным способом финансирования проектов, связанных с развитием внутреннего водного транспорта, является практика государственно-частного партнерства (ГЧП), которая в будущем должна стать основной моделью реализации социально-значимых проектов.

США

В США в Законе о развитии водных ресурсов (Water Resources Development Act of 1986 – WRDA 1986³⁶) закреплена «обеспечение технического обслуживания и ремонта гидротехнических сооружений на ВВП за счет целевых государственных ассигнований, выделяемых Американскому корпусу военных инженеров», а затраты на новое строительство, модернизацию и реконструкцию покрываются из государственного бюджета и специального трастового фонда (IWTF) в соотношении 50/50.

Трастовый фонд был учрежден в 1978 году в соответствии с законом «О налогах на внутренних водных путях» (The Inland Waterways Revenue Act - 1978 Revenue Act³⁷). Инвестиционный фонд формируется за счет налога на топливо, который уплачивают судоходные компании при бункеровке толкачей и буксиров. Налоги собираются с определенных законом 26-ти участков, общей протяженностью 17,7 тыс. км с расположенными на них 171 шлюзом с 207 камерами – именно эти объекты воднотранспортной инфраструктуры и имеют в дальнейшем право на получение финансирования из трастового фонда. Собранные налоги фонд инвестирует в процентные облигации, поэтому суммарные доходы фонда складываются из налоговых поступлений и процентов по облигациям.

Налоги стали аккумулироваться в трастовом фонде, начиная с 1980 г. За всю историю существования трастового фонда рост налога на топливо в сопоставимых ценах составил более чем в 3 раза. В течение первых шести лет собранные налоги только накапливались в трастовом фонде, но ни один из проектов нового строительства, модернизации или реконструкции не получал финансирования из его средств, поскольку закон «О налогах на внутренних водных путях» прямо указывал, что расходовать средства фонда надлежит только при условии принятия специального нормативного акта. Таким нормативным актом и стал уже упоминавшийся выше закон о развитии водных ресурсов (Water Resources Development Act of 1986 – WRDA 1986), который фактически вновь подтвердил цели, ради которых и создавался фонд, установил «формулу» распределения расходов между государственными и

36 https://wiki2.wiki/wiki/Water_Resources_Development_Act_of_1986

37 <https://www.congress.gov/95/statute/STATUTE-92/STATUTE-92-Pg1693.pdf>

внебюджетными источниками, а также добавил участок водного пути Теннесси-Томбигби к перечню водных путей, с которых собирается налог на топливо.

Таким образом, к моменту принятия данного закона в трастовом фонде находилось 260 млн.долл. Размер ежегодных поступлений налога на топливо в трастовый фонд напрямую зависит от объёма речных перевозок. В среднем за последние 5 лет ежегодно поступления составляли 86 млн. долл., причем минимальное значение - 74 млн. долл. отмечалось в 2010 году. Максимальный объём средств в трастовом фонде отмечался в 2002 году – 412, 64 млн. долл. (табл.6).

Таблица 6

Финансирование трастового фонда, млн. долл. [16]

Год	Расходы	Полученные доходы	%% по депозитам		Доходы + %% по депозитам	Баланс на конец года
1987	24,50	48,30	16,50		64,80	300,60
1988	62,10	48,10	24,30		72,40	310,80
1989	62,80	47,00	26,00		73,00	321,10
1990	117,30	62,80	26,20		89,00	292,80
1991	148,60	60,50	21,20		81,70	225,90
1992	122,70	69,90	13,70		83,60	186,70
1993	74,50	78,60	7,50		86,10	198,30
1994	75,70	88,40	9,30		97,70	220,20
1995	94,80	103,40	13,30		116,70	242,10
1996	85,50	108,40	15,60		124,00	280,60
1997	89,50	96,40	17,00		113,40	304,60
1998	76,90	91,10	18,30		109,40	337,09
1999	88,24	104,37	17,41		121,78	370,63
2000	102,38	99,58	19,96		119,54	387,79
2001	110,22	112,68	20,90		133,58	411,15
2002	104,49	95,28	12,40		107,68	412,64
2003	101,55	89,52	9,52		99,04	399,02
2004	117,26	90,85	6,91		97,76	382,03
2005	136,32	91,29	7,66		98,95	352,60
2006	183,87	80,81	9,37		90,18	267,67
2007	204,87	91,10	10,38		101,48	137,66
2008	202,16	87,60	4,78		92,38	27,48
2009	90,00	75,95	0,82		76,77	14,25
2010	50,13	73,95	0,15		74,10	38,21
2011	90,32	83,95	0,05		84,00	31,90
2012	88,70	89,20	0,04		89,24	45,90
2013	87,27	75,11	0,04		75,15	33,82
2014	97,87	81,73	0,02		81,75	24,66
2015	68,34	97,89	0,01		97,90	54,22

С 2003 г финансовое положение трастового фонда резко ухудшилось, поскольку значительные средства активно направлялись на модернизацию стареющей инфраструктуры ВВП. Кроме того, стоимость ряда проектов значительно превысила первоначальные сметы. В результате, начиная с 2009 года, ежегодные расходы из фонда не превышали поступлений за соответствующий год, что не давало возможности осуществлять новое строительство гидросооружений или модернизацию инфраструктуры. Поэтому Правительство США в 2009 г. освободило фонд от внесения его доли в общий объем финансирования согласно формуле 50/50 и взяло на себя все расходы. Кроме того, учитывая ухудшение экономической конъюнктуры

вследствие экономического кризиса и согласно Закону о восстановлении и реинвестировании (The American Recovery and Reinvestment Act of 2009) ряд проектов по строительству и капитальному ремонту объектов на внутренних водных путях также выполнялся без участия средств трастового фонда. В дальнейшем было сделано еще одно отступление от законодательно утверждённой «формулы» финансирования: согласно Закону о совершенствовании и развитии водных ресурсов³⁸ (The Water Resources Reform and Development Act of 2014) при строительстве шлюзов и дамбы Ольмстед на реке Огайо доля федерального бюджета составляет 85%, тогда как доля трастового фонда - всего 15%. Мы видим, что государство в очередной раз взяло на себя большую нагрузку, чем частный сектор.

Из трастового фонда реализованы 25 проектов, на которые было затрачено примерно 3 млрд. долл. из средств трастового фонда и столько же – из федерального бюджета, т.е. в общей сложности – 6 млрд. долл. В настоящий момент ощущается дефицит средств, необходимых для инвестирования проектов на внутренних водных путях. Так, в 2015 году средства фонда, включая налоги и проценты по депозитам, составили всего 54 млн. долл. С целью преодоления этого дефицита, начиная с 2017 года правительство внесло предложение о взимании платы с пользователей внутренних водных путей. Данное предложение правительства обосновывается тем, что за последнее время изменились ряд внешних факторов формирования государственного бюджета. Если раньше размер инвестиций в отрасль ограничивался средствами трастового фонда, то в настоящее время таким фактором становятся ассигнования из федерального бюджета [16].

Ожидается, что при сохранении установленного законодательством порядка финансирования проектов в соотношении 50:50 и одновременно предлагаемом сокращении его участия в финансировании ремонтных работ на объектах воднотранспортной инфраструктуры до уровня 25%, с учётом введения платы с пользователей внутренних водных путей доходы трастового фонда должны существенно возрасти, что позволит реализовывать новые инвестиционные проекты.

4. Стратегические направления развития инфраструктуры

Таким образом, анализ практик финансирования объектов воднотранспортной инфраструктуры крупных мировых экономических центров показал наличие ряда схожих проблем, препятствующих развитию отрасли, основная из которых - ограниченность финансовых ресурсов, необходимых для дальнейшего развития и совершенствования инфраструктуры внутренних водных путей.

Так, даже в Германии, несмотря на то, что состояние инфраструктуры ВВТ находится на высоком уровне, выделяемый объем средств не позволяет активно развивать отрасль. Подсчитано, что расширение немецких водных путей требует 1,3 млрд. евро в год, в то время как фактические ежегодные расходы на их содержание в период 2009-2013 годов составляли в среднем 64 % от необходимой суммы [10].

В США согласно Стратегии капитального строительства на внутренних водных путях, разработанной в 2010 году («Стратегия 2010») [11], «суммарная потребность речных бассейнов в проведении работ по новому строительству, реконструкции, модернизации и капитальному ремонту расположенных на них объектов с 2011 по 2030 гг., т.е. за двадцатилетний период, составляет 18 млрд. долл. В том числе 12,1 млрд. долл. (67%) – затраты на новое строительство и около 5,9 млрд. долл. (33%) – капитальный ремонт или 900 млн. долл. ежегодно. Это желаемый объём инвестиций, не подкреплённый реальным финансированием. Более детальное изучение этих предложений, проведенное специалистами, позволило выявить первоочередные проекты по новому строительству и капитальному ремонту, объединить их в

³⁸ <https://www.everycrsreport.com/reports/R43298.html>

Программу капитального строительства на ВВП, увязав её содержание с финансовыми возможностями госбюджета и средствами трастового фонда. В итоге в упомянутую Программу были включены 11 проектов нового строительства и 20 проектов капитального ремонта и модернизации общей стоимостью 7,6 млрд. долл. или 380 млн. долл. ежегодно» [11].

В 2016 была разработана новая Стратегия капитального строительства на внутренних водных путях, рассчитанная до 2036 года «Стратегия 2016». Предполагается, что принятая перспективная инвестиционная программа вберёт в себя «Стратегию 2010» и позволит достигнуть улучшения состояния воднотранспортной сети во всех речных бассейнах, а также эффективно использовать направленные на её реализацию бюджетные и внебюджетные инвестиционные ресурсы. Как указано в Законе, предполагается ежегодно анализировать ход выполнения Стратегии и при необходимости вносить в неё изменения. Наиболее подробно проработаны проекты, реализуемые с 2016 по 2021 гг. Что касается проектов, намеченных с 2022 по 2036 гг., то они обозначены как потенциально возможные. Помимо проектов возведения новых гидротехнических сооружений (шлюзов, дамб, каналов), в те же сроки намечено проведение капитального ремонта целого ряда объектов. В соответствии с базовым сценарием реализации «Стратегии 2016» за 20 лет на всю программу в целом будет направлено 4,9 млрд. долл. или максимально 250 млн. долл. ежегодно, при среднегодовом балансе трастового фонда на уровне 240 млн. долл.

Стоит отметить, что в отличие от «США на сегодняшний день введение сбора за использование водных путей невозможно в большинстве стран Европы без изменения существующих конвенций. Так, Мангеймская Конвенция 1868 года о судоходстве по Рейну, под действие которой подпадает почти три четверти осуществляемых в ЕС грузоперевозок водным транспортом, и Белградская Конвенция 1948 года (9 % трафика ВВТ в ЕС) запрещают странам, подписавшим эти соглашения, взимание навигационных сборов. Предпринимались попытки внести соответствующие поправки к конвенциям для изменения сложившейся ситуации. В частности, согласно докладу Федерального союза германской промышленности (Bundesverband der Deutschen Binnenschiffahrt), велись переговоры с участниками Мангеймской Конвенции, то есть странами, которые в 1868 году установили свободу навигации на реке Рейн и ее основных притоках. Переговоры не увенчались успехом. Правительство Нидерландов выразило решительный протест против введения сборов на внутренних водных путях» [12]. Тем не менее, несмотря на имеющиеся разногласия, сторонники взимания сбора считают, что введение платы – неизбежный процесс, который коснется всех видов транспорта и внутренний водный транспорт не исключение.

Заключение

В заключение можно сделать вывод, что основной проблемой, препятствующей развитию отрасли, является дефицит финансирования. Развитие внутреннего водного транспорта в настоящее время осуществляется в условиях нехватки финансовых средств, отрасль нуждается в инвестициях. Неудовлетворительное состояние инфраструктуры приводит к снижению потенциала внутреннего водного транспорта, влияет на стабильность и эффективность функционирования отрасли. Общемировой практикой является активное участие государства в строительстве и содержании инфраструктуры ВВТ. Осознание необходимости увеличения доли перевозок водным транспортом в будущем послужило причиной поиска дополнительных источников финансирования отрасли ВВТ во всех рассматриваемых регионах. В этой связи видна тенденция привлечения финансовых средств негосударственного и частного сектора в отрасль. Применение практики государственно-частного партнерства, а также

введение сборов является наиболее распространенными способами привлечения средств в отрасль с целью улучшения состояния объектов инфраструктуры водного транспорта. Подобная практика носит взаимовыгодный характер как для государства и бизнеса, так и общества в целом.

Список литературы

1. Sustainable development of the EU transport policy and planning for TEN-T. European Economic and Social Committee TEN/446, Brussels, 15 June 2011.
2. Transport 2050: The major challenges, the key measures. Мемо, Brussels 28/03//2011.
3. Белая книга по эффективному и устойчивому внутреннему водному транспорту в Европе. Нью-Йорк; Женева: ЕЭК ООН, 2011. – 76 с.
4. U.S. Army Corps of Engineers. Inland Marine Transportation System Investment Strategy Program Management Plan. Washington, D.C.: January 2009.
5. Big Price – Little Benefit. February 2010. Prepared by the Nicollet Island Coalition.
6. WhiteHouse.gov. 2018 Budget Fact Sheet Infrastructure Initiative.
7. Inland Navigation Europe [сайт] режим доступа: <http://www.inlandnavigation.eu>
8. Water Resources Development Act of 1986 {электронный ресурс} режим доступа: <https://www.fws.gov/laws/lawsdigest/wat1986.html>
9. Основной закон Федеративной Республики Германии (GG). Статьи 87,90,89,90. [электронный ресурс], режим доступа: <https://www.buzer.de/GG.htm>
10. Załoga, E., Kuciaba, E. Financing of inland navigation development in Germany and Poland in a context of competitive and resource efficient transport system // Scientific Journals Maritime University of Szczecin. -2014. № 37(109). – p. 95-97.
11. U.S. Army Corps of Engineers. Inland Marine Transportation Systems (IMTS).
12. Geschäftsbericht 2011–2012, Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (BDB). Duisburg, 2011
13. American Society of Civil Engineers. USA 2017 infrastructure Report Card
14. Европейская Зеленая сделка – дорожная карта. Топливный дайджест [сайт]. Режим доступа: <https://www.fuelsdigest.com/post/>
15. Милославская, С. В. Основные проблемы и перспективы развития внутреннего водного транспорта США / С. В. Милославская, А. Б. Мыскина // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2017. – № 11. – С. 62-66.
16. U.S. Army Corps of Engineers. Inland and Intracoastal Waterways. Twenty-Year Capital Investment Strategy. March 2016.

References

1. Sustainable development of the EU transport policy and planning for TEN-T. European Economic and Social Committee TEN / 446, Brussels, 15 June 2011.
2. Transport 2050: The major challenges, the key measures. Memo, Brussels 28/03 // 2011.
3. White Paper on Efficient and Sustainable Inland Water Transport in Europe. New York; Geneva: UNECE, 2011. -- 76 p.
4. U.S. Army Corps of Engineers. Inland Marine Transportation System Investment Strategy Program Management Plan. Washington, D.C. : January 2009.
5. Big Price - Little Benefit. February 2010. Prepared by the Nicollet Island Coalition.
6. WhiteHouse.gov. 2018 Budget Fact Sheet Infrastructure Initiative.
7. Inland Navigation Europe [site] access mode: <http://www.inlandnavigation.eu>
8. Water Resources Development Act of 1986 {electronic resource} access mode: <https://www.fws.gov/laws/lawsdigest/wat1986.html>
9. Basic Law of the Federal Republic of Germany (GG). Articles 87,90,89,90. [electronic resource], access mode: <https://www.buzer.de/GG.htm>
10. Załoga, E., Kuciaba, E. Financing of inland navigation development in Germany and Poland in a context of competitive and resource efficient transport system // Scientific Journals Maritime University of Szczecin. -2014. No. 37 (109). - R. 95-97.
11. U.S. Army Corps of Engineers. Inland Marine Transportation Systems (IMTS).
12. Geschäftsbericht 2011–2012, Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (BDB). Duisburg, 2011
13. American Society of Civil Engineers. USA 2017 infrastructure Report Card

14. European Green Deal roadmap. Fuel digest [site]. Access mode: <https://www.fuelsdigest.com/post/>
15. Miloslavskaya, S. V. Main problems and prospects for the development of inland water transport in the USA / S. V. Miloslavskaya, A. B. Myskina // Transport: science, technology, management. Scientific information collection. - 2017. - No. 11. - S. 62-66.
16. U.S. Army Corps of Engineers. Inland and Intracoastal Waterways. Twenty-Year Capital Investment Strategy. March 2016.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Милославская Светлана Викторовна, д.э.н., профессор, главный научный сотрудник кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: priemnaya@vgavt-nn.ru

Svetlana V. Miloslavskaya, Doctor of Economics, Full Professor, Chief Researcher of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Плотникова Елена Сергеевна, к.э.н., научный работник, факультет развития биоэкономики, исследовательский институт развития бизнеса и сельской местности, Университет Витаутаса Великого, ул. К. Донелайчио, 58, г. Каунас, 44248, Литва, e-mail: elena.plotnikova@vdu.lt

Elena S. Plotnikova, Ph.D, Researcher, Faculty of Bioeconomy Development, Business and Rural Development research institute, Vytautas Magnus University, K. Donelaičio str. 58, Kaunas, 44248, Lithuania, e-mail: elena.plotnikova@vdu.lt

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 656.621/.626

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.190>

Концепция и алгоритм обоснования транспортно-логистических схем доставки экспортно-импортных сухогрузов с участием речного транспорта России

А.И. Телегин¹

С.В. Милославская¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5745-0959>

Д.А. Коршунов¹

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

Е.С. Наседкина¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0531-2615>

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

Аннотация. В статье рассматриваются направления развития перевозок сухих грузов, в том числе в контейнерах, по внутренним водным путям России. Авторами представлена концепция и алгоритм обоснования транспортно-логистических схем доставки экспортно-импортных сухогрузов с участием речного транспорта, поскольку именно здесь нужны обоснованные и комплексные государственные мероприятия по повышению роли этого транспорта во взаимодействии с железнодорожным, автомобильным и морским видами транспорта. Описаны факторы, негативно влияющие на функционирование речного транспорта, предложены актуальные транспортно-логистические схемы перевозок сухогрузов: через Северный морской путь или железнодорожный транспорт (Альтернатива – через Гибралтар и Суэцкий канал); через международный транспортный коридор (МТК) «Север-Юг»; схема перевозок экспортно-импортных сухогрузов в регионы России и обратно «Западная Европа – Россия». В заключении приводится перечень мероприятий по развитию дальнейших исследований в этих направлениях.

Ключевые слова: перевозки, внутренний водный транспорт, сухие грузы, контейнеры.

Concept and algorithm of justification of transport and logistics schemes for the delivery of export-import dry cargo with the participation of river transport of Russia

Anatoly I. Telegin¹

Svetlana V. Miloslavskaya¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5745-0959>

Dmitry A. Korshunov¹

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

Ekaterina S. Nasedkina¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0531-2615>

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

Abstract. The article deals with the areas of the development of transportation of dry cargo, including in containers, along the inland waterways of Russia. The authors presents the concept and algorithm of substantiation of transport and logistics schemes for the delivery of export-import dry cargo with the participation of river transport, since it is here that justified and comprehensive state measures are needed to increase the role of this transport in cooperation with railway, road and sea modes of transport. Factors that

negatively affect the functioning of river transport are described, topical transport and logistics schemes for the transport of dry cargo are proposed: through the Northern Sea Route or railway transport (Alternative - through Gibraltar and the Suez Canal); through the international transport corridor (ITC) «North-South»; the scheme of transportation of export-import dry cargo to the regions of Russia and vice versa "Western Europe - Russia." The conclusion contains the list of measures to develop further research.

Keywords: transportation, inland water transport, dry cargo, containers.

Введение

В «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» и «Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года» указывается на крайне низкий уровень использования внутренних водных путей для перевозки грузов [1,2].

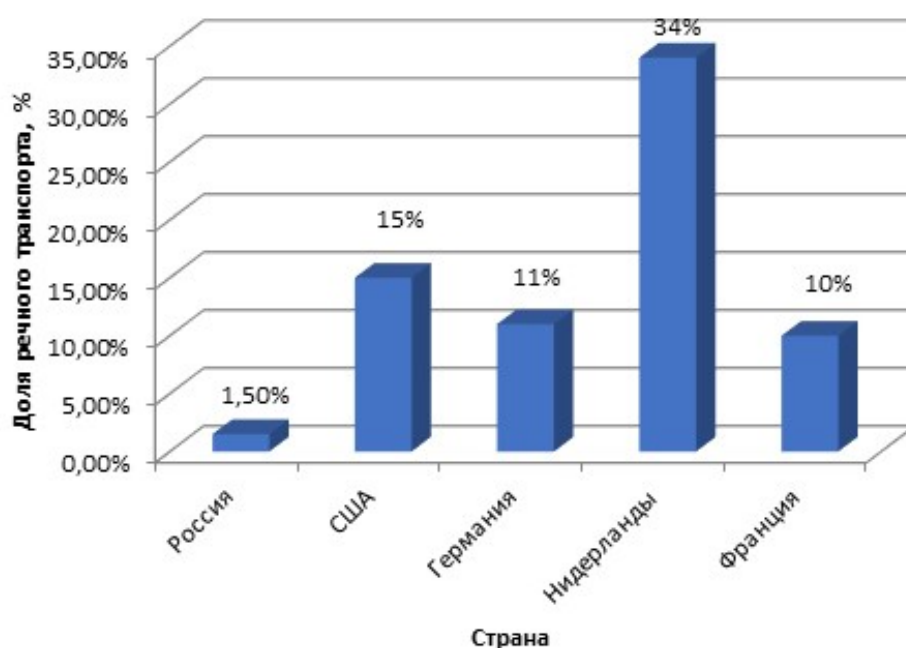


Рис.1. Доля речного транспорта от общего объема перевозки грузов и грузооборота всех видов транспорта

Fig. 1. The share of river transport in the total volume of cargo transportation and freight turnover of all types of transport

При этом протяженность внутренних водных путей, железных и автомобильных дорог в относительном выражении:

- Европейская часть России – 1 : 1 : 8;
- Германия - 1 : 6 : 92;
- Франция – 1 : 6 : 190
- Нидерланды - 1 : 0,5 : 23.

Максимальный объем грузоперевозок речным транспортом России был достигнут в 1989 году в объеме 580 млн.т., сегодня же этот показатель составляет 115-130 млн.т., т.е. уменьшился в 4-5 раз. При этом Транспортными стратегиями определены такие количественные и качественные показатели развития внутреннего водного

транспорта, при которых можно предположить, что роль речного транспорта в России не изменится [3]. Также отметим, что даже такие низкие ориентиры не выполняются (табл. 1).

Таблица 1

Прогноз развития речного транспорта России до 2030 года по ряду определенных показателей и индикаторов

Показатели и индикаторы	2010 г.	2020 г.	2030 г.	Изменение 2030 г. к 2010 г., %
1.Перевозка грузов, млн.т.	102,4	172,6	242,2	236,5
2.Грузооборот. млрд.т-км	54,0	82,4	116,9	216,4
3.Перевалка грузов речными портами, млн-т.	143	223	340	237,7
4.Доля высокорентабельных грузов в структуре грузовой базы речного транспорта, %	23,2	24,2	27,0	1,2 раза
5.Доля перевозок контейнеров в общем объеме перевозок грузов речным транспортом, %	0,5	0,7	1,6	3,2 раза
6.Количество контейнерных линий, ед.	-	6	15	
7.Количество тримодальных терминалов, ед.	-	2	9	
8.Объем перевозок внешнеторговых грузов по внутренним водным путям, млн.т.	20,0	31,5	32,7	163,5
9.Протяженность внутренних водных путей с гарантированными габаритами судовых ходов, тыс.км.	35,8	67,0	67,0	187,2
10.Производительность труда на речном транспорте, %	100	195	295	2,9 раза

При этом наблюдаются негативные факторы, тормозящие развитие внутреннего водного транспорта страны:

- перевозки грузов в прямом смешанном сообщении с участием речного транспорта как были в Стратегии 6 млн.т. в год, так и остались на этом уровне;
- доля перевозок контейнерных грузов мизерная, при этом отсутствует положительная динамика роста, которая носит преимущественно стохастический характер (а в странах Европейского Союза контейнеры в составе сухогрузов занимают до 50%);
- в практике логистики грузодвижения полностью отсутствуют речные контейнерные линии, хотя объективно они должно быть;
- отсутствует развитая портовая инфраструктура комбинированных терминалов.

В современных условиях необходим логистический подход к организации соответствующих транспортно-технологических систем, в которых должны учитываться интегральные издержки при их оптимизации, поскольку в рыночной экономике изменилась не только система взаимоотношений участников товаро-транспортного процесса, но и система показателей оценки работы транспорта и требований, установленных государством и грузовладельцами [4].

Поэтому исследования по данной теме весьма актуальны, и они регламентированы как Стратегиями развития перевозок грузов в России в целом, так и отдельных её регионов.

Ключевые транспортно-логистические схемы доставки экспортно-импортных сухогрузов

В предлагаемой статье авторами представлена концепция и алгоритм обоснования транспортно-логистических схем доставки экспортно-импортных сухогрузов с участием речного транспорта, поскольку именно здесь нужны обоснованные и комплексные государственные мероприятия по повышению роли этого транспорта во взаимодействии с железнодорожным, автомобильным и морским видами транспорта. Такие мероприятия должны изначально разрабатываться с активным участием ученых – транспортников.

Типичные транспортно-логистические схемы доставки экспортно-импортных сухогрузов «Западная Европа – Россия – Азия» с возможным использованием в ряде из них речного транспорта России, представлены на рис. 2-4. Это следующие направления перевозки:

А. Через Северный морской путь или железнодорожный транспорт России (Альтернатива – через Гибралтар и Суэцкий канал) (показана на рис.1).

Б. Международный транспортный коридор (МТК) «Север-Юг» (показана на рис.3).

В. «Западная Европа – Россия» - перевозки экспортно-импортных сухогрузов, когда они начинаются или заканчиваются в регионах России (показана на рис.3).

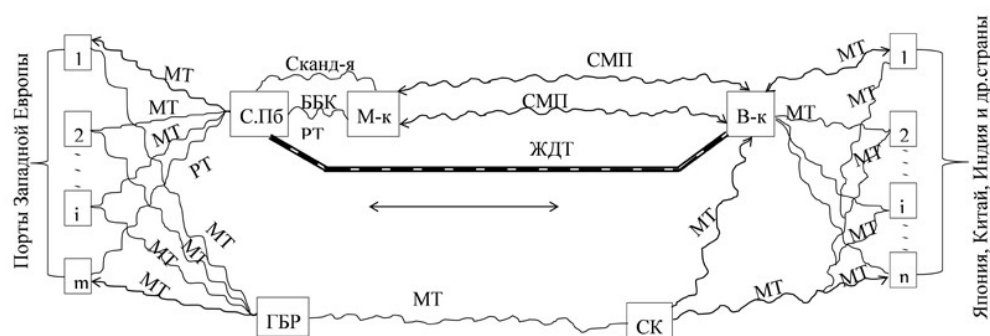


Рис. 2. Типичная схема доставки грузов через Северный морской путь или железнодорожный транспорт (Альтернатива – через Гибралтар и Суэцкий канал)

Fig. 2. A typical scheme for the delivery of goods through the Northern Sea Route or rail transport (Alternative - through Gibraltar and the Suez Canal)

Обозначения на рис.2: Первая схема: Порты Западной Европы – морской транспорт (МТ) – Санкт-Петербургский морской порт (С.Пб) – вокруг Скандинавии (МТ) – Мурманск (М-к) – Северный морской путь (СМП) – Владивосток (В-к) – морской транспорт до стран: Япония, Китай, Индия и др. Вторая схема: Порты Западной Европы – морской транспорт – Санкт-Петербургский порт – речной транспорт (Беломорско-Балтийский канал) – Мурманск – Северный морской путь – Владивосток – морской транспорт до стран: Япония, Китай, Индия и др. Третья схема: Порты Западной Европы – морской транспорт – Санкт-Петербургский порт – железнодорожный транспорт (ЖДТ) – Владивосток – морской транспорт до стран: Япония, Китай, Индия и др. Четвертая схема -Альтернативная схема (без участия

России): Порты Западной Европы – морской транспорт – Гибралтар (ГБР) – Суэцкий канал (СК) – морской транспорт до Владивостока (Россия), Японии, Китая, Индии и др.

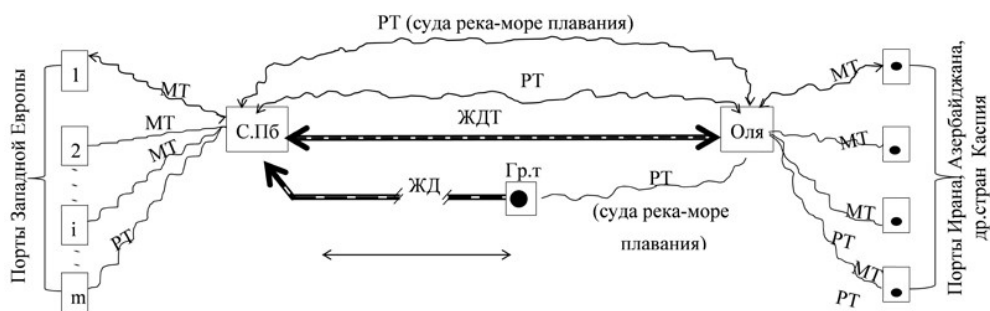


Рис.3. Типичная схема доставки грузов через международный транспортный коридор (МТК) «Север-Юг»

Fig. 3. A typical scheme for the delivery of goods through the international transport corridor (ITC) "North-South"

Обозначения на рис.3: Первая схема: Порты Западной Европы – морской транспорт (МТ) – Санкт-Петербургский морской порт (С.Пб) – Железнодорожный транспорт России (ЖДТ) до порта Оля на Каспии – морской транспорт (МТ) до морских портов Ирана, Азербайджана и др.стран на Каспийском море. Вторая схема: Порты Западной Европы – морской транспорт – Санкт-Петербургский морской порт - суда река-море плавания до порта Оля и далее до портов Ирана, Азербайджана и других стран. Третья схема: Порты Западной Европы – морской транспорт – Санкт-Петербургский морской порт – речной транспорт (суда внутреннего водного транспорта) - порт Оля - морской транспорт до портов Ирана, Азербайджана и других стран. Четвертая схема: Порты Западной Европы – морской транспорт – Санкт-Петербургский морской порт – Железнодорожный транспорт до речных грузовых терминалов (Гр.т) в Ярославле, Нижнем Новгороде или Казани – речной транспорт (суда река-море плавания) до порта Оля и далее по Каспию до портов Ирана, Азербайджана и других стран на Каспийском море.

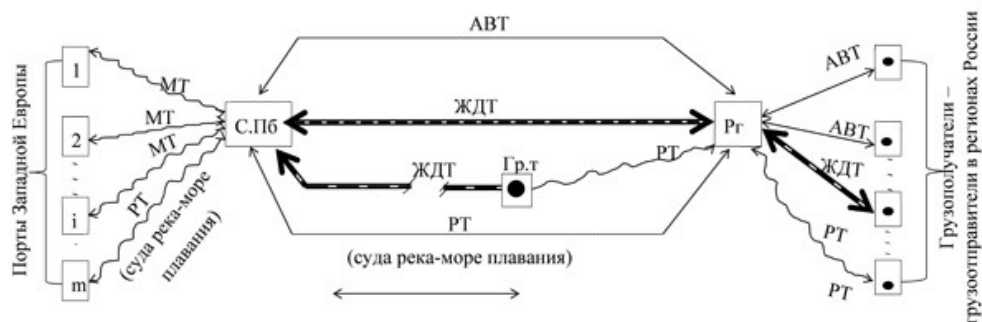


Рис.4. Схема перевозок экспортно-импортных сухогрузов в регионы России и обратно. «Западная Европа – Россия».

Fig. 4. Scheme of transportation of export-import dry cargo ships to the regions of Russia and back "Western Europe - Russia".

Обозначения на рис.4: Первая схема: Порты Западной Европы – морской транспорт (МТ) – Санкт-Петербургский морской порт (С.Пб) – железнодорожный транспорт (ЖДТ) – регион России (грузовой терминал) – доставка грузополучателям автомобильным (АВТ), железнодорожным (ЖДТ) или речным транспортом (РТ). Вторая схема: Порты Западной Европы – морской транспорт – Санкт-Петербургский порт – автомобильный транспорт – грузополучатели в регионах. Третья схема: Порты Западной Европы – морской транспорт – Санкт-Петербургский порт – железнодорожный транспорт до соответствующего региона – грузового перевалочного терминала (гр. т.) – речной транспорт (РТ) до грузополучателей в регионах (или перевалка в регионах на автомобильный или железнодорожный транспорт и доставка грузополучателям). Четвертая схема: Порты Западной Европы – речной транспорт (суда река-море плавания) – Санкт-Петербург (таможенные операции) – доставка в этих же судах до регионов России с перевалкой соответственно на автомобильный или железнодорожный транспорт с доставкой конкретным получателям (возможна непосредственная доставка судовых партий грузополучателям, имеющим причалы необщего пользования). Горизонтальная двуправленная стрелка (↔) означает, что данные схемы – типовые универсальные, показывающие возможность как импорта сухогрузов в Россию, так и экспорта из России в Западную Европу.

Во всех трех направлениях представлены по четыре типичных транспортно-логистических схемы доставки сухогрузов из портов Западной Европы. В 11-ти схемах сухогрузы идут водным транспортом (морским транспортом или в судах смешанного «река-море» плавания) до морского порта Санкт-Петербург, где осуществляется таможенный контроль и определяются дальнейшие логистические элементы транспортной цепи доставки до пунктов назначения.

В направлении «А» показана также альтернативная схема доставки сухогрузов из портов Западной Европы в страны Азии через Гибралтар и Суэцкий канал.

Общий алгоритм дальнейших исследований в данных направлениях, следующий:

1. Определяется массовый конкретный грузопоток внешнеторговых перевозок (в Россию, из России или через Россию транзитом). Дается полная транспортная характеристика, в том числе: объемы перевозок грузов в реальных масштабах времени, способ перевозки (контейнеры, контрейлеры, фургоны по системе «ро-ро» и др.), страны и порты отправления и назначения и др.
2. Определяются транспортно-логистические схемы доставки грузопотока с использованием альтернативных схем и видов транспорта, в том числе при возможности и речного транспорта России.
3. По определенным транспортно-логистическим схемам (п.2) разрабатываются транспортно-технологические процессы, регламентируются все временные элементы в цепи доставки партий груза.
4. Разрабатывается методика определения интегрального времени доставки партий груза по элементам транспортно-технологических процессов согласно п.3.
5. Разрабатывается методика определения интегральных издержек (затрат) грузовладельца с учетом временных элементов транспортно-технологических процессов доставки партий груза.
6. Разрабатывается методика удельных издержек (затрат) в руб./т или долларах США/т и на ткм, для обеспечения сравнения выбранных транспортно-логистических схем доставки партий груза.
7. Дополнительно учитываются методикой определения затрат следующие издержки (рис.5):

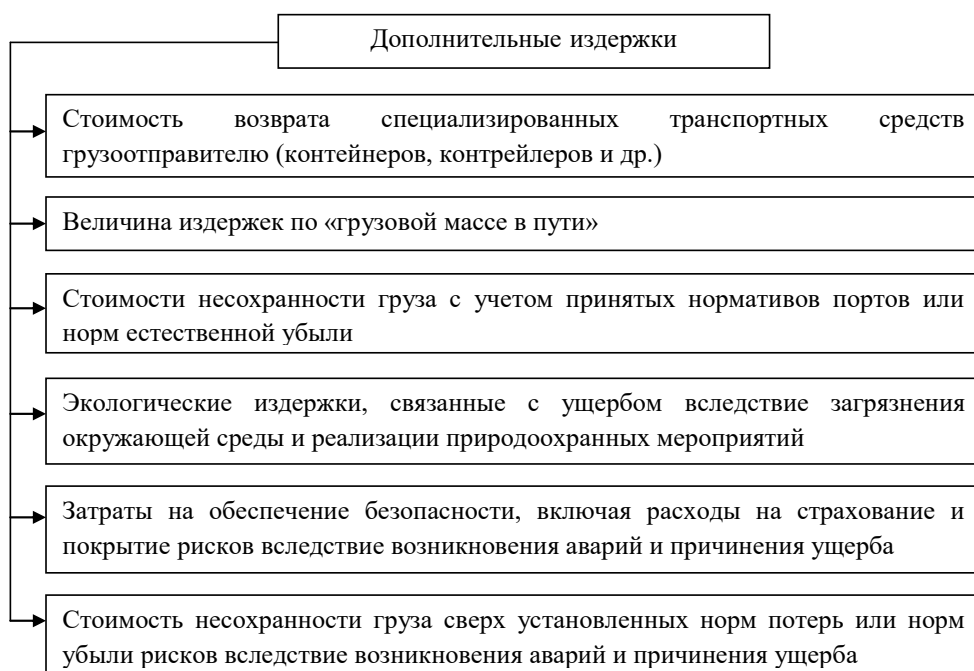


Рис.5. Дополнительные издержки

Комплексная стоимость и оценка затрат грузовладельца на доставку отдельных грузовых партий оказывает существенное влияние на конкурентоспособность планируемых транспортно-логистических систем, в том числе с участием российского речного транспорта.

Заключение

В ходе проведенного авторами анализа научных трудов, выяснилось, что имеется ряд работ, где при рассмотрении и обосновании комбинированных перевозок конкретных грузопотоков, в том числе с участием речного транспорта, применялся подобный подход. Это результаты исследований д.т.н. А.О. Ничипорука по перевозке минеральных удобрений [4,5], к.т.н., Н.В. Гончаровой по перевозке химических грузов [6], к.т.н. В.Н. Шаброва по перевозке автомобилей, производимых в России [7]. Также были изучены зарубежные исследования по теме [8-16].

Авторами предлагается их развить и дополнить с учётом новых условий функционирования внутреннего водного транспорта, в том числе в рассматриваемых в этой статье направлениях.

Список литературы

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. №1734-р.
2. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 29 февраля 2016 г. №327-р.
3. Телегин А.И., Ничипорук А.О. Развитие перевозок грузов внутренним водным транспортом в свете Транспортной стратегии России на период до 2030 года и зарубежного опыта // Вестник транспорта Поволжья. – 2011 г. - №5 (29). – с.14-21.
4. Ничипорук А.О. Методика формирования временных показателей типового технологического процесса транспортирования минеральных удобрений // Вестник «ВГАВТ». Выпуск 11. – Н.Новгород: изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2004 г. – с.150-162.

5. Ничипорук А.О. Методические основы определения оптимальных способов и схем транспортирования минеральных удобрений: монография. – Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2009г. -108с.
6. Гончарова Н.В. Экономико-математическая модель определения оптимальной логистической схемы доставки груза с учетом качественных критериев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012 г. - №2. – с.7-10.
7. Шабров В.Н. Обоснование эффективности комбинированных перевозок автомобилей с участием речного транспорта. Дисс. соиск. канд. техн. наук. – Н.Новгород, ВГУВТ. - 2017 г. – 181 с.
8. Adam K.Prokopowicz-JanBerg-Andreassen. An Evaluation of Current Trends in Container Shipping Industry, Very Large Container Ships (VLCSs), and Port Capacities to Accommodate TTIP Increased Trade <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214651630415X>
9. Hriday Ch. Sarma. Turning the international north-south corridor into a “digital corridor” <https://cyberleninka.ru/article/n/turning-the-international-north-south-corridor-into-a-digital-corridor>
10. Singh Roy, M. "International North-South Transport Corridor: Re-energising India's Gateway to Eurasia" / Institute for Defence Studies and Analyses, 18 August, 2015. https://idsa.in/system/files/ssuebriefJB_msroy_180815.pdf
11. Ziaul Haque Munim & Hans-Joachim Schramm. The impacts of port infrastructure and logistics performance on economic growth: the mediating role of seaborne trade <https://jshippingandtrade.springeropen.com/articles/10.1186/s41072-018-0027-0>
12. Xiaowen Fu. Evolution and research trends of container shipping https://www.researchgate.net/publication/271668597_Evolution_and_research
13. Wang T-F, Cullinane K (2006) The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management. *Marit Econ Logist* 8(1):82–99 <https://link.springer.com/article/10.1057/palgrave.mel.9100195>
14. Marcadon Jacques. Containerisation in the ports of Northern and Western Europe <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=306015>
15. Gopcalo O.O. Trends and problems in container transport infrastructure development in Russia, <https://morproekt.ru/attachments/article/154/4-4.pdf>
16. Multimodal transportation: assignment types, particularly: [electronic resource]. - Access: <http://www.ulex.info/blogs/1/9.html>.
17. Measurement of Cargo Loaded by Draft Survey. BCP/J/5616. Burness Corlett & Ptns. (IOM) Ltd., 1995. 22 p.

References

1. Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030, approved by Order of the Government of the Russian Federation dated November 22, 2008 No. 1734-r.
2. The strategy for the development of inland water transport of the Russian Federation for the period until 2030, approved by Order of the Government of the Russian Federation of February 29, 2016 No. 327-p.
3. Telegin A.I., Nichiporuk A.O. Development of cargo transportation by inland water transport in light of the Transport Strategy of Russia for the period up to 2030 and foreign experience//Bulletin of Transport of the Volga Region. - 2011 - No. 5 (29). – page 14-21.
4. Nichiporuk A.O. Methodology for the formation of time indicators of a typical technological process for the transportation of mineral fertilizers//VSAVT Bulletin. Issue 11. - N.Novgorod: publishing house of FGOU VPO "VSAWT," 2004 - p.150-162.
5. Nichiporuk A.O. Methodological foundations for determining optimal methods and schemes for transporting mineral fertilizers: monograph. - N.Novgorod: Publishing House of FGOU VPO "VSAWT," 2009 - 108 pages.
6. Goncharova N.V. Economic and mathematical model for determining the optimal logistic scheme for cargo delivery taking into account quality criteria//Scientific problems of transport in Siberia and the Far East. - 2012 - No. 2. – page 7-10.
7. Shabrov V.N. Rationale for the efficiency of combined transport of cars with the participation of river transport. Diss. A juice. Candidate Techn. sciences. - N. Novgorod, VSUWT. - 2017 - 181 p.
8. Adam K.Prokopowicz-JanBerg-Andreassen. An Evaluation of Current Trends in Container Shipping Industry, Very Large Container Ships (VLCSs), and Port Capacities to Accommodate TTIP Increased Trade <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214651630415X>

- 9.Hriday Ch. Sarma. Turning the international north-south corridor into a “digital corridor”
<https://cyberleninka.ru/article/n/turning-the-international-north-south-corridor-into-a-digital-corridor>
- 10.Singh Roy, M. "International North-South Transport Corridor: Re-energising India's Gateway to Eurasia" / Institute for Defence Studies and Analyses, 18 August, 2015.
https://idsa.in/system/files/ssuebriefJB_msroy_180815.pdf
- 11.Ziaul Haque Munim & Hans-Joachim Schramm. The impacts of port infrastructure and logistics performance on economic growth: the mediating role of seaborne trade
<https://jshippingandtrade.springeropen.com/articles/10.1186/s41072-018-0027-0>
- 12.Xiaowen Fu. Evolution and research trends of container shipping
https://www.researchgate.net/publication/271668597_Evolution_and_research
- 13.Wang T-F, Cullinane K (2006) The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management. *Marit Econ Logist* 8(1):82–99
<https://link.springer.com/article/10.1057/palgrave.mel.9100195>
- Marcadon Jacques. Containerisation in the ports of Northern and Western Europe
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=306015>
- 14.Gopcalo O.O. Trends and problems in container transport infrastructure development in Russia,
<https://morproekt.ru/attachments/article/154/4-4.pdf>
- 15.Multimodal transportation: assignment types, particularly: [electronic resource]. - Access:
<http://www.ulex.info/blogs/1/9.html>.
- 16.Measurement of Cargo Loaded by Draft Survey. BCP/J/5616. Burness Corlett & Ptns. (IOM) Ltd., 1995. 22 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Телегин Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г.Нижний Новгород, ул.Нестерова, 5, e-mail: kafedra-lim@yandex.ru

Anatoly I. Telegin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water transport, 5, Nesterov st. Nizhny Novgorod, 603950

Милославская Светлана Викторовна, д.э.н., профессор, главный научный сотрудник кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: miloslavskayasv@mail.ru

Svetlana V. Miloslavskaya, Doctor of Economics, Full Professor, Chief Researcher of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

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

Dmitry A. Korshunov, Candidate of Economic Sciences, associate professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water transport, 5, Nesterov st. Nizhny Novgorod, 603950

Наседкина Екатерина Сергеевна, аспирант кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта 603950, г.Нижний Новгород, ул.Нестерова, 5, e-mail: nasedkina.ekaterina@mail.ru

Ekaterina S. Nasedkina, graduate student of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water transport, 5, Nesterov st. Nizhny Novgorod, 603950

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА,
СУДОВОЖДЕНИЕ
И БЕЗОПАСНОСТЬ СУДОХОДСТВА**

**OPERATION OF WATER TRANSPORT, NAVIGATION AND
SAFETY OF NAVIGATION**

УДК 656.62; 629.122

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.207>

**Выбор эффективных судов по критерию предельной
стоимости при эксплуатационном обосновании**

О.Ю. Васильева¹

М.В. Никулина¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8973-4101>

Ю.И. Платов¹

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

Аннотация. Статья посвящена проблеме выбора эффективных судов при эксплуатационном обосновании (ЭО) параметров судна: мощности, главных размерений, грузоподъёмности, скорости и расхода топлива. Обосновывается необходимость использования предлагаемого варианта выбора на начальной стадии ЭО проекта; называются проблемы, возникающие при этом в настоящее время. Цель статьи – предложить критерий выбора эффективных судов, «привязанных» к условиям эксплуатации, основанный на предельной стоимости судна. Приводится метод ее определения. При этом годовые доходы и эксплуатационные расходы должны определяться современными методами бизнес-планирования работы флота. При поиске параметров судна определяется оптимальный расход топлива. Остальные расходы могут находиться по коэффициентам, «привязанным» к расходу топлива и рассчитываемым по существующим прототипам. Показываются результаты расчетов по предлагаемому методу; отмечаются его достоинства и возможности совершенствования при наличии соответствующей информации. Делается вывод об удобстве и применимости предлагаемого варианта выбора эффективных судов при ЭО на базе оптимизационных методов определения параметров судов в условиях высокого уровня использования информационных технологий.

Ключевые слова: эксплуатационное обоснование, критерий выбора судна, эффективное судно, предельная (рыночная) стоимость судна, эксплуатационные доходы, расходы, расход топлива, показатели экономической эффективности, оптимизация.

Selection of efficient ships according to the criterion of marginal price at the feasibility study

Oksana Y. Vasileva¹

Marina V. Nikulina¹

<https://orcid.org/0000-0002-8973-4101>

Juri I. Platov¹

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

Abstract. The article deals with the problem of selecting efficient ships according to the operational justification (OJ) of ship's characteristics: ship's capacity, main dimensions, tonnage, speed and fuel consumption. The necessity of using the proposed selection at the initial stage of the ship's design is justified; the problems that arise during this process nowadays are denoted. The purpose of the article is to propose the criterion for the selection of efficient vessels, "tied" to the operating conditions, based on the marginal cost of the ship. A method for its determination is presented. At the same time, annual revenues and operating costs should be determined by modern methods of business planning for the operation of the fleet. When searching for the parameters of the ship, the optimal fuel consumption is determined. The rest of the costs can be found according to the coefficients "tied" to the fuel consumption and calculated on the basis of existing prototypes. The results of calculations by the proposed method are shown; its merits and opportunities for improvement are noted with the availability of relevant information. The conclusion about the convenience and applicability of the proposed option for selecting efficient ships for the operational justification based on optimization methods for determining the parameters of vessels under conditions of a high level of usage of information technologies is drawn.

Keywords: operational justification, criterion for the selecting of a ship, efficient ship, marginal (market) price of the ship, operating income, costs, fuel consumption, indicators of economic efficiency, optimization.

Введение

Выбор эффективных судов при эксплуатационном обосновании (ЭО) является весьма сложной задачей. Центральное место здесь занимает расчет и оценка эффективности судов по различным стоимостным параметрам. Весь дальнейший анализ концентрируется вокруг проектирования судна с такими параметрами и характеристиками, которые бы удовлетворяли максимуму экономического эффекта (или другим показателям эффективности инвестиций: сроку окупаемости, индексу рентабельности, внутренней норме доходности на капитал и др.). Показатели эффективности могут служить критериями, по которым сравниваются альтернативные проекты, и ограничениями на те или иные параметры и характеристики проектов, исходя из принципа оптимума эффективности.

В современных условиях в связи с возросшей изменчивостью внешней среды, быстрым моральным старением судов существующих типов возникает необходимость уже на стадии обоснования получать оптимальные проектные решения, которые будут определять эффективность эксплуатации судов. На более поздних стадиях реализации проекта не представляется возможным вносить какие-либо изменения, которые могли бы существенно повлиять на эффективность эксплуатации судов. Однако, на стадии ЭО исследователь сталкивается с проблемой отсутствия или ограниченности исходной информации, необходимой для расчетов и оценки. Такая информация, как правило, появляется на более поздних стадиях проектирования после более или менее детальной проработки отдельных проектных решений. С другой стороны, целью ЭО является выбор основных характеристик и параметров объекта (судна), которые в дальнейшем будут являться исходными данными при

проектировании отдельных подсистем и объекта в целом. От качества анализа и полноты учета информации при ЭО во многом зависит эффективность создаваемого объекта.

При оптимизации параметров судна, кроме отсутствия информации, необходимо обратить внимание еще на две проблемы. Во-первых, не существует общей методики ЭО. Отчасти это объясняется различием целей и подходов к проектированию, а также субъективной оценкой создаваемых проектов [1, 2, 3]. Во-вторых, равноценные грузоподъемность, скорость и мощность могут быть обеспечены за счет различных сочетаний главных размерений, коэффициента полноты и других параметров судна. При этом будут различными провозная способность судна, эксплуатационные расходы, доходы, прибыль, единовременные затраты, а, следовательно, и показатели экономической эффективности, а также стоимость (цена) судна [4].

Цель и задачи

Поэтому необходим единый и адекватный критерий выбора наиболее эффективных судов, «привязанных» к условиям эксплуатации.

В данной статье рассматривается один из вариантов выбора эффективных судов на стадии ЭО. Критерием выбора является предельная стоимость судна, определяемая в условиях неполной информации и при рассчитанных оптимальных соотношениях параметров судна [5]. Такая постановка применительно к данной проблеме является, по нашему мнению, новой.

Метод определения предельной стоимости судна

В качестве адекватного критерия выбора наиболее эффективных судов может быть принят верхний предел цены судна или предельная (рыночная) стоимость $C_t^{вп}$ [4], которая определяется по следующему выражению:

$$C_t^{вп} = \sum_{t_{нз}}^{t_k} \left((D_t - P_t - I_t)(1 - H_{пр}) + A_t - L_t \right) \alpha_t, \quad (1)$$

где

t – текущий год прогнозного периода, притоки и оттоки денежных средств которого приводятся к расчётному году;

$t_{нз}$ – начальный год эксплуатации судна;

t_k – конечный год жизненного цикла судна;

D_t – доходы от перевозок грузов в каждом t -м году эксплуатации судна, тыс. руб.;

P_t – расходы в каждом t -м году эксплуатации судна, тыс. руб.;

I_t – налог на имущество в t -м году, в долях ед.;

$H_{пр}$ – ставка налога на прибыль, в долях ед.;

A_t – амортизационные отчисления на реновацию в году t , тыс. руб.;

L_t – ликвидационная стоимость в t -м году, тыс. руб.;

α_t – коэффициент дисконтирования.

Входящие в формулу (1) значения доходов и расходов в пределах жизненного цикла судна должны быть скорректированы по годам прогнозного периода [4]. Для этого используются выражения:

$$D_t = D_б(1 - \kappa_{уд}), \quad (2)$$

$$C_t = C_б(1 + \kappa_{ур}), \quad (3)$$

где $D_б, C_б$ – соответственно, базовые доходы и расходы, тыс. руб.;

$\kappa_{уд}, \kappa_{ур}$ – коэффициенты, соответственно, уменьшения базовых доходов и увеличения базовых расходов.

Кроме учета динамики изменения доходов и расходов, необходимо обратить внимание на некоторые особенности определения показателей, участвующих в расчете предельной цены для выбора эффективных судов.

Во-первых, для судов, на которые распространяются льготы, налоги на имущество и на прибыль в формуле (1) могут отсутствовать на основании закона, принятого для реализации основных направлений деятельности Правительства РФ в части развития судостроительной промышленности, транспортной системы и повышения их конкурентоспособности [6].

Во-вторых, поскольку стоимость судна (капитальные вложения, строительная стоимость или цена приобретения) на данном этапе неизвестна, то предварительно амортизационные отчисления и налог на имущество определяются с небольшой погрешностью, исходя из стоимости существующего судна, выбранного в качестве прототипа [4].

В-третьих, годовые доходы и особенно эксплуатационные расходы могут быть определены с использованием современных методов бизнес-планирования работы флота, изложенных в [7]. В этой работе приводятся методы расчета потребности во флоте при максимизации среднесуточной прибыли, минимизации расхода топлива и скоростей движения по участкам водных путей, а также эксплуатационных расходов при перевозках грузов с учётом условий плавания и технических параметров судов. В ней утверждается, что простые методы, используемые в настоящий момент на практике, могут приводить к значительным погрешностям так же, как и зарубежные методы определения расходов топлива судами [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Однако для наших целей, в условиях неполной информации, этими методами можно определить число круговых рейсов, годовые или навигационные доходы от перевозок грузов при определённых фрахтовых ставках и расход топлива.

Поэтому нами предлагается на базе формулы, приведенной в [7], определять все другие эксплуатационные расходы с «привязкой» к расходу топлива как наиболее достоверной величине на данном этапе обоснований. В целом годовые эксплуатационные расходы определяются по следующему выражению:

$$C_{кр} = c_1 V K_{см} (1 + k_1 + k_2), \quad (4)$$

где

$C_{кр}$ – сумма всех эксплуатационных расходов за круговой рейс, тыс. руб.;

c_1 – цена топлива, тыс. руб./т;

V – расход топлива за круговой рейс, определяемый по [7], т;

$K_{см}$ – коэффициент, учитывающий расходы на смазочные материалы;

k_1, k_2 – коэффициенты, отражающие, соответственно, отношение условно-постоянных расходов и прочих расходов к расходам по топливу и смазке и определяемые по существующим прототипам по формулам:

$$k_1 = \frac{c_2 (t_{кр} + \Delta t)}{c_1 V^n K_{см}}, \quad (5)$$

$$k_2 = \frac{\sum_1^n c_{пп}}{c_1 V^n K_{см}}, \quad (6)$$

где

c_2 – условно-постоянные расходы, кроме расходов по топливу и смазочным материалам и прочим прямым расходам (плата за прохождение ВВП, портовые и канальные сборы и плата за услуги КОФ), тыс. руб./сут.;

$t_{кр}$ – продолжительность кругового рейса, сут.;

Δt – сумма резервного времени по каждой операции, сут.;

V^n – расход топлива за круговой рейс по принятому прототипу, т;

$C_{пп}$ – прочие прямые расходы (сборы за прохождение ВВП, портовые и каналные сборы и оплата услуг КОФ), тыс. руб.;

n – число составляющих прочих прямых расходов, ед.

Годовые базовые эксплуатационные расходы определяются по следующему выражению:

$$C_b = C_{кр} m, \quad (7)$$

где m – число круговых рейсов судна за навигацию или год, ед.

Необходимо дать некоторые комментарии по использованию приведенных выше формул.

В них представлены три группы расходов, зависящих от рыночных цен, а также: от мощности, скорости, интенсивности использования и условий плавания (расходы на топливо и сказочные материалы); от продолжительности рейсов и навигационного периода (все прямые и распределяемые расходы, кроме расходов по топливу и смазочным материалам и прочих прямых расходов); от пунктов отправления и назначения, фигурирующих в круговом рейсе (прочие прямые расходы, в том числе плата за прохождение ВВП, портовые и каналные сборы и оплата услуг КОФ). Поэтому коэффициенты k_1, k_2 должны регулярно пересматриваться при резком изменении рыночных ситуаций, которые необходимо учитывать на этапе ЭО. При этом они должны дифференцироваться для разных условий плавания судна (река, река-море, море) и других значимых факторов.

Результаты

По приведенным выше формулам были выполнены расчеты для судов трех существующих проектов при перевозке дизельного топлива на линии Самара-Туапсе. Результаты расчетов, приведенные в таб. 1, 2, иллюстрируют работоспособность приведенного метода выбора эффективного судна.

Расчет ходового времени и расхода топлива в составе кругового рейса для проектов 1577, 630 осуществлялся по оптимальным нормам пароходства «Волготанкер» [15, 16], рассчитанным по методике [7]. Расчет для проекта RST27 был сделан дополнительно также по этой методике профессором кафедры Управления транспортом А.Ю. Платовым. Остальные расчеты были выполнены М.В. Никулиной совместно с Ю.И. Платовым.

Как видно из таб. 1, коэффициенты соотношения расходов и предельная стоимость существенно отличаются по типам судов, менее существенно – по условиям плавания и нивелируются в среднем по навигации. Предельная стоимость судна также зависит от наличия льгот при покупке судов из нового судостроения.

Наиболее эффективным типом, исходя из таб. 2, является RST27 за счет большей грузоподъемности и использования более дешёвого топлива. Однако, существенная разница возникает также за счет догрузки судна этого проекта в мелководный период на глубоководной части рейса. Большая разница в предельной стоимости между судами проектов 1577, 630 и RST27 возникает не только из-за степени использования грузоподъемности, но и, что более существенно, за счет величины амортизации, так как эти суда строились в разное время. При обосновании новых судов влияние амортизации будет существенно ниже.

Таблица 1

Результаты расчетов эксплуатационных расходов за круговой рейс и их соотношений

Проект	Эксплуатационные расходы за круговой рейс, тыс. руб.				Коэффициенты		
	топливо и смазка	условно-постоянные	прохождение внутренних водных путей и портовые сборы	всего	к1	к2	к1+к2
Полноводный период (61 сут.)							
1577	2775,3	3875,5	77,1	6727,9	1,396	0,028	1,424
630	3654,7	4722,9	93,8	8471,4	1,292	0,026	1,318
RST27	3251,4	5178,9	88,3	8518,6	1,593	0,027	1,620
Мелководный период (180 сут.)							
1577	2760,4	3815,7	77,1	6653,2	1,382	0,028	1,410
630	3633,4	4639,8	93,8	8366,9	1,277	0,026	1,303
RST27	3310,1	5662,0	88,3	9060,4	1,711	0,027	1,737
Всего							
1577	5535,7	7691,2	154,2	13381,1	1,389	0,028	1,417
630	7288,1	9362,6	187,6	16838,3	1,285	0,026	1,310
RST27	6561,6	10840,9	176,5	17579,0	1,652	0,027	1,679

Таблица 2

Результаты расчетов предельной стоимости судна

Проект	Круговой рейс, сут.	Число круговых рейсов, ед.	Доходы, тыс. руб.	Расходы, тыс. руб.	Амортизация, тыс. руб.	Предельная стоимость, млн. руб.	
						с учетом льгот	без учета льгот
Полноводный период (61 сут.)							
1577	16,85	3,0	34423,5	20183,7	19110,0		
630	17,05	3,0	36729,0	25414,1	27300,0		
RST27	14,15	4,0	50456,0	34074,4	40950,0		
Мелководный период (180 сут.)							
1577	16,59	11,0	89782,0	73185,4	19110,0		
630	16,75	11,0	91822,5	92036,0	27300,0		
RST27	15,47	12,0	165996,0	108724,9	40950,0		

Всего							
1577		14,0	124205,5	93369,1	19110,0	409,6	345,7
630		14,0	128551,5	117450,2	27300,0	286,1	224,2
RST27		16,0	216452,0	142799,3	40950,0	988,3	843,2

Необходимо заметить, что рассчитанная предельная стоимость при эксплуатации судов в навигационный период на линии Самара-Туапсе является низкой, что соответствует действительности. При круглогодичной эксплуатации эта стоимость увеличивается примерно в 1,7 раза. На практике так и происходит – суда проектов RST27, 630 и им подобных, например, 19614, эксплуатируются в течение всего года.

Обсуждение

Выбор эффективных судов на этапе эксплуатационного обоснования всегда был актуальным и решался на базе различных подходов вследствие отсутствия общей методики ЭО. Именно этот этап определяет эффективность приобретения и эксплуатации судов, так как на более поздних стадиях проектирования не представляется возможным внести какие-либо изменения, которые могли бы существенно повлиять на эффективность.

Однако на стадии обоснования существует много препятствий и не решённых в настоящее время проблем. Одной из проблем является отсутствие необходимой информации при оптимизации параметров судна, а также современных и апробированных методов названной оптимизации. Второй проблемой является отсутствие единого критерия выбора судна, адекватного рыночным ситуациям. Ранее уже была сделана попытка создания методов оптимизации параметров судов для современных условий хозяйствования [3, 5, 7]. В данной статье предлагается единый критерий выбора судна, основанный на принципе определения рыночной стоимости судов, и приводятся результаты расчетов по предлагаемой методике.

Достоинством этого критерия и представленного метода расчета, по нашему мнению, является комплексность, когда все параметры судна оцениваются через его провозную способность (доходы), эксплуатационные расходы и, в конечном счете, – через предельную стоимость судна. Причем максимум предельной стоимости при прочих равных условиях работы судна является первой и одной из главных предпосылок его эффективной эксплуатации при условии, что все принимаемые к обоснованию типы судов являются схожими по своим основным параметрам. В дальнейшем он может выполнять роль «гаранта» эффективности, если будет создана методика определения себестоимости строительства судна при оптимизации его параметров. Это связано с тем, что оптимальные параметры судна (грузоподъемность, скорость и мощность, расход топлива), могут быть обеспечены за счет удорожания судна, то есть дополнительных капиталовложений вследствие принципиально иных решений. К ним можно отнести, например: увеличение грузоподъемности при одних и тех же главных размерениях за счет применения более прочного и лёгкого металла, уменьшение расхода топлива за счет более дорогих двигателей. При отсутствии вышеназванной методики на этапе ЭО возможно оценить эффективность дополнительных капитальных вложений методами, изложенными в [4], и принять решение о целесообразности такого удорожания себестоимости строительства судна.

Совершенствование методики может также идти в направлении определения эксплуатационных расходов, исходя из оптимальных параметров судна, более точными методами при наличии соответствующей информации.

В общем случае, кроме изложенных выше факторов, цена судна (капиталовложения), определяемая в интервале нижнего (себестоимость строительства) и верхнего (предельная стоимость) пределов, зависит от многих

рыночных факторов (спроса на перевозки грузов, конкуренции со стороны железнодорожного транспорта и судоходных предприятий, спроса на суда и т. д.) и является предметом договора между судостроителем и будущим владельцем (покупателем) судна. Каждый из них может использовать разные подходы или методы определения цены. Однако какой бы метод ни использовался, цена судна всегда должна вписываться в интервал верхнего и нижнего пределов.

Выводы

Таким образом, изложенный вариант выбора эффективных судов с приведенным методом определения предельной стоимости судов при ЭО является, по нашему мнению, удобным инструментом для обоснования и выбора судов на базе оптимизационных методов определения параметров судов в условиях высокого уровня использования информационных технологий. Практичность и реализуемость приведенного варианта следует, во-первых, из многолетнего опыта применения оптимизации скорости и расхода топлива по судам в ОАО «Волготанкер», АО «Волга-флот» и других судоходных предприятиях; во-вторых, из наличия разработанных методик оптимизации параметров судов; в-третьих - из приведенных выше результатов расчётов.

Список литературы

1. Арсеньев С.П. Выбор типов судов транспортного флота // труды ЦНИЭВТ, М.: Транспорт, 1968. – Вып. 50.
2. Бронников А.В. Выбор критериев для определения элементов транспортных судов в процессе проектирования. – В кн.: Общие вопросы проектирования судов (НТО Судпрома), Л.: Судостроение, 1973. – Вып. 199. – с. 63 – 72.
3. Самсонов Р.И. Разработка стратегии обновления и использования речного грузового флота: дис. канд. тех. наук. 05.22.19. – Н. Новгород, 2004. – 104 с.
4. Платов Ю.И., Никулина М.В. Оценка транспортного бизнеса: Уч.-метод. пособие. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – 60 с.
5. Платов А.Ю., Васильева О.Ю. Эксплуатационно-экономическое обоснование параметров речных судов на основе ИТ // Великие реки 2018: Материалы международной научно-методической конференции. – ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2018. – URL: <http://vf-река-море.рф/2018/PDF/108.pdf> (дата обращения 08.07.2021).
6. Российская Федерация. Законы. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки российского судостроения и судоходства: Федеральный закон № 305-ФЗ: [принят Государственной Думой 21 октября 2011 года; одобрен Советом Федерации 26 октября 2011 года]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121269/ (дата обращения 08.07.2021).
7. Платов А.Ю., Платов Ю.И. О современных методах бизнес-планирования работы речного флота // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта, 2018. – № 54 (54). – с. 110-116.
8. Economic Guidance memorandum 05-06 FY 2004 Shallow Draft Vessel Operating Costs. U.S. Army Corps of Engineers, 2004, P. 16.
9. Gentle N.F., Perkins R.J. An Estimate of Operating Costs for Bulk, Ro-Ro and Container Ships // Bureau of Transport Economics, Canberra, 1982.
10. Pocuca M. Methodology of Day-to-Day Ship Costs Assessment // Traffic&Transportation, 2006. – Vol. 18. No. 5, P. 337-345.
11. Psaraftis H.N., Kontovas C.A. Ship emissions: Logistics and other tradeoffs // 10th International Marine Design Conference (IMDC'09), May 2009.
12. Andersson H., Fagerholt K., Hobbelsland K. Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from RoRo shipping // Computers & Operations Research, 2015. – №55, P. 233-240.
13. Kowalski A. Cost optimization of marine fuels consumption as important factor of control ship's sulfur and nitrogen oxides emissions // Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 2013. – 36(108) z. 1, P. 94-99.

14. Shrady D.A., Smith G.K., Vassian R.B. Predicting Ship Fuel Consumptions // Naval Postgraduate School, 1996. – P. 70.
15. Нормы расхода топлива для планирования работы транспортного флота / ООО «Волготанкер АМС». Утверждены и введены в действие Приказом от 15 июля 2003 г. – №38/1 о.д. – Москва, 2003.
16. Эксплуатационные нормативы для планирования работы транспортного флота / ООО «Волготанкер АМС». Утверждены и введены в действие Приказом от 15 июля 2003 г. – №38/2 о.д. – Москва, 2003.

References

1. Arsen'ev S.P. Vybor tipov sudov transportnogo flota // trudy CNIEVT, M.: Transport, 1968. – Vyp. 50.
2. Bronnikov A.V. Vybor kriteriev dlya opredeleniya elementov transportnyh sudov v processe proektirovaniya. – V kn.: Obshchie voprosy proektirovaniya sudov (NTO Sudproma), L.: Sudostroenie, 1973. – Vyp. 199. – s. 63 – 72.
3. Samsonov R.I. Razrabotka strategii obnoveniya i ispol'zovaniya rechnogo gruzovogo flota: dis. kand. tekhn. nauk. 05.22.19. – N. Novgorod, 2004. – 104 s.
4. Platov YU.I., Nikulina M.V. Ocenka transportnogo biznesa: Uch.-metod. posobie. – N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2020. – 60 s.
5. Platov A.YU., Vasil'eva O.YU. Eksploatacionno-ekonomicheskoe obosnovanie parametrov rechnykh sudov na osnove IT // Velikie reki 2018: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii. – FGBOU VO «VGUVT», 2018. – URL: <http://vf-reka-more.rf/2018/PDF/108.pdf> (data obrashcheniya 08.07.2021).
6. Rossijskaya Federaciya. Zakony. O vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii v svyazi s realizaciej mer gosudarstvennoj podderzhki rossijskogo sudostroeniya i sudohodstva: Federal'nyj zakon № 305-FZ: [prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 21 oktyabrya 2011 goda: odobren Sovetom Federacii 26 oktyabrya 2011 goda]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121269/ (data obrashcheniya 08.07.2021).
7. Platov A.YU., Platov YU.I. O sovremennykh metodah biznes-planirovaniya raboty rechnogo flota // Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta, 2018. – № 54 (54). – s. 110-116.
8. Economic Guidance memorandum 05-06 FY 2004 Shallow Draft Vessel Operating Costs. U.S. Army Corps of Engineers, 2004, P. 16.
9. Gentle N.F., Perkins R.J. An Estimate of Operating Costs for Bulk, Ro-Ro and Container Ships // Bureau of Transport Economics, Canberra, 1982.
10. Pocuca M. Methodology of Day-to-Day Ship Costs Assessment // Traffic&Transportation, 2006. – Vol. 18. No. 5, P. 337-345.
11. Psaraftis H.N., Kontovas C.A. Ship emissions: Logistics and other tradeoffs // 10th International Marine Design Conference (IMDC'09), May 2009.
12. Andersson H., Fagerholt K., Hobbesland K. Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from RoRo shipping // Computers & Operations Research, 2015. – №55, P. 233-240.
13. Kowalski A. Cost optimization of marine fuels consumption as important factor of control ship's sulfur and nitrogen oxides emissions // Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 2013. – 36(108) z. 1, P. 94–99.
14. Shrady D.A., Smith G.K., Vassian R.B. Predicting Ship Fuel Consumptions // Naval Postgraduate School, 1996. – P. 70.
15. Normy raskhoda topliva dlya planirovaniya raboty transportnogo flota / ООО «Волготанкер АМС». Утверждены и введены в действие Приказом от 15 июля 2003 г. – №38/1 о.д. – Москва, 2003.
16. Eksploatacionnye normativy dlya planirovaniya raboty transportnogo flota / ООО «Волготанкер АМС». Утверждены и введены в действие Приказом от 15 июля 2003 г. – №38/2 о.д. – Москва, 2003.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Васильева Оксана Юрьевна, аспирант кафедры Управления транспортом, Волжский государственный университет водного

Oksana Y. Vasileva, postgraduate of Transport Management Chair Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny

транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: vasilieva_ox@mail.ru

Novgorod, 603950, e-mail: vasilieva_ox@mail.ru

Никулина Марина Владимировна, к.т.н., доцент, доцент кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: marina_platnik@rambler.ru

Marina V. Nikulina, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: marina_platnik@rambler.ru

Платов Юрий Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: platov_ji@mail.ru

Juri I. Platov, Dr. Sci. (Eng), professor of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: platov_ji@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

УДК 659.62

DOI: 10.37890/jwt.v68.210

Ледовые инерционные характеристики судов с нетрадиционным формообразованием

В.А. Лобанов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0931-7317>

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

Аннотация. В работе отмечен факт существенного прироста состава грузового флота внутреннего и смешанного (река-море) плавания судами с нетрадиционными формами корпусов. На основе данных САЕ-испытаний проведён анализ характера контакта таких судов с водо-ледяной средой при движении в ледовом канале. Отмечены качественные особенности такого контакта бульбоносых судов с мелкобитыми и тёртыми льдами. Особое внимание уделено исследованию влияния бульбообразных носовых заострений различных видов на изменение уровня продольных ледовых корпусных нагрузок и распределения льдов в зоне их движительных комплексов. Проведена статистическая обработка полученных экспериментальных данных по оценке влияния ледовых, динамических и конструктивных факторов на инерционные характеристики судов с нетрадиционным формообразованием. Дан количественный прогноз такого влияния в виде эмпирической методики оценки ледовых инерционных качеств исследованного флота.

Ключевые слова: судно, носовой бульб, ледовые условия, ледовые качества, инерционные характеристики, САЕ-система, конечноэлементное моделирование.

Ice inertial characteristics of vessels with nontraditional form

Vasily A. Lobanov

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0931-7317>

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The fact of the essential increase of the structure of cargo internal and mixed (river- sea) fleet by the vessels with nonconventional forms hulls is noted in the article. On the basis of these CAE tests nature analyses of contact of such vessels with the water ice environment at the movement in the ice channel are carried out. Qualitative features of such contact of bulbous vessels with ice cakes and small ice cakes are noted. Special attention is paid to the research of influence of bulbous nasal points of different types on the change of level of longitudinal ice hull loads and distribution of ices in a zone of their propeller systems. Statistical processing of the obtained experimental data on impact assessment of ice, dynamic and constructive factors on inertial characteristics of vessels with nonconventional forms hulls is carried out. The quantitative predict of such influence in the form of an empirical method of assessment of ice inertial characteristics of the studied fleet is given.

Keywords: vessel, nasal bulb, ice conditions, ice performances, inertial characteristics, CAE-system, finite element modeling.

Введение

За прошедшие два десятилетия состав флота внутреннего и смешанного (река – море) плавания существенно обновился судами с нетрадиционным формообразованием [1]. Под нетрадиционным формообразованием автор понимает

наличие плуго- и таранообразных носовых бульбов, значительно удлиненных цилиндрических вставок и увеличенных коэффициентов полноты водоизмещения корпусов.

Многие проекты судов этого флота предусматривают круглогодичную эксплуатацию, в том числе в ледовых условиях неарктических судоходных путей. Ледовые категории (ледовые классы), присвоенные классификационными обществами таким судам, допускают их безопасную эксплуатацию лишь в условиях мелкобитых, тёртых льдов и ледяной каши при толщинах ледяной среды не более полуметра. Однако регламентированные условия ледового плавания допустимы к корректировке при наличии на судне Ледового паспорта [2].

Одним из обязательных разделов Ледового паспорта являются рекомендации по безопасным дистанциям между судами при их движении в караване по ледовому каналу. Безопасные дистанции, в свою очередь, непосредственно определяются инерционными качествами судов во льдах. Следует отметить, что для исследуемого флота в допустимых условиях его эксплуатации автором не обнаружены какие-либо методики по оценкам названных ледовых качеств. Поэтому в данной работе предложен чисто эмпирический метод их расчёта, основанный на статистической обработке данных многочисленных САЕ-испытаний судов во льдах, частично дополненных результатами натурных наблюдений [3-9].

Моделирование

Теоретические основы САЕ-моделирования взаимодействия корпуса судна и его движительно-рулевого комплекса с водо-ледяной средой (типы и модели конечных элементов, особенности реакции материалов на нагрузку, алгоритмы поведения контактных границ, приёмы формирования геометрии конструкций и конечноэлементных сеток для них, начальные и граничные условия, способы понижения ресурсоёмкости моделей) сформулированы и апробированы автором в монографии [10]. Для ускорения описания геометрии обводов судов и движителей с требуемыми параметрами в САЕ-системе LS-DYNA [11], а также для статистической обработки больших объёмов данных автором применена MathCAD-среда [12].

Разгон

Расчёт пути и времени разгона до скорости, достижимой в заданных ледовых условиях, требует численного решения дифференциального уравнения движения судна в этот период:

$$m_s \frac{dv}{dt} = T_i(v) - R_i(v), \quad (1)$$

где m_s – масса судна с присоединённой водой и льдами, т:

$$m_s = \delta VT \left(L + \frac{T}{2} \right) + 6,37\delta LBT \left(\frac{h}{T} \right)^{1,23} \bar{c}^{1,33} \left(\frac{L}{B} \right)^{-1,34}, \quad (2)$$

где L, B, T – расчётные размерения судна, м

δ – коэффициент полноты водоизмещения судна;

h – толщина ледяного покрова, м;

\bar{c} – относительная сплочённость ледяного покрова.

v – скорость хода судна, м/с;

t – текущее время, с;

$T_i(v)$ – полезная ледовая тяга движителей как функция скорости, кН:

$$T_i(v) = T_w(v) - [T_w(v) - R_w(v)]K_{td}(v), \quad (3)$$

где $T_w(v)$ – тяга движителей в чистой воде как функция скорости;

$R_w(v)$ – гидродинамическое сопротивление судна в чистой воде как функция скорости;

$K_{td}(v)$ – эмпирический коэффициент, представленный десятифакторной зависимостью с коэффициентом корреляции около 0,95 по результатам статистической обработки данных САЕ-экспериментов в среде MathCAD (Рис. 1):

$$K_{td} = f(L, B, T, \delta, \varphi, \alpha, v, h, \bar{c}, m), \quad (4)$$

где φ – угол наклона форштевня к вертикали на расчётной ватерлинии, градус;
 α – угол наклона расчётной ватерлинии на первом теоретическом шпангоуте к ДП судна, градус;

m – разрушенность ледяного покрова, балл.

Коэффициент $K_{td}(v)$ в зависимости (3) применяется как скоростная функция при прочих фиксированных аргументах (для конкретного судна и его посадки в заданных ледовых условиях).

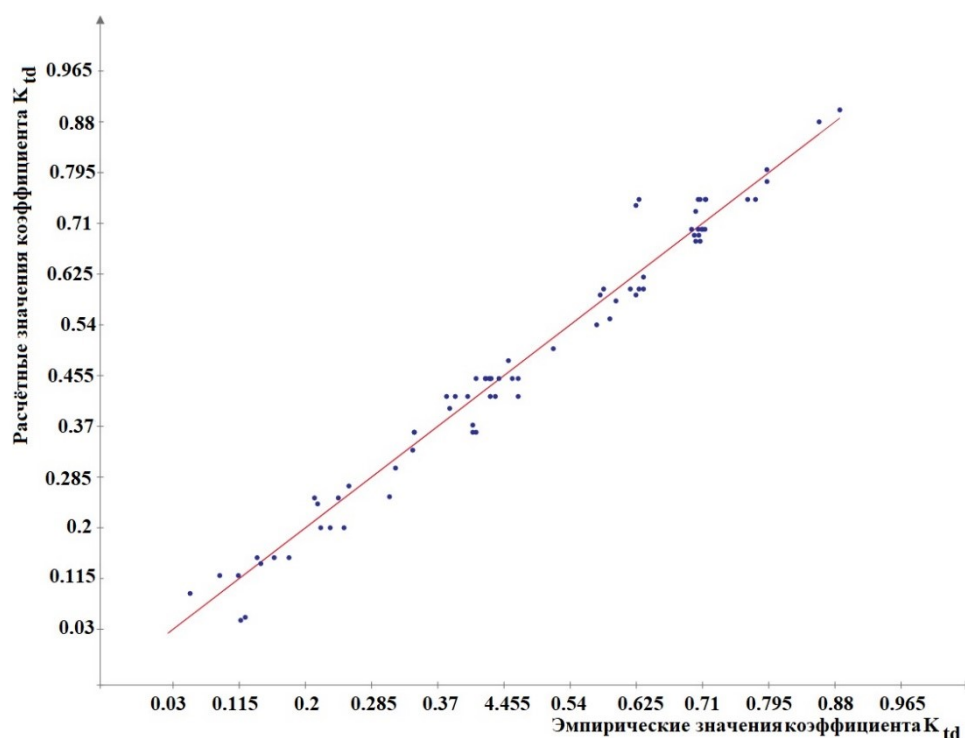


Рис. 1. Диагональная диаграмма статистической связи эмпирических и расчётных значений коэффициента K_{td}

Fig. 1. Diagonal diagram of correlation of empirical and calculated values of coefficient K_{td}

$R_i(v)$ – полное ледовое сопротивление судна как функция скорости, кН:

$$R_i(v) = \frac{T_{im}}{v_{im}^2} v^2, \quad (5)$$

где T_{im} – полезная ледовая тяга движителей при достижимой скорости, определяемая по зависимости (3);

v_{im} – достижимая скорость судна в заданных ледовых условиях, м/с [5]:

$$v_{im} = v_0(\sqrt{u^2 - 0,016K_{me}K_{br}hc^4b_h + d_h} - u), \quad (6)$$

где v_0 – скорость полного хода судна в чистой воде, м/с;
 u – эмпирический коэффициент:

$$u = 2,5hc^2a_h + 0,5(d_h - 1), \quad (7)$$

где c – сплочённость льдов, балл;
 a_h – эмпирический коэффициент:

$$a_h = \frac{3,6Bv_0}{1000T_{w0}}, \quad (8)$$

где T_{w0} – тяга движителей на полном ходу в чистой воде, кН;
 d_h – эмпирический коэффициент:

$$d_h = K_f \frac{T_{rf}}{T_{w0}}, \quad (9)$$

где K_f – коэффициент формы судна (Рис. 2);

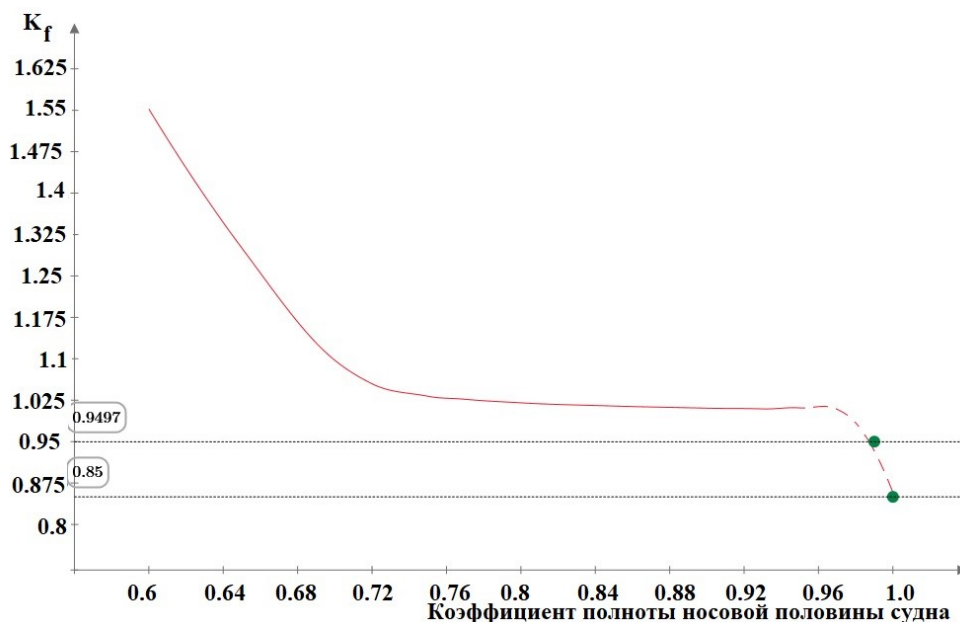


Рис. 2. Влияние вида носовой оконечности на ледовую ходкость судна
 (Ордината точки 1 равна значению коэффициента K_f для судна с бульбообразным носом типа «таран», ордината точки 2 – для судна с бульбообразным носом типа «плуг»)

Fig. 2. Influence of the bow form on ice propulsion ability of the vessel
 (The ordinate of a point 1 is equal to value of coefficient K_f for the vessel with a bulbous bow like «ram», ordinate of a point 2 – for the vessel with a bulbous bow like «plow»)

T_{rf} – упор движителей «на швартовах» переднего хода в чистой воде, кН;
 K_{me} – коэффициент влияния разрушенности льда на ходкость судна (рис. 3).

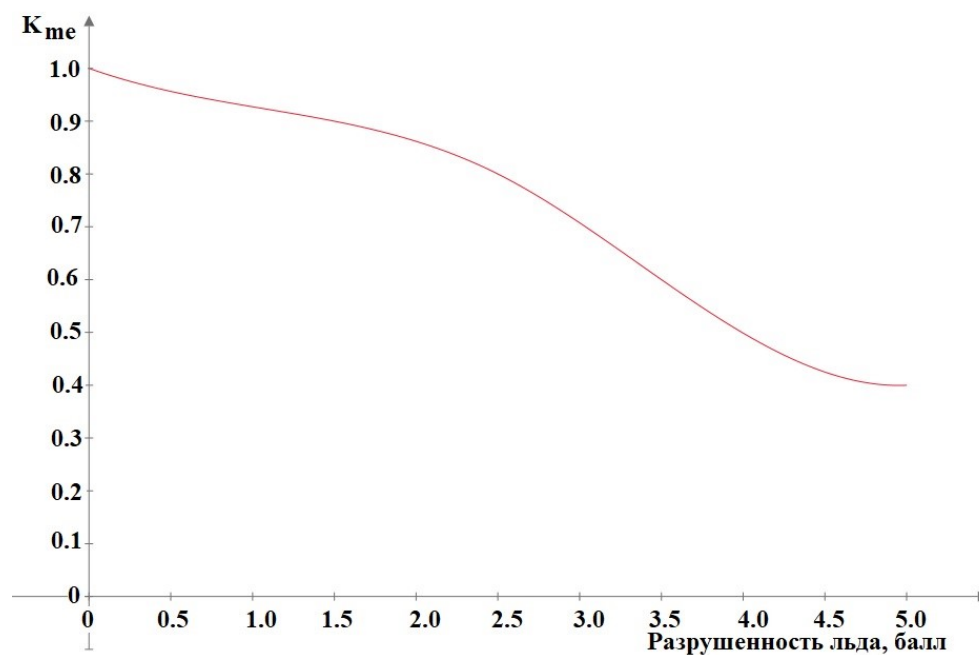


Рис. 3. Влияние разрушенности льда на ходкость судна

Fig. 3. Influence of an extent of ice destruction on ice propulsion ability of the vessel

K_{br} – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние ширины ледового канала на ходкость судна. Определяется по графику рис. 4. При этом аргументом является отношение ширины канала к расчётной ширине судна.

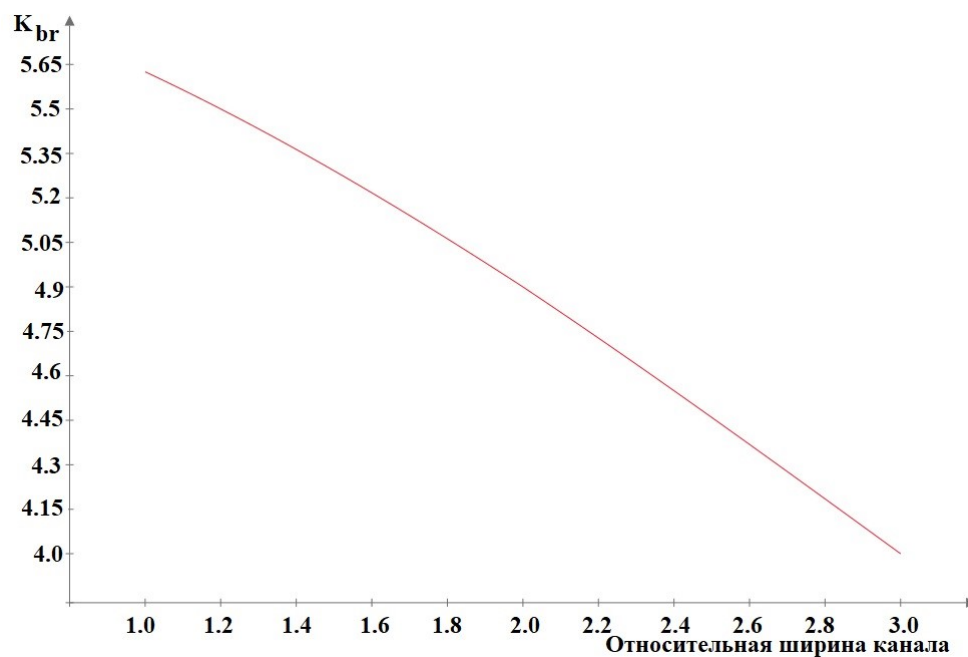


Рис. 4. Влияние ширины канала на ходкость судна

Fig. 4. Influence of the width of the ice channel on ice propulsion ability of the vessel

b_h – эмпирический коэффициент:

$$b_h = \frac{B\sqrt{BL}}{1000T_{w0}}, \tag{10}$$

В качестве примера на рис. 5 показаны кривые разгона танкера проекта 19614 в ледовом канале, покрытом неразрушенными мелкобитыми льдами толщиной 0,5 м и сплочённостью 8 баллов.

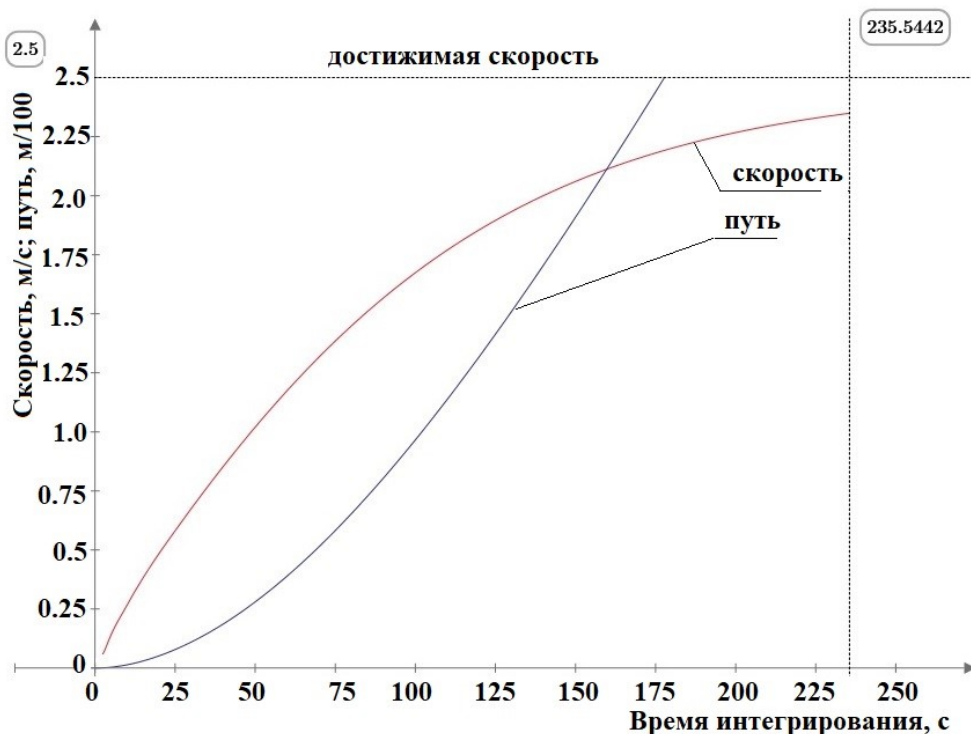


Рис. 5. Кривые разгона танкера проекта 19614 в ледовом канале

Fig. 5. Acceleration curves of the tanker of the project 19614 in the ice channel

Численное нахождение корня уравнения, описывающего кривую скорости (Рис. 5), в итоге даст искомое время разгона судна до заданной скорости в данных ледовых условиях. При этом заданную скорость рекомендуется устанавливать на уровне не ниже 95 % обеспеченности от достижимой, определяемой по зависимости (6). Найденное время разгона, в свою очередь, является аргументом уравнения пути разгона для расчёта последнего.

Торможение

Нахождение пути и времени торможения судна во льдах до полной остановки выполняется в два этапа. На первом этапе численно решается дифференциальное уравнение его движения за период реверса движителей:

$$m_s \frac{dv}{dt} = T_i(t) - R_i(v), \quad (11)$$

где $T_i(t)$ – полезная ледовая тяга движителей как функция времени, кН. На данном этапе исследований автором использована следующая зависимость для её описания:

$$T_i(t) = T_{im} - \frac{T_{im}}{0,5t_{re}} t, \quad (12)$$

где t_{re} – время реверса движителей, с.

Второй этап связан с решением дифференциального уравнения движения судна за оставшийся период торможения (от момента завершения реверса движителей до остановки судна):

$$m_s \frac{dv}{dt} = -T_{ir}(v) - R_i(v), \quad (13)$$

где $T_{ir}(v)$ – полезная ледовая реверсивная тяга движителей как функция скорости, кН:

$$T_{ir}(v) = T_{rr}[1 + K_{td}(v)], \quad (14)$$

где T_{rr} – упор движителей «на швартовах» заднего хода в чистой воде, кН.

В качестве примера рис. 6 иллюстрирует расчёт кривых торможения танкера проекта 19614 в ледовом канале, покрытом неразрушенными мелкобитыми льдами толщиной 0,5 м и сплочённостью 8 баллов.

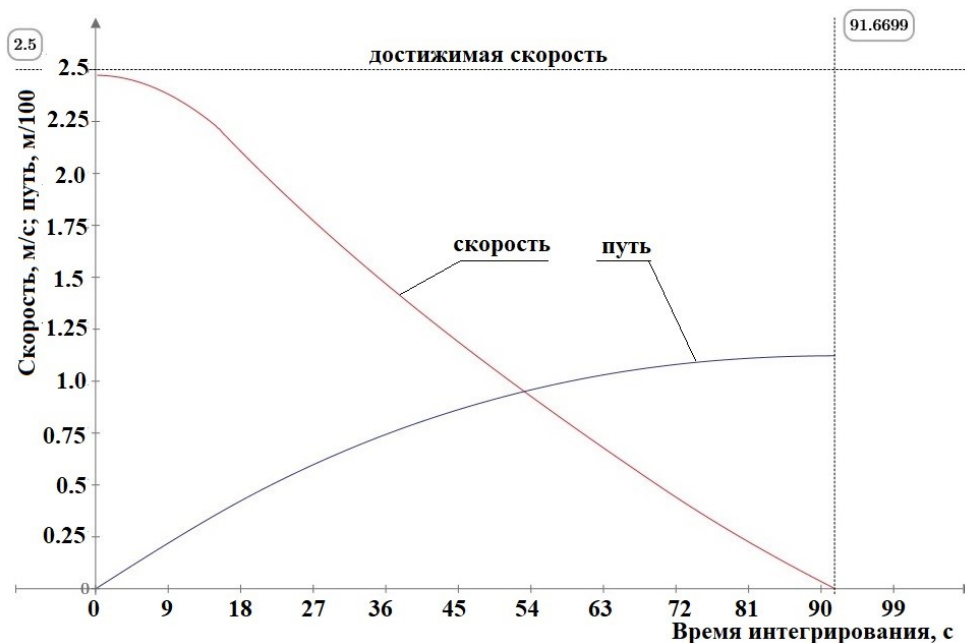


Рис. 6. Кривые торможения танкера проекта 19614 в ледовом канале

Fig. 6. Deceleration curves of the tanker of the project 19614 in the ice channel

Непосредственное определение времени и пути торможения по кривым рис. 6 аналогично описанному в предыдущем параграфе. Отличием является заданный уровень скорости – здесь он нулевой.

Заключение

Предложенная в настоящей работе методика расчёта ледовых инерционных качеств исследованной группы флота, безусловно, носит оценочный характер. Поэтому применимость её ограничена задачами эксплуатационного характера. В данном случае – это оперативное планирование формирования ледовых караванов судов для их проводки ледоколом (или самостоятельного группового плавания).

В статье не приведено описание расчётов гидродинамических параметров судна в условиях чистой воды, требуемых данной методикой (упоры «на швартовах», кривые буксировочного сопротивления и тяги движителей). Это сделано умышленно, ибо к настоящему времени разработано, апробировано и опубликовано как в отечественной, так и в международной литературе большое количество методов оценки этих параметров [8,13,14]. При явной избыточности подобных методик у автора нет предпочтений в отношении их использования. Однако при этом следует отметить, что имеют место ощутимые расхождения в результатах расчётов названных характеристик по различным методикам. Поэтому при доступности репрезентативных натуральных данных по гидродинамическим характеристикам судна предпочтение следует отдать им.

Скоростная кривая полного ледового сопротивления судна (5) представлена в первом приближении, что требует её корректировки. Это уточнение достижимо только по результатам натурных испытаний судов, реальных или виртуальных модельных экспериментов [15-24].

Список литературы

1. Морское инженерное бюро. – URL: <http://www.meb.com.ua/projects.html>. – Текст: электронный.
2. Свидетельство о допустимых условиях ледового плавания. Циркулярное письмо главного управления Российского морского регистра судоходства от 19 декабря 2011 г. № 314-2.2-547ц. – Текст: непосредственный.
3. *V. A. Lobanov*. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Icebreaker sitting and propulsion ability. Scientific Visualization, 2020, volume 12, number 1, pages 48 – 60, DOI: 10.26583/sv.12.1.04. – URL: <http://sv-journal.org/2020-1/04>. – Text: electronic.
4. *Лобанов В.А.* Влияние формы и посадки судна на распределение льдов в зоне его движительно-рулевого комплекса. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 61. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2019. – с. 176-182. – URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v61.pdf. – Текст: электронный.
5. *Лобанов В.А.* Ледовая ходкость судов с нетрадиционным формообразованием. Научные проблемы водного транспорта (Вестник ВГАВТ). Выпуск 65. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – с. 143-156. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.136>. – Текст: электронный.
6. *Лобанов В.А.* Пропульсивные качества комплекса винт-насадка во льдах // Интернет-журнал «Науковедение» Том 7, №1 (2015). – с. 1-18. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN115.pdf>. DOI: 10.15862/36TVN115. – Текст: электронный.
7. Эксплуатационно-технические испытания транспортных и ледокольных судов в ледовых условиях с разработкой предложений, обеспечивающих их круглогодичную эксплуатацию. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме №XV-3.2/794147. Научные рук. – Тронин В.А., Богданов Б.В. – Горький.: ГИИВТ, 1981. – 262 с. – Текст: непосредственный.
8. *Тронин В.А.* Повышение безопасности и эффективности ледового плавания судов на внутренних водных путях: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: специальность 05.22.16 – Судовождение / Горький, 1990. – 414 с. – Текст: непосредственный.
9. *Ионов Б.П., Грамузов Е.М.* Ледовая ходкость судов. 2 издание, исправленное. – СПб.: Судостроение, 2014. – 504 с., ил. – Текст: непосредственный.
10. *Лобанов В.А.* Оценки ледовых качеств судов с применением CAE-систем: монография / В.А. Лобанов. – Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – 296 с. – Текст: непосредственный.

11. Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA. – URL: <https://www.lstc.com/products/ls-dyna>. – Text: electronic.
12. PTC MathCAD. – URL: <https://www.ptc.com/en/products/MathCAD>. – Text: electronic.
13. Басин А.М., Анфимов В.Н. Гидродинамика судна. – Л.: «Речной транспорт», 1961. – 684 с., ил. – Текст: непосредственный.
14. Lothar Birk. Fundamentals of Ship Hydrodynamics: Fluid Mechanics, Ship Resistance and Propulsion. – Wiley, 2019. – 693 p. – Текст: непосредственный.
15. Alexey Dobrodeev, Kirill Sazonov, Alexander Andryushin, Sergey Fedoseev, Sergey Gavrilov. Experimental Studies of Ice Loads on Pod Propulsors of Ice-Going Support Ships. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf. – Text: electronic.
16. Akihisa Konno, Akihiro Nakane, Satoshi Kanamori. Validation of numerical estimation of brash ice channel resistance with model test. Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. June 9-13, 2013, Espoo, Finland. – URL: http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf. – Text: electronic.
17. Michael Lau. Friction Correction for Model Ship Resistance and Propulsion Tests in Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.pdf. – Text: electronic.
18. Hyoil Kim, Namkyun Im, Junji Sawamura. Experimental and Numerical Investigation of Ship-Ice Interactions in Pack Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf. – Text: electronic.
19. Seong-Yeob Jeong, Jeong-Gil Yum, Eun-Jee Cheon, Kyungsik Choi. Ice Load Characteristics on a Model Ship Hull Installed with Tactile Sensor Panels. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf. – Text: electronic.
20. Cheol ho Ryu, Hyun Soo Kim, Kyung Duk Park, Chun Ju Lee, Jae-Moon Lew⁴. Development of ice resistance estimation system using empirical formula. Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 9-13, 2013, Espoo, Finland. – URL: http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf. – Text: electronic.
21. Junji Sawamura, Ryouhei Kikuzawa, Takashi Tachibana, Masaya Kunigita. Numerical investigation of the ice Force Distribution around the Ship Hull in level Ice. Proceedings of the 21st International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. July 10-14, 2011, Montreal, Canada. – URL: <http://www.poac.com/PapersOnline.html>. – Text: electronic.
22. Kyung-Duk Park, Donghyeong Ko. New Ice Resistance Evaluation Technique Considering Hull form and Icebreaking Pattern for Arctic Vessels. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf. – Text: electronic.
23. Ji S., Kong S. Interaction between Level Ice and Ship Hull based on DEM simulations // Proceedings of the 23rd IAHR International Symposium on Ice. 2016. – Text: direct.
24. Tan X. Numerical investigation of ship's continuous mode icebreaking in level ice (Doctoral thesis). Norway, Norwegian University of Science and Technology, Department of Marine Technology, 2014. – Text: direct.

References

1. Morskoe inzhenernoe byuro. – URL: <http://www.meb.com.ua/projects.html>. – Текст: ehlektronnyi.
2. Svidetel'stvo o dopustimyykh usloviyakh ledovogo plavaniya. Tsirkulyarnoe pis'mo glavnogo upravleniya Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva ot 19 dekabrya 2011 g. № 314-2.2-547ts. – Текст: neposredstvennyi.
3. V. A. Lobanov. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Icebreaker sitting and propulsion ability. Scientific Visualization, 2020, volume 12, number 1, pages 48 - 60, DOI: 10.26583/sv.12.1.04. – URL: <http://sv-journal.org/2020-1/04>. – Text: electronic.
4. Lobanov V.A. Vliyanie formy i posadki sudna na raspredelenie l'dov v zone ego dvizhitel'no-rulevogo kompleksa. Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. (61) 2019: 176-182. – URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v61.pdf. – Текст: ehlektronnyi.

5. Lobanov V.A. Ledovaya khodkost' sudov s netraditsionnym formoobrazovaniem. Nauchnye problemy vodnogo transporta (Vestnik VGAVT). Vypusk 65. – N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2020. – s. 143-156. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.136>. – Tekst: ehlektronnyi.
6. Lobanov V.A. Propul'sivnye kachestva kompleksa vint-nasadka vo l'dakh // Internet-zhurnal «Naukovedenie» Tom 7, №1 (2015). – s. 1-18. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN115.pdf>. DOI: 10.15862/36TVN115. – Tekst: ehlektronnyi.
7. Eksploatacionno-tehnicheskie ispytaniya transportnyh i ledokol'nyh sudov v ledovyh usloviyah s razrabotkoj predlozhenij, obespechivayushchih ih kruglogodovuyu eksploataciyu. Otchyot o nauchno-issledovatel'skoj rabote po teme №XV-3.2/794147. Nauchnye ruk. – Tronin V.A., Bogdanov B.V. - Gor'kij.: GIIVT, 1981. – 262 p. – Tekst: neposredstvennyi.
8. Tronin V.A. Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti ledovogo plavaniya sudov na vnutrennih vodnyh putyah: dissertaciya na soiskanie uchyonoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: special'nost' 05.22.16 – Sudovozhdenie / Gor'kij, 1990. – 414 p. – Tekst: neposredstvennyi.
9. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya hodkost' sudov. 2 izdanie, ispravlennoe. – SPb.: Sudostroenie, 2014. – 504 p. – Tekst: neposredstvennyi.
10. Lobanov V.A. Otsenki ledovykh kachestv sudov s primeneniem CAE-sistem: monografiya / V.A. Lobanov. – N. Novgorod: Izd-vo FBOU VPO «VGAVT», 2013. – 296 s. – Tekst: neposredstvennyi.
11. Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA. – URL: <https://www.lstc.com/products/ls-dyna>. – Text: electronic.
12. PTC MathCAD. – URL: <https://www.ptc.com/en/products/MathCAD>. – Text: electronic.
13. Basin A.M., Anfimov V.N. Gidrodinamika sudna. – L.: «Rechnoi transport», 1961. – 684 p., il. – Tekst: neposredstvennyi.
14. Lothar Birk. Fundamentals of Ship Hydrodynamics: Fluid Mechanics, Ship Resistance and Propulsion. – Wiley, 2019. – 693 p. – Text: direct.
15. Alexey Dobrodeev, Kirill Sazonov, Alexander Andryushin, Sergey Fedoseev, Sergey Gavrilov. Experimental Studies of Ice Loads on Pod Propulsors of Ice-Going Support Ships. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf. – Text: electronic.
16. Akihisa Konno, Akihiro Nakane, Satoshi Kanamori. Validation of numerical estimation of brash ice channel resistance with model test. Proceedings of the 22 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. June 9-13, 2013, Espoo, Finland. – URL: http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf. – Text: electronic.
17. Michael Lau. Friction Correction for Model Ship Resistance and Propulsion Tests in Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.pdf. – Text: electronic.
18. Hyoil Kim, Namkyun Im, Junji Sawamura. Experimental and Numerical Investigation of Ship-Ice Interactions in Pack Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf. – Text: electronic.
19. Seong-Yeob Jeong, Jeong-Gil Yum, Eun-Jee Cheon, Kyungsik Choi. Ice Load Characteristics on a Model Ship Hull Installed with Tactile Sensor Panels. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf. – Text: electronic.
20. Cheol ho Ryu, Hyun Soo Kim, Kyung Duk Park, Chun Ju Lee, Jae-Moon Lew. Development of ice resistance estimation system using empirical formula. Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 9-13, 2013, Espoo, Finland. – URL: http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf. – Text: electronic.
21. Junji Sawamura, Ryouhei Kikuzawa, Takashi Tachibana, Masaya Kunigita. Numerical investigation of the ice Force Distribution around the Ship Hull in level Ice. Proceedings of the 21 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. July 10-14, 2011, Montreal, Canada. – URL: <http://www.poac.com/PapersOnline.html>. – Text: electronic.
22. Kyung-Duk Park, Donghyeong Ko. New Ice Resistance Evaluation Technique Considering Hull form and Icebreaking Pattern for Arctic Vessels. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf. – Text: electronic.
23. Ji S., Kong S. Interaction between Level Ice and Ship Hull based on DEM simulations // Proceedings of the 23rd IAHR International Symposium on Ice. 2016. – Text: direct.

24. *Tan X.* Numerical investigation of ship's continuous mode icebreaking in level ice (Doctoral thesis). Norway, Norwegian University of Science and Technology, Department of Marine Technology, 2014. – Text: direct.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лобанов Василий Алексеевич, профессор кафедры Судовождения и безопасности судоходства, доцент, д.т.н., кафедра Судовождения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Россия, Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail: lobbas@mail.ru

Vasily A. Lobanov, Professor of department of Navigation and safety of navigation, associate professor, Dr. Sci. Tech., department of Navigation and safety of navigation, Volga State University of Water Transport, 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Nesterova 5, e-mail: lobbas@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021

Информация для авторов

Требования к оформлению статей, а также примеры оформления списков литературы изложены на сайте журнала <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/rules>

I. Материалы, предоставляемые автором в редакцию:

1. Файл с текстом статьи (в формате Microsoft Word или RTF) направляется на электронный адрес raeva@vsawt.com либо подается через сайт издания. Рекомендованный объем статьи – 0,5 - 1 печатных листов (8-16 страниц).
2. Экспертное заключение о возможности открытого опубликования материалов статьи (можно прислать PDF файл на электронную почту raeva@vsawt.com, либо направляется в бумажном виде по адресу г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5, к.325).

II. Основные требования к содержанию статьи:

1. Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях. Научная статья должна содержать очевидный элемент создания нового знания в сравнении с имеющейся научной литературой по избранной теме исследования. Предпочтение отдается статьям научно-теоретического, научно-практического и аналитического характера.
2. Показатель итоговой оценки оригинальности текста в системе Антиплагиат должен быть не менее 80%, показатель заимствования не более 10%, показатель самоцитирования не более 25%

При оформлении статьи рекомендуется ориентироваться на публикации, вошедшие в Текущий выпуск.

III. Перечень структурных элементов статьи

1. УДК (из классификатора)
2. Надпись "DOI: 10.37890/jwt.vi"
3. Название статьи
4. Сведения об авторах в формате:
 - Инициалы, Фамилия (на русском языке) каждого автора, например, И.И. Иванов
 - Идентификатор автора ORCID, например, ORCID: 0000-0002-8255-3017
 - Перечень учреждений всех авторов без сокращений (не указывать организационно-правовую форму), место издания, например, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия
5. Аннотация объемом 100-250 слов текста (не менее 10 строк)
6. Ключевые слова – 8-10 слов или словосочетаний
7. Название статьи на английском языке
8. Сведения об авторах на английском в формате:
 - Имя, О., Фамилия каждого автора (на английском языке), например, Ivan I. Ivanov
 - Идентификатор автора ORCID
 - Перечень учреждений всех авторов на английском языке, например, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia.
9. Аннотация (Abstract) на английском языке.
10. Ключевые слова (Keywords) на английском языке.
11. Текст статьи (должен быть структурирован; рекомендуется структура IMRaD (<https://ru.wikipedia.org/wiki/IMRAD>), например:
 - Введение
 - Методы
 - Результаты
 - Обсуждение
 - Заключение
 - Благодарности
12. Список литературы
13. References (литература на английском языке)
14. Информация об авторах на русском и английском языках:
 - имя, отчество, фамилия;
 - должность, звание, ученая степень, кафедра, подразделение;
 - полное и сокращенное название организации, где выполняется работа, адрес;

- e-mail

15. Координаты для обратной связи (e-mail, телефон)
16. Рубрика журнала, в которую подается статья для рассмотрения

IV. Оформление структурных элементов статьи

Общее оформление – редакция принимает тексты, сохраненные в формате .doc, .docx, .rtf.

- Размер шрифта 12, Times New Roman;
- Интервал между строками одинарный;
- Поля: левое - 3 см, правое - 1,5 см, верхнее - 2 см, нижнее - 2 см;

УДК – универсальная десятичная классификация, используется для систематизации научных статей. Определяется по классификатору (можно найти в Интернете). Если статья включает несколько областей знаний, то для объединения нескольких кодов используются знаки препинания (+ (плюс) - знак присоединения, / (косая черта) - знак распространения, : (двоеточие) – знак простого отношения, :: (двойное двоеточие) - знак закрепления последовательности, [] (квадратные скобки) – знак группирования).

DOI: 10.37890/jwt.vi — это префикс журнала.

Название статьи - должно кратко (не более 10 слов) и точно отражать содержание статьи (не допускаются названия, имеющие обороты такие как «К вопросу...», «Некоторые аспекты...» и аналогичные). Оформляется полужирным шрифтом, форматируется по центру. Заглавными буквами оформлять не надо!

Аннотация – это краткое точное изложение содержания документа, включающее основные сведения и выводы работы. Аннотация дает возможность установить основное содержание документа, используется в информационных (автоматизированных) системах для поиска документов. Аннотация выполняет функцию инструмента, позволяющего читателю понять, следует ли обращаться к полному тексту статьи. Аннотация должна быть информативной (не содержащей общих слов), содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследования), структурированной. Структура аннотации должна полностью повторять структуру статьи. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи.

Ключевые слова - должны характеризовать предметную область исследования. Во всех библиографических базах данных осуществляется поиск статей по ключевым словам. (не более 3-х слов внутри ключевой фразы). Слова и/или словосочетания отделяются запятой.

Англоязычные переводы (название статьи, сведения об авторах, аннотация (Abstract), ключевые слова (Keywords), литература (References)– должны быть качественными.

Текст статьи - должен быть структурирован, название частей необходимо выделять соответствующими подзаголовками, которые оформляются полужирным шрифтом и форматируются по центру. Разделы Введение (Постановка задачи) и Заключение (Выводы) являются обязательными. Приветствуется использование структуры IMRaD (<https://ru.wikipedia.org/wiki/IMRAD>):

1. **Введение** (актуальность) - описание проблемы, обзор литературы, связанной с исследованием, формулирование цели и задач исследования, обозначение нерешенных проблем, обоснование теоретической и практической значимости.
2. **Методы** - описание методов, условий и схем экспериментов, приборов, материалов и оборудования. указывается последовательность выполнения исследования и обосновывается выбор используемых методов (наблюдение, опрос, тестирование, эксперимент, лабораторный опыт, анализ, моделирование и т. д.).
3. **Результаты** - предоставление экспериментальных или теоретических данных, полученных в ходе исследований (могут быть представлены в виде таблиц, графиков, диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков). Это основной раздел, цель которого – доказать рабочую гипотезу (гипотезы).
4. **Обсуждение** - интерпретация полученных результатов, предположения, сопоставление, сравнение полученных результатов с результатами других авторов и т.д.
5. **Заключение** - структурированные выводы, соответствующие постановке задачи исследования во введении, делаются обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить попытки прогноза развития рассмотренных вопросов.
6. **Благодарности** - можно упомянуть людей, помогавших авторам подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку (например, номер гранта РФФИ). Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

Таблицы - должны быть подготовлены стандартными средствами MS Office. Надпись Таблица 1 форматируется по правому краю (размер шрифта 11, начертание - курсив). Название таблицы форматируется по центру полужирным шрифтом. На все таблицы (табл.1) должны быть ссылки в тексте

Рисунки - рисунки допускаются как в растровом, так и в векторном формате. Минимальное разрешение - 300 dpi. Каждое графическое изображение должно представлять собой единый, цельный объект. Подпись к рисункам приводится на русском и английском языках. Ширина подписи примерно соответствует ширине рисунка. Текстовые подписи под рисунком не должны быть частью рисунка. Рисунки (диаграммы, графики) должны допускать возможность редактирования и изменения их размеров. По возможности используйте для графического материала минимально требуемое разрешение. На все рисунки (рис.1) должны быть ссылки в тексте. Рисунки и иллюстрации вставляются в текст, а не в таблицы!

Формулы - все формулы набираются в редакторах Microsoft Equation 3.0, MathType 6 или Конструкторе формул Microsoft Word. Шрифт символов, входящих в формулы - комбинация Symbol и Times New Roman. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылка в тексте статьи. Если формула появляется в тексте как отдельная строка, она должна быть центрирована и, при необходимости, помечена сквозной нумерацией арабскими цифрами в круглых скобках. Если формула появляется внутри текста, обращайтесь внимание на размеры используемых шрифтов, чтобы они были «состыкованы» с размерами текста работы. Не сохраняйте формулы в виде рисунка и не вставляйте их в таблицы!

Список литературы – является обязательным элементом статьи. Ссылка на публикацию в научной статье является одним из главных показателей качества публикации, а статья с представительным списком литературы демонстрирует профессиональный кругозор и качественный уровень исследований ее авторов. Правильное описание используемых источников в списках литературы является залогом того, что цитируемая публикация будет учтена при оценке научной деятельности ее автора. По цитированию журнала определяется его научный уровень, авторитетность, эффективность деятельности ее редколлегии. Каждый научный факт должен сопровождаться отдельной ссылкой на источник. При формировании списка литературы необходимо придерживаться следующих правил:

- оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018.
- источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте.
- ссылки на все источники литературы в тексте статьи обязательны;
- не менее 15 ссылок;
- не менее 50 % ссылок на англоязычные источники;
- на свои статьи (самоцитирование) не более 20-25% от общего числа ссылок
- предпочтительнее ссылки на периодические издания (русские и английские), индексируемые в МНБД;
- если цитируемая статья имеет DOI, необходимо указывать его после описания цитируемой статьи. Для проверки наличия у статьи DOI можно, например, воспользоваться сервисом Crossref по ссылке <https://search.crossref.org/references>
- нежелательно включать в списки литературы анонимные источники и нормативные документы (постановления, законы, инструкции и т.д.), которые никогда не будут проиндексированы в базах данных цитирования, предпочтительно их цитировать непосредственно в тексте или во внутритекстовых сносках;
- нежелательно использовать в списках литературы авторефераты диссертаций и диссертации, учебные пособия и учебники;
- анонимные интернет-источники необходимо указывать в постраничных сносках, а не в списках литературы.

References - список литературы на английском языке.

Для русскоязычных статей необходимо указывать: ФИО авторов на латинице (транслитерация); название статьи (транслитерация); перевод названия статьи на английский язык; название журнала на английском языке (транслитерация, если нет информации об использовании журналом англоязычного названия); выходные данные с обозначением на английском языке (год, том, номер страницы «от-до»); указание на язык статьи, если она представлена на русском языке (In Russ.); DOI статьи (при наличии) или URL при отсутствии DOI, если есть доступ к статье.

В этом разделе должны использоваться только английские символы, наличие кириллических знаков не допускается. При ссылке на сайты, содержащие в названии русские символы, придется воспользоваться так называемым punicode-конвертором (например, <https://hb.by/punocode-converter.aspx>). С помощью подобных онлайн-сервисов имя сайта преобразуется в специальный код, который и указывается вместо русскоязычного названия. К примеру, ссылка «<http://vf-река-море.рф>» преобразуется в <http://xn----7kcgqcbassog3b.xn--p1ai/>.

Для перевода русского текста на латиницу используются правила **British Standart Institution**. Транслитерация производится с помощью автоматического транслитератора (Формат BSI), например, <http://transliteration.pro/bsi>. (не делать транслитерацию вручную).

Ссылка на статью в журнале

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie stat'i [Title of the Article], Nazvanie zhurnala [Title of Journal], 2021, no. 66, pp. 120—130.

Ссылка на книгу

Familia I.O. Nazvanie knigi [Title of the Book]. Gorod, Izdatelstvo Publ., 2015, 450 p.

Ссылка на переводное издание

Familia I.O. [Original Title of the Book]. Gorod, Izdatelstvo Publ., 2015, 450 p. (in Russ.)

Ссылка на статью в сборнике статей (I.O. Sostavitel = фамилия отв. редактора или составителя)

Familia I.O. Nazvanie stat'i [Title of the Article*], Nazvanie sbornika statei [Title of the Digest*], ed. I.O. Sostavitel. Gorod, Izdatelstvo Publ., 2015, pp. 10—15.

Ссылка на статью в электронном журнале

Familia I.O. Nazvanie stat'i [Title of the Article*], Nazvanie zhurnala [Title of Journal], 2015, no.5. Available at: <http://observatoria.rsl.ru/ru/s3/s17/s364/ok12015/> (accessed 01.12.2015)

Информация об авторах на русском и английском языках – оформляется в конце работы в виде таблицы (в качестве образца можно использовать статьи, опубликованные с 2020 года (№62))

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Митрошин Сергей Григорьевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: priemnaya@vgavt-nn.ru

Sergey G. Mitroshin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: priemnaya@vgavt-nn.ru

Раева Ольга Александровна, начальник издательского отдела, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: raeva@vsawt.com

Olga A. Raeva, Head of Publishing Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: raeva@vsawt.com

Редакция не рассматривает к публикации статьи, оформление которых не соответствует всем необходимым требованиям.

Article design

Materials provided by the author to the editorial office:

1. A file with the text of the article (in Microsoft Word or RTF format) sent to the email address raeva@vsawt.com or submitted via the publication's website. The recommended article size is 0.5 - 1 printed sheets (8-16 pages).
2. An expert opinion on the possibility of open publication of the materials of the article (can be sent as a PDF file to e-mail raeva@vsawt.com or sent in paper form to the address Nizhny Novgorod, Nesterov St., 5, room 325).

The basic requirements for the contents and design of the article:

1. The material proposed for publication must be original, not previously published in other publications. A scientific article should contain the obvious element of new knowledge in comparison with the existing scientific literature on the chosen research theme. Preference is given to articles of a scientific, theoretical and analytical character.
2. The index of the final assessment of the text originality in the Antiplagiat system must be not less than 80%, the borrowing indicator should be no more than 10%, the self-citation must be no more than 25%

When creating an article, it's convenient to use the [Article Template](#). The Template contains detailed information about the required design of the article, the text of the Template itself meets these requirements and can serve as an example of the design of the material.

The structure of the article should be strictly observed and include:

1. UDC (from the classifier)
2. Subject (article title in Russian)
3. Information about the authors:
 1. Initials, Surname (in Russian), for example: I.I. Ivanov
 2. Name of the organization without abbreviations (do not indicate the legal form), place of publication, for example, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia
 3. ORCID author identifier, for example, <http://orcid.org/0000-0002-8255-3017>
4. Annotation in Russian on average of 100-250 words of text (not less than 10 lines)
5. Keywords, phrases in Russian
6. The text of the article (should be structured)
 1. An introduction (statement of the research problem on a relevant theme, a clear description of the program (structure) of the article)
 2. The main body of the article (original author's study)
 3. The conclusion (structured conclusions corresponding to the statement of the research tasks stated in the introduction)

All formulas must be typed through Microsoft Equation 3.0 or MathType; Drawings, illustrations, graphics are inserted into the text, **not in tables**.

The list of the literature used is made out in accordance with State Standard 5.0.7 (it is an obligatory element of publication, links to all sources in the list of references are obligatory). Sources in the list of references are numbered and arranged in the order of they are mentioned in the text.

While preparing the bibliography of a scientific article, authors should consider the following recommendations:

1. at least 15 links should be mentioned;
2. references to all sources of literature in the text are required;
3. at least 50% of references to English-language sources are needed;
4. references to Russian and English periodicals are preferable;
5. not more than 20-25% of the total number of references to your own articles are required;

6. The Subject (the title of the article in English)
 7. the information about the authors in English:
 1. The first name, the second name, the surname (in English), e.g. Ivan I. Ivanov
 2. the place of work (in English)
 3. ORCID
 8. Abstract in English
 9. Keywords in English
 10. References - a list of literature (bibliography) in transliteration (transliteration is a letter-by-word transmission of a text written using the Russian alphabet by means of the Latin alphabet, a list of literature (bibliography) in other languages should be given in the original language).
 11. The information about the authors in Russian and in English:
 1. The first name, the second name, the third name
 2. The position, the title, the academic degree, the department, the unit;
 3. The full and the abbreviated name of the organization where the work is performed, address;
 4. e-mail
 12. Coordinates for feedback (e-mail, phone);
 13. The section into which the article is submitted for consideration
- In the article the following things must be considered:
1. Font size 10, Times New Roman;
 2. Single line spacing;
 3. Margins: left - 3 cm, right - 1.5 cm, upper - 2 cm, lower - 2 cm;
 4. Tables, diagrams, pictures width - max 13 cm.

The editors do not consider publishing the articles the design of which does not meet all the necessary requirements.

**Научные проблемы
водного транспорта**

**Russian Journal of Water
Transport**

№68(3), 2021

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 12,44. Уч.-изд. л. 17,41.
Заказ 140. 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.

Свободная цена

Подписной индекс в каталоге
Агентства "Книга-Сервис"
70191

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.

Научные проблемы водного транспорта № 68 (3) 2021

Адрес редакции и издателя:
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5

*Управление научных исследований
и инновационной деятельности
© ВГУВТ, 30.09.2021*