

Russian Journal of Water Transport

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

Научные проблемы водного транспорта № 82 (1) 2025

Научные проблемы
**ВОДНОГО
ТРАНСПОРТА**



№82 (1) 2025



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

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

Научные проблемы водного транспорта

№82 (1) 2025

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

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

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

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

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

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

Адрес учредителя, издателя и редакции: 603950, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5, Тел. +8(831) 419-51-84

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

2.5.17 Теория корабля и строительная механика

2.5.18 Проектирование и конструкция судов

2.5.19 Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства

2.5.20 Судовые энергетические установки и их элементы

2.9.7 Эксплуатация водного транспорта, водные пути, сообщения и гидрография

5.2.3 Региональная и отраслевая экономика

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

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



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

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

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

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

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

Редакция и Редколлегия

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Ответственный редактор

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

Ответственный секретарь

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

Члены Редколлегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Кочнев Юрий Александрович, д.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Сичкарев Виктор Иванович д.т.н., профессор, профессор кафедры Судовождения, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»)

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

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

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

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

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



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

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

Russian Journal of Water Transport

№82 (1) 2025

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: 603950, Russian Federation, Nizhny Novgorod, st. Nesterova, 5, Tel. +8 (831) 419-51-84

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

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

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

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



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

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

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

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

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

Editorial Team

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

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

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

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

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

Editorial board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Yuri A. Kochnev, Dr. Sci. (Tech.), assistant professor, Volga state unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Viktor I. Sichkarev Doctor of Technical Sciences, Professor of Navigation Department, Siberian State University of Water Transport,

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

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

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

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

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



Конструкторское бюро ВГУВТ

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

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

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



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

СОДЕРЖАНИЕ

Судостроение, судоремонт и экологическая безопасность судна

С.Н. Гирин, Н.Г. Зябко

Анализ теоретических и экспериментальных методов определения параметров колебаний судовых пропульсивных установок 15

А.Л. Гусев, Е.А. Першин

Расчёты колебаний отдельных модулей буксируемой системы вблизи их равновесных положений 27

А.Г. Назаров

Морской дизайн и его применение при создании судов малых размерений 39

Е.Ю. Чебан, Е.А. Лукина, В.А. Муравьев

Обоснование создания аварийно-обстановочного судна нового типа для внутренних водных путей 53

Судовое энергетическое оборудование

В.Л. Конюков

Анализ эффективности продувочно-выпускной системы двухтактного дизеля при использовании регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора 67

С.Ю. Курицын, Ю.И. Матвеев

Комплектация поршней судовых дизелей новым кольцевым уплотнением при ремонте 76

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

Виртуальный тренажерный комплекс главной энергетической установки судна с винто-рулевой колонкой 87

С. Слиман, А. Саламех, С. А. Каргин

Разработка экспериментальной установки для моделирования одноконтурной системы охлаждения судового дизеля 99

Д.В. Тимошенко, А.В. Пассар

Квазизамкнутая математическая модель переходных режимов комбинированного дизеля и ее численная реализация 109

Е.С. Шишов, С.Н. Зеленев

Результаты испытаний модели водометного движителя грузового катера 124

Экономика, логистика и менеджмент на транспорте

Т.М. Гайноченко

Применение структурного моделирования для оценки типа развития общественного транспорта в городах и городских агломерациях 135

Р.И. Каравашкина, Ю.Р. Гуро-Фролова

Проблемы управления интенсивностью труда работников водного транспорта 149

Ж.К. Кегенбеков, Е.А. Бубенко, Д. П. Макеров

Роль ERP-систем в оптимизации складской логистики Казахстана 160

<i>Д.А. Кориунов, Д.В. Дрейбанд</i>	
Перспективы развития скоростных пассажирских перевозок в рамках масштабирования проекта «Речные магистрали».....	170
<i>С.Е. Щепетова, К.И. Щербин, О.Л. Трухинова</i>	
Обеспечение устойчивого развития судостроительных предприятий на основе интеллектуальных систем управления.....	182
 <i>Эксплуатация водного транспорта, водные пути, сообщения и гидрография</i>	
<i>В.С. Воропаева</i>	
Анализ факторов, влияющих на безопасность судоходства.....	196
<i>Е.М. Куприна</i>	
Исследование изменения параметров сноса судна в створе мостового перехода	206
<i>Ю.И. Платов, М.В. Никулина</i>	
Один из подходов к определению эффективности использования судов на подводных крыльях	218
<i>М.А. Решетников, Ю.Е. Воронина, А.Н. Ситнов, М.В. Шестова</i>	
Исследование влияния строительства мостового перехода через р. Ока (г. Нижний Новгород) на вышерасположенные водоводы с применением математического моделирования руслового потока.....	226
<i>А.А. Фомин</i>	
Анализ состояния системы обеспечения безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте государственным портовым контролем	235

CONTENTS

Shipbuilding, ship repair and ecological safety of the ship

Stanislav N. Girin, Natalya G. Ziyabko

Analysis of theoretical and experimental methods of determining vibration parameters of ship propulsion systems..... 15

Alexander L. Gusev, Evgeniy A. Pershin

Calculations of vibrations of individual modules of a towed system near their equilibrium positions 27

Albert G. Nazarov

Marine design and its application for development of small sized ships 39

Egor Yu. Cheban, Evgeniya A. Lukina, Viktor A. Muraviev

Justification to create a new type of rescue vessel for inland waterways 53

Ship power equipment

Viacheslav L. Konyukov

Analysis of efficiency of a blowdown-exhaust system of a two-stroke diesel engine at use of the adjustable nozzle apparatus of a turbocharger 67

Sergey Y. Kuritsyn, Yuri I. Matveev

The complete set of pistons of marine diesel engines with a new o-ring seal during repair 76

Sergey V. Popov, Yurii S. Malyshev, Oleg A. Burmakin

Virtual training complex of the ship's main power plant with a helical steering column 87

Sawsan Sliman, Ali Salamekh, Sergey A. Kargin

Development of an experimental installation for modeling a single-circuit marine diesel cooling system 99

Denis V. Timoshenko, Andrey V. Passar

Quasi-closed mathematical model of transient modes of a combined diesel engine and its numerical implementation 109

Egor S. Shishov, Sergey N. Zelenov

Test results of a model of a water-jet propulsion of a cargo boat 124

Economics, logistics and transport management

Tatiana M. Gaynochenko

Application of structural modeling to assess the type of public transport development in cities and urban agglomerations 135

Renata I. Karavashkina, Yulya R. Guro-Frolova

Problems of labor intensity management considering water transport workers 149

Zhandos K. Kegenbekov, Elizaveta A. Bubenko, Dmitry P. Makerov

The role of ERP-systems in optimizing warehouse logistics in Kazakhstan 160

Dmitry A. Korshunov, Dmitry V. Dreiband

Prospects for the development of high-speed passenger transportation within the framework of scaling up the River Highways project 170

<i>Svetlana Ye. Shchepetova, Kirill I. Shcherbin, Olga L. Trukhinova</i> Ensuring sustainable development of shipbuilding enterprises based on intelligent control systems	182
<i>Water transport operation, waterways communications and hydrography</i>	
<i>Valeriya S. Voropaeva</i> Analysis of factors affecting the safety of navigation	196
<i>Ekaterina M. Kuprina</i> Investigation of changes in the parameters of ship demolition in the alignment of the bridge crossing	206
<i>Juri I. Platov, Marina V. Nikulina</i> One approach to determining the efficiency of using hydrofoil vessels	218
<i>Maxim A. Reshetnikov, Yulia E. Voronina, Aleksandr N. Sitnov, Marina V. Shestova</i> Investigation of the impact of the construction of a bridge crossing over the river. Oka (Nizhny Novgorod) on the upstream waterways using mathematical modeling of the riverbed flow	226
<i>Andrey A. Fomin</i> Analysis of the state of the system for ensuring the safety of navigation on inland water transport by the state port control	235

**СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА**

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

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi82.564

**Анализ теоретических и экспериментальных методов
определения параметров колебаний судовых пропульсивных
установок**

С.Н. Гирин

ORCID: 0009-0001-3741-8502

Н.Г. Зябко

ORCID: 0009-0007-6540-0629

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

Аннотация. Крутильным и изгибным колебаниям судовых валопроводов, а также коленчатых валов двигателей посвящены многочисленные исследования разных авторов, кроме того, параметры крутильных колебаний нормируются Классификационными органами, однако следует признать, что разрушения судовых валопроводов являются довольно частым явлением в настоящее время, следовательно, проблема остается актуальной. Значительный вклад в разработку теории собственных и вынужденных крутильных колебаний валопроводов был сделан профессором В.П. Терских. С использованием его алгоритма была создана программа для ЭВМ, которая нашла широкое применение в выполнении практических расчетов в нашей стране. Метод определения собственных частот и соответствующих им форм колебаний, предложенных В.П. Терских, является приближенным, и авторам не известны работы, посвященные анализу точности метода. С этой целью в настоящей статье выполнен сравнительный анализ результатов расчета собственных крутильных колебаний пропульсивной установки судна на подводных крыльях «Комета-120М» проекта 23160, полученных по методу В.П. Терских и с помощью программного комплекса «ANSYS», который показал, что для первых пяти тонов имеется хорошее совпадение, однако для высших тонов результаты существенно отличаются. Крутильные колебания не являются основной причиной разрушения судовых валопроводов, в большей степени здесь сказывается влияние нормальных напряжений, вызванных изгибными колебаниями. Изгибные колебания судовых валопроводов зависят от целого ряда факторов, которые трудно поддаются количественному теоретическому анализу. В этой связи важную роль играют экспериментальные исследования напряженного состояния материала валопровода при его работе в составе судовой пропульсивной установки. В статье приводятся результаты измерений напряженного состояния одного из судов.

Ключевые слова: Судовая пропульсивная установка, валопровод, крутильные колебания, собственные частоты, методы определения, изгибные колебания, нормальные и касательные напряжения, эксперимент.

Analysis of theoretical and experimental methods of determining vibration parameters of ship propulsion systems

Stanislav N. Girin

ORCID: 0009-0001-3741-8502

Natalya G. Zybko

ORCID: 0009-0007-6540-0629

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Torsional and bending vibrations of ship shafts, as well as crankshafts of engines are devoted to numerous studies by different authors, moreover, the parameters of torsional vibrations are standardized by Classification Bodies, but it should be recognized that the destruction of ship shafts is quite a frequent phenomenon at present, therefore, the problem remains relevant. A significant contribution to the development of the theory of natural and forced torsional vibrations of shafts was made by Professor V.P. Terskikh. Using his algorithm, a computer program was created, which was widely used in practical calculations in our country. The method of determination of natural frequencies and corresponding vibration forms proposed by V.P. Terskikh is approximate, and the authors are not aware of any works devoted to analyzing the accuracy of the method. For this purpose in the present article a comparative analysis of the results of calculation of torsional natural vibrations of the propulsion system of the hydrofoil vessel "Comet-120M" of the project 23160, obtained according to the method of V.P. Terskikh and with the help of the software complex "ANSYS" is carried out, which showed that for the first five tones there is a good coincidence, but for the higher tones the results are significantly different. Torsional oscillations are not the main cause of ship shafting failure, the influence of normal stresses caused by bending oscillations has a greater effect here. Bending vibrations of ship shafts depend on a number of factors that are difficult to quantitatively theoretically analyze. In this connection, experimental studies of the stress state of the shafting material during its operation as part of a ship propulsion system play an important role. The article presents the results of measurements of the stress state of one of the vessels.

Keywords: Ship propulsion system, shafting, torsional vibrations, natural frequencies, methods of determination, bending vibrations, normal and tangential stresses, experiment.

Введение

Теоретические и экспериментальные исследования крутильных колебаний судовых пропульсивных установок предусматриваются требованиями Правил Российского Классификационного Общества [1] и Руководством [2]. ФГБОУ ВО «ВГУВТ» имеет свидетельство РКО на право выполнения расчетов и проведения экспериментальных исследований параметров крутильных колебаний.

Анализ разрушения гребных валов [3] показал, что при определенном сочетании амплитуд нормальных и касательных напряжений в судовых валопроводах накапливаются усталостные повреждения, которые могут привести к разрушению валов. Особую опасность с точки зрения усталостной прочности материала судовых механизмов представляют резонансные зоны вращения валов, когда гармоники различных порядков изменения возмущающих моментов совпадают с собственными частотами колебаний вращающихся деталей механизмов. В этом случае наблюдается резкий рост амплитуд изменения напряжений, и разрушение вала может произойти за короткий промежуток времени (в течение одной навигации).

Расчет крутильных колебаний сводится к решению двух задач: задачи о собственных колебаниях и задачи о вынужденных колебаниях. Решению отмеченных задач посвящено много исследований, однако авторы статьи видят свою задачу в выборе достаточно простой методики расчета крутильных колебаний и средств инструментального контроля напряжений в судовых валопроводах.

Статистика повреждений судовых валопроводов подтверждает актуальность поставленной задачи и ее практическое значение.

Как показывает анализ, при определении параметров крутильных колебаний системы судовых валопроводов и двигателя внутреннего сгорания, наиболее трудоемкой задачей является определение собственных частот и соответствующих им форм свободных крутильных колебаний. Располагая этими данными, вычислить параметры вынужденных колебаний сравнительно не сложно. Поэтому, основное внимание авторами статьи было уделено задаче собственных колебаний.

Проблема собственных частот при крутильных колебаниях

В настоящее время общепринятой моделью для вычисления собственных частот крутильных колебаний судовых механизмов является стержневая система, состоящая из участков с точечными массами по концам участка. На рисунке 1 показана схема участка $y - y+1$ с податливостью $e_{y,y+1}$ и моментами инерции вращения точечных масс по концам участка θ_y и θ_{y+1} .

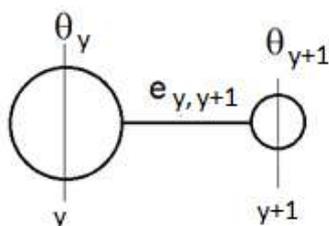


Рис. 1. Расчетная схема участка вала

В качестве точечных масс, обладающих моментами инерции вращения, рассматривают элементы кривошипно-шатунного механизма, маховик двигателя, соединительные муфты и гребной винт. В литературных источниках приводятся рекомендации по вычислению значений моментов инерции указанных элементов движительного комплекса судна [4].

Ниже представлены формулы (1)-(3) момента инерции для цилиндрического участка детали, крутильной податливости и момента сопротивления цилиндрического участка вала. Также представлены формулы (4)-(6) для соответствующих безразмерных величин.

Для цилиндрического участка детали момент инерции определяется по формуле

$$\theta = \frac{\pi \cdot \gamma}{32 \cdot g} \cdot l \cdot d^4 \cdot \left(1 - \frac{\delta^4}{d^4} \right) = \frac{\pi \cdot \rho}{32} \cdot l \cdot d^4 \cdot \left(1 - \frac{\delta^4}{d^4} \right), \quad (1)$$

где γ – удельный вес материала детали;

g – ускорение силы тяжести;

ρ – плотность материала детали;

l – длина участка детали;

d – наружный диаметр детали;

δ – внутренний диаметр детали.

Крутильная податливость участка вала определяется по формуле

$$e = \frac{32 \cdot l}{\pi \cdot G} \cdot \frac{1}{d^4 - \delta^4}, \quad (2)$$

где l – длина участка вала;

G – модуль сдвига материала вала;

d – наружный диаметр вала;
 δ – внутренний диаметр вала.

Момент сопротивления участка вала определяется по формуле

$$W_{y,y+1} = \frac{\pi}{16} \cdot d^3 \cdot \left(1 - \frac{\delta^4}{d^4} \right). \quad (3)$$

Безразмерный момент инерции детали определяется по формуле

$$J_y = \theta_y \cdot \frac{i^2}{\theta_0}, \quad (4)$$

где θ_y – момент инерции массы системы;
 i – передаточное отношение в реверс-редукторе;
 θ_0 – постоянная системы.

Безразмерная величина податливости участка системы определяется по формуле

$$E_{y,y+1} = \frac{e_{y,y+1}}{e_0 \cdot i^2}, \quad (5)$$

где $e_{y,y+1}$ – податливость участка системы;
 e_0 – постоянная системы.

Относительный момент сопротивления в каждом участке системы определяется по формуле

$$a_{y,y+1} = e_0 \cdot i \cdot W_{y,y+1}, \quad (6)$$

где $W_{y,y+1}$ – момент сопротивления участков валопровода (по минимальному диаметру).

Методы расчета свободных крутильных колебаний

В настоящее время имеется несколько методов определения собственных частот и соответствующих им форм свободных крутильных колебаний. В нашей стране большое распространение получил метод профессора В.П. Терских, подробно изложенный в монографии [5]. В соответствии с этим методом разработана программа для ЭВМ «ResVib» [6], которая широко используется в практических расчетах. К сожалению, «ВГУВТ» не располагает этим компьютерным приложением.

Вместе с тем, в инженерной практике в настоящее время активно применяются компьютерные программные комплексы, основанные на методе конечных элементов (МКЭ). Как известно, такие комплексы позволяют решать широкий круг задач, в том числе и задачи свободных и вынужденных колебаний.

В настоящей статье рассматривается возможность применения для определения собственных частот и соответствующих им форм свободных крутильных колебаний одного из таких программных комплексов – «ANSYS».

В качестве тестовых задач рассмотрим однопролетный стержень с различными видами закрепления и дисками на концах.

Аналитический метод основан на решении дифференциального уравнения, которое для свободных колебаний круглого стержня имеет вид [7]-[9]

$$G \cdot I_p \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - I_m \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0, \quad (7)$$

где I_p – момент инерции поперечного сечения стержня при скручивании;
 I_m – погонный момент инерции масс относительно центра скручивания.

Решение уравнения (7) можно искать в виде

$$\phi = \sum_j f_j(x) \cdot \sin(\lambda_j t + a_j). \quad (8)$$

Подстановка (8) в (7) дает уравнение

$$G \cdot I_p \cdot f_j'' + \lambda_j^2 \cdot I_m \cdot f_j = 0. \quad (9)$$

Решение уравнения (9) имеет вид

$$f_j(x) = A_j \cdot \sin\left(\mu_j \cdot \frac{x}{l}\right) + B_j \cdot \cos\left(\mu_j \cdot \frac{x}{l}\right), \quad (10)$$

где $\mu_j = l \cdot \lambda_j \cdot \sqrt{\frac{I_m}{G \cdot I_p}}$, откуда $\lambda_j = \frac{\mu_j}{l} \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_p}{I_m}}$.

Произвольные постоянные A_j и B_j в уравнении (10) находятся из граничных условий.

В таблице 1 выполнено сопоставление решений, полученных с помощью программного комплекса «ANSYS», с аналитическими решениями, полученными на основе исходного дифференциального уравнения.

Таблица 1

Сопоставление частот свободных крутильных колебаний, Гц

Стальной стержень длиной 1 м с круглым поперечным сечением	Тон	Вид решения		Расхождение, %
		ANSYS (МКЭ)	аналитическое решение	
Безопорный стержень	1	1565,2	1565,0	0,01
	2	3130,4	3129,9	0,02
Консольный стержень	1	782,6	782,4	0,03
	2	2347,8	2347,5	0,01
Безопорный стержень с диском	1	1140,0	1146,4	0,56
	2	2534,0	2541,6	0,30
Консольный стержень с диском	1	429,0	429,0	0,00
	2	1706,0	1693,0	0,77
Безопорный стержень с двумя дисками	1	1141,0	1129,0	1,06
	2	2376,0	2363,0	0,55
	3	3722,0	3737,0	0,40
	4	5147,0	5182,0	0,68

Как видно, результаты тестовых задач для однопролетного стержня с различными видами закрепления и дисками на концах совпадают с высокой степенью точности. Это позволяет сделать вывод о возможности использовать комплекс «ANSYS» для решения задач собственных крутильных колебаний судовых механизмов.

Расчет частот свободных колебаний валопровода в программном комплексе «ANSYS» может быть выполнен с применением современной оболочки «Workbench» в расчетном модуле «Modal» и в классическом интерфейсе «ANSYS APDL».

К сожалению, несмотря на современный интерфейс оболочки «Workbench», расчетный модуль «Modal» из необходимого перечня результатов для деформации кручение позволяет получить только частоты свободных колебаний и визуализацию формы колебаний.

В «ANSYS APDL», кроме частот свободных колебаний и визуализации их формы, можно получить в графическом и табличном виде эпюры скручивающих моментов и относительных углов закручивания. Используя табличные значения эпюр при помощи «Excel», выполняя численное интегрирование функции относительных углов закручивания, можно получить функцию углов закручивания вала или функцию формы. Экстремумы на эпюрах скручивающих моментов точно указывают на положение узловых точек форм колебаний.

Расчет свободных крутильных колебаний валопроводов судовой пропульсивной установки судна на подводных крыльях «Комета-120М» проекта 23160

Расчет свободных крутильных колебаний системы (ККС) валопровода пропульсивной установки в программном комплексе «ANSYS» выполнен на основании данных, представленных в документе [10], в котором представлен расчет ККС этого валопровода по методу Терских.

Крутильная схема судовой пропульсивной установки представлена на рисунке 2 [10]. На схеме приведены безразмерные моменты инерции масс и безразмерные податливости участков вала диаметром d между этими массами.



Рис. 2. Расчетная схема ККС валопровода судовой пропульсивной установки судна на подводных крыльях «Комета-120М» проекта 23160

При сохранении величин безразмерных моментов инерции масс и податливостей участков вала между ними, приведенных на рисунке 2, на основании формул (1)-(6) получены диаметры дисков D (толщина диска принята 0,01 м) и длины участков вала между ними l . На основании полученных длин и диаметров, в программном комплексе «ANSYS» создана стержневая конечно-элементная модель, представленная на рисунке 3.



Рис. 3. Конечно-элементная модель валопровода судовой пропульсивной установки судна на подводных крыльях «Комета-120М» проекта 23160

Расчет частот свободных колебаний валопровода в программном комплексе «ANSYS» выполнен с применением «ANSYS APDL».

Сопоставление частот свободных колебаний валопровода, вычисленных в программном комплексе «ANSYS», с результатами, полученными по методу Терских [10], представлено в таблице 2.

Таблица 2

Сопоставление частот свободных крутильных колебаний, Гц, валопровода СПК «Комета-120М»

Форма колебаний	Номер тона	Вид решения		Расхождение, %
		ANSYS APDL (МКЭ)	метод Терских	
Одноузловая	1	14,03	15,03	6,65
Двухузловая	2	28,62	28,25	1,30
Трехузловая	3	123,50	116,20	6,28
Четырехузловая	4	145,92	152,60	4,38
Пятиузловая	5	148,91	155,23	4,07
Шестиузловая	6	298,54	393,93	24,22
Семиузловая	7	375,44	486,68	22,86

Сопоставление нормированных графиков форм свободных колебаний, построенных на основании расчетов в «ANSYS APDL» и на основании расчетов по методу Терских [10], представлено на рисунках 4-6.

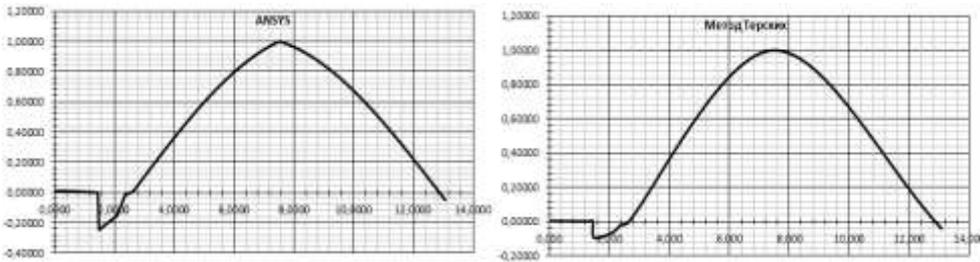


Рис. 4. Трехузловая форма колебаний

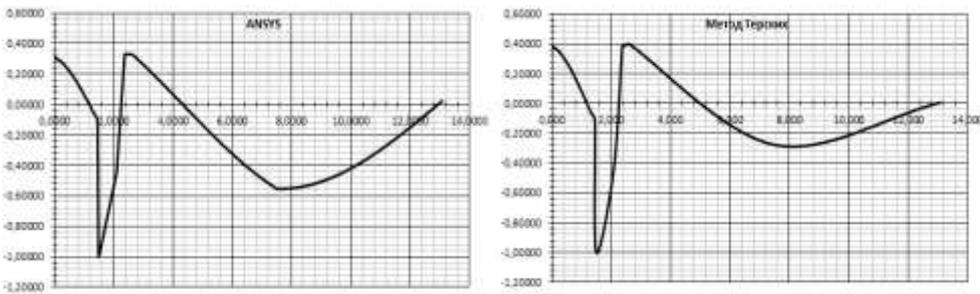


Рис. 5. Четырехузловая форма колебаний

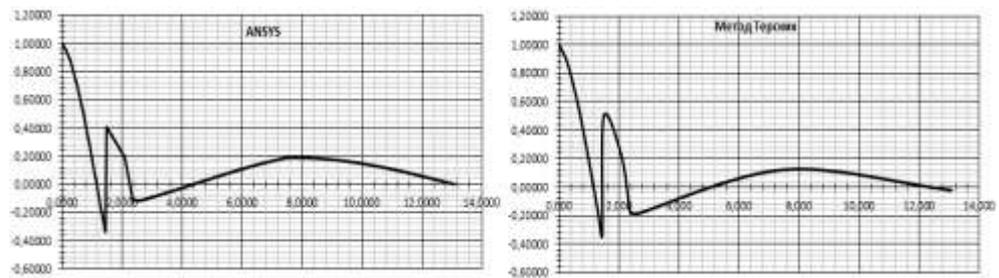


Рис. 6. Пятиузловая форма колебаний

Как следует из таблицы 2, а также сопоставления графиков (см. рисунки 4-6), имеется удовлетворительное совпадение результатов первых пяти собственных частот и соответствующих им форм колебаний, полученных в отчете [10] методом профессора В.П. Терских, и вычисленных с использованием программного комплекса «ANSYS». Для шестой и седьмой частоты имеется значительное расхождение, при этом метод Терских дает завышенное значение частот, что, по-видимому, свидетельствует о недостаточной точности метода для вычисления частот высших тонов.

Экспериментальные методы измерения параметров крутильных колебаний

Наряду с расчетными, не меньший интерес вызывают экспериментальные методы определения параметров крутильных колебаний.

Измерение параметров крутильных колебаний осуществляется торсиографированием или тензометрированием. При торсиографировании определяются амплитуды колебаний масс, а при тензометрировании – напряжения в валах.

Современные системы тензометрирования позволяют выполнять измерения напряжений на вращающихся валах с высокой точностью и одновременной передачей информации по радиоканалу на компьютер. Очень важно, что одновременно могут измеряться касательные напряжения от скручивания вала и нормальные напряжения, вызванные изгибными колебаниями вала, что позволяет дать оценку усталостной прочности вала [11], [12].

В качестве примера приведены результаты измерений изгибных и крутильных колебаний валопровода т/х ОТ-2429, выполненные в ноябре-декабре 2022 г в затоне АО «Борремфлот».

Датчики для измерения нормальных и касательных напряжений наклеивались на промежуточном валу вблизи опорного подшипника (рис. 7) и на гребном валу на выходе из дейдвудного устройства.



Рис. 7. Место наклейки датчиков вблизи опорного подшипника

Измерения производились с помощью аппаратуры фирмы ZETLAB при ступенчатом изменении числа оборотов двигателя от 150 до 300 об/мин.

Изгибные колебания

На рисунках 8 и 9 показаны записи процесса изменения нормальных напряжений на промежуточном и на гребном валу.

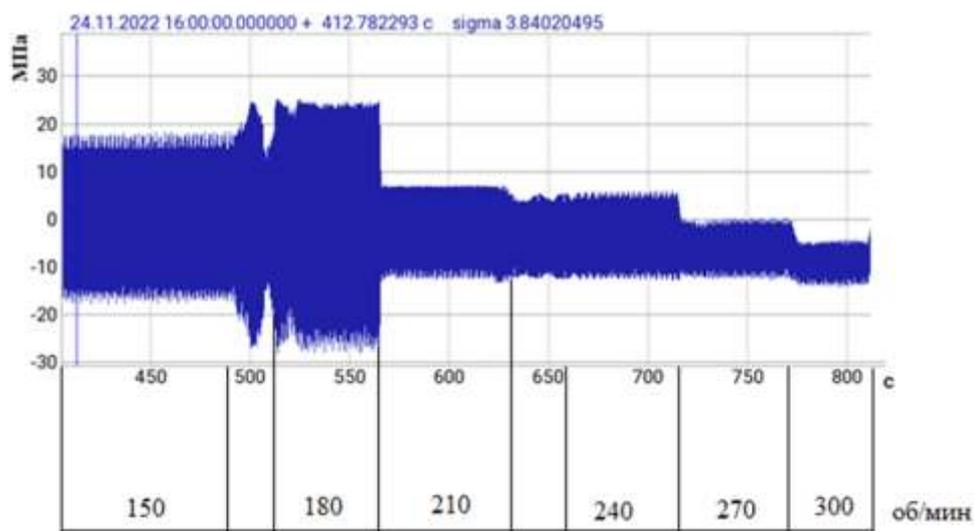


Рис. 8. Запись процесса изменения изгибных напряжений промежуточного вала

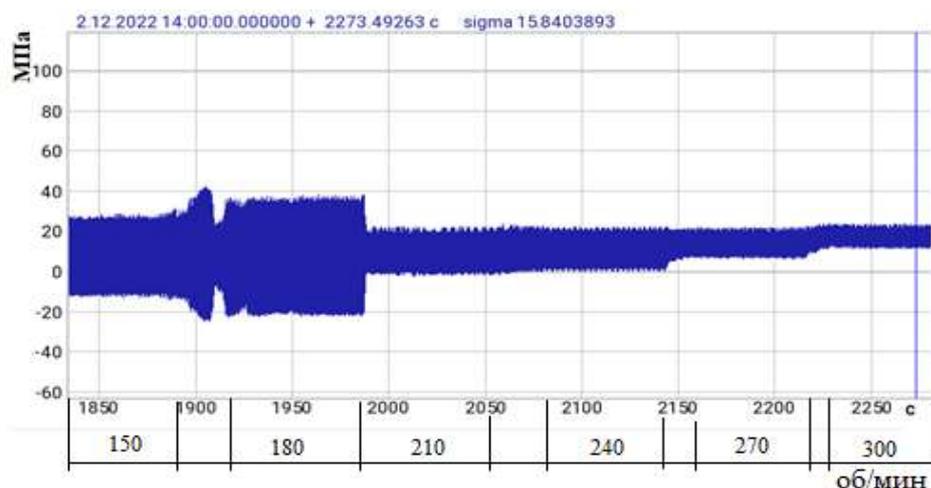


Рис. 9. Запись процесса изменения изгибных напряжений гребного вала

Крутильные колебания

На рисунках 10 и 11 показаны записи процесса изменения крутящего момента на промежуточном валу, полученные с использованием двух полумостов.

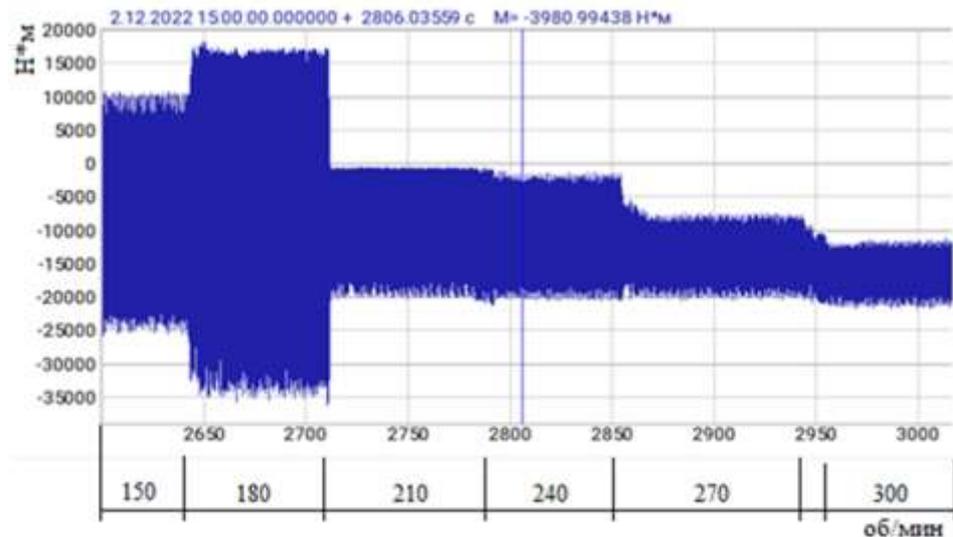


Рис. 10. Запись показаний крутящих моментов, Н*м по первому полумосту

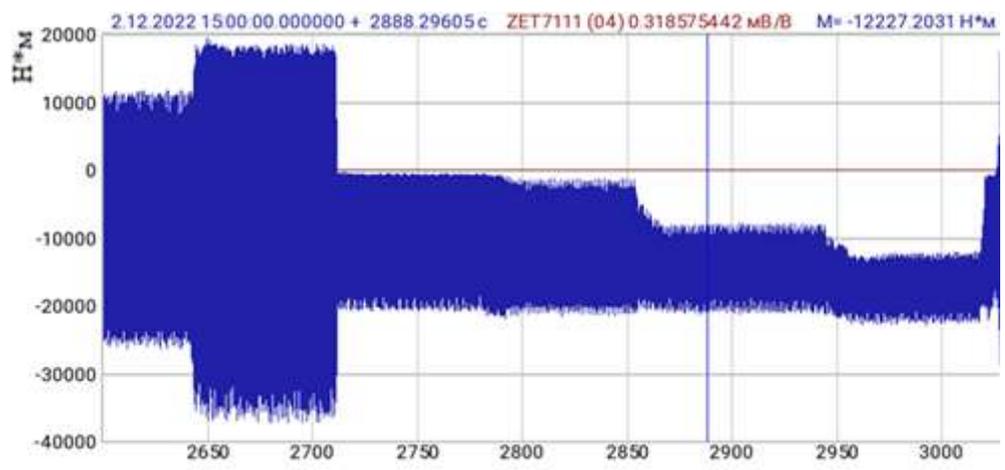


Рис. 11. Запись показаний крутящих моментов, Н*м по второму полумосту

Из представленных записей видно, как меняются амплитуды напряжений в зависимости от оборотов двигателя.

Например, при 180 об/мин наблюдается резкий рост амплитуд, что свидетельствует о резонансе. Выполненный анализ нормальных и касательных напряжений показал, что в этом случае имеется опасность усталостных разрушений валопровода при длительной работе двигателя на этом режиме. Опыт эксплуатации этих теплоходов это подтверждает.

Заключение

В данной статье показано, что программный комплекс «ANSYS», основанный на методе конечных элементов, может быть использован для решения практических задач определения собственных частот и соответствующих им форм крутильных

колебаний судовых валопроводов, однако для получения графиков форм требуется дополнительная обработка полученных результатов.

На основании материалов, представленных в данной статье, можно заключить, что силами сотрудников ФГБОУ ВО «ВГУВТ» могут решаться задачи определения параметров свободных и вынужденных крутильных колебаний расчетным методом с последующим измерением амплитуд касательных напряжений, вызванных этими колебаниями. Одновременное измерение касательных и нормальных напряжений в валах позволит давать заключения об опасности усталостного разрушения валов.

Список литературы

1. Российское Классификационное Общество. Правила (в 5-и томах). Т.3, 2019.- 424 с.
2. Российское Классификационное Общество. Расчет и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов. Руководство Р.009-2004. М.: 2016. – 100 с.
3. Гирин С.Н., Матвеев Ю.И. Анализ поломки гребного вала теплохода «ЭЛАНД» // Научные проблемы водного транспорта. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2022. – № 71(2). – с.15–28.
4. Румб В.К. Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности судовых валопроводов: учебник /В.К. Румб; СПбГМТУ.- СПб, 2008.- 298 с.
5. Терских В.П. Крутильные колебания валопровода силовых установок, т.1-4, Приложение. – Л.: Судостроение, 1969. - 1971.
6. Компьютерное приложение «ResVib версия 2» - Расчет резонансных крутильных колебаний, принято к сведению ГУ РС письмом №313-42-20878 от 29.01.2019 г.
7. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 3. Под ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – 567 с.
8. Тимошенко С.П. Теория колебаний в инженерном деле. – М.: Государственное технико-теоретическое издательство, 1934. – 344 с.
9. Гирин С.Н., Трянин И.И. Вибрация судов: учеб. пособие.- Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013.- 108 с.
10. Л17601-024-001РР «Расчет крутильных колебаний валопроводов судовой пропульсивной установки».
11. Гирин С.Н., Матвеев Ю.И. Оценка качества центровки судовых валопроводов с учетом напряженного состояния материала // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – Спб.:, РМРС, 2023. – №72/73. – с.59-67.
12. Гирин С.Н. Использование тензометрирования при центровке и оценке прочности судовых валопроводов // Всероссийская научно-техническая конференция по строительной механике корабля «Памяти академиков-кораблестроителей», посвященная 160-летию со дня рождения Алексея Николаевича Крылова и 140-летию со дня рождения Юлиана Александровича Шиманского 20-21 декабря 2023 г. Тезисы докладов. Спб., 2023.- с.55-56.

References

1. Russian Classification Society. Rules (in 5 volumes). Vol.3, 2019.- 424 p.
2. Russian Classification Society. Calculation and measurement of torsional vibrations of pipelines and aggregates. Manual p.009-2004. Moscow: 2016. – 100 p.
3. Girin S.N., Matveev Yu.I. Analysis of the breakdown of the propeller shaft of the ship "ELAND" // Scientific problems of water transport. – N. Novgorod: Publishing house FGOU VPO "VGAVT", 2022. – № 71(2). – pp.15-28.
4. Rumb V.K. Durability marine equipment. Design and calculations of the strength of marine shaft pipelines: textbook / V.K. Rumb; SPbGMTU.- St. Petersburg, 2008. - 298 p.
5. Terskikh V.P. Torsional vibrations of the shaft pipeline of power plants, vol.1-4, Appendix. - L.: Sudostroenie, 1969. – 1971.
6. Computer application "ResVib version 2" - Calculation of resonant torsional vibrations, noted by the State Duma of the RS by letter No. 313-42-20878 dated 29.01.2019.
7. Strength, stability, fluctuations. The handbook is in three volumes. Volume 3. Edited by I.A. Birger and Ya.G. Panovko. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 567 p.
8. Timoshenko S.P. Theory of oscillations in engineering. Moscow: State Technical and Theoretical Publishing House, 1934. 344 p.

9. Girin S.N., Tryanin I.I. Vibration of ships: textbook. stipend.- N. Novgorod: Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "VGAVT", 2013.- 108 p.
10. L7601-024-001RR "Calculation of torsional vibrations of shipboard propulsion system shafts".
11. Girin S.N., Matveev Yu.I. Assessment of the alignment quality of ship's shaft pipelines, taking into account the stress state of the material // Scientific and Technical collection of the Russian Maritime Register of Shipping. – St. Petersburg:, RMRS, 2023. – No. 72/73. – pp.59-67.
12. Girin S.N. The use of strain gauges in centering and assessing the strength of ship shaft pipelines // All-Russian Scientific and Technical Conference on ship construction mechanics "In memory of Shipbuilders", dedicated to the 160th anniversary of the birth of Alexei Nikolaevich Krylov and the 140th anniversary of the birth of Julian Alexandrovich Shimansky on December 20-21, 2023. Abstracts of reports. St. Petersburg, 2023, pp.55-56.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Зябко Наталья Германовна, доцент кафедры теории конструирования инженерных сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: natalyazyabko@yandex.ru

Natalya G. Zyabko, associate professor of the Department of Theory of Engineering Constructions, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: natalyazyabko@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.01.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.01.2025; published online 20.03.2025.

УДК 629.564.3: 629.58

DOI: 10.37890/jwt.vi82.579

Расчёты колебаний отдельных модулей буксируемой системы вблизи их равновесных положений

А.Л. Гусев

ORCID: 0009-0007-0922-6830

Е.А. Першин

ORCID: 0009-0009-7866-293X

Казанский национальный исследовательский технический университет имени

А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия

Аннотация. Нормальные условия эксплуатации буксируемых систем определяются воздействием факторов, переменных по времени работы комплекса. Обеспечение лишь физико-механических свойств модулей буксируемой системы в общем случае не гарантирует успешного функционирования комплекса. В данной работе рассматриваются вопросы разработки буксируемых систем и связанные с их эксплуатацией колебания во время буксировки. На основе известных положений теоретической механики, теории колебаний и гидромеханики построены уравнения, описывающие колебания буксируемых систем. На примере показано, что решение предложенных уравнений позволяет выделить модуль, испытывающий наибольшее воздействие от качки судна-буксировщика и/или горизонтальной скорости движения в динамике. Полученные решения могут стать основой для внесения конструктивных изменений в буксируемую систему. Также предлагается способ определения скорости судовой лебёдки при погружении буксируемой системы. На примере показан рациональный выбор скорости и времени погружения буксируемой системы. Результаты проведенных исследований могут быть полезны разработчикам буксируемых систем.

Ключевые слова: гидродинамическое сопротивление, буксируемый подводный аппарат, отводитель, трос, буксировка, динамика движения.

Calculations of vibrations of individual modules of a towed system near their equilibrium positions

Alexander L. Gusev

ORCID: 0009-0007-0922-6830

Evgeniy A. Pershin

ORCID: 0009-0009-7866-293X

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan,

Russia

Abstract. Normal operating conditions of towed systems are determined by the impact of factors that vary over the operating time of the complex. Providing only the physical and mechanical properties of the towed system modules does not generally guarantee successful operation of the complex. This paper considers the development of towed systems and the oscillations associated with their operation during towing. Based on known provisions of theoretical mechanics, oscillation theory and hydromechanics, equations are constructed that describe the oscillations of towed systems. The example shows that the solution of the proposed equations allows one to select the module that experiences the greatest impact from the pitching of the towing vessel and/or horizontal speed of movement in dynamics. The obtained solutions can become the basis for making design changes to the towed system. A method for determining the speed of the ship's winch when immersing the towed system is

also proposed. The example shows a rational choice of the speed and time of immersion of the towed system. The results of the conducted research can be useful for developers of towed systems.

Keywords: hydrodynamic resistance, towed underwater vehicle, diverter, rope, towing, motion dynamics.

Введение

Для исследования Мирового океана применяются разнообразные необитаемые подводные системы. Обычно они представляют собой многозвенные комплексы, состоящих из заглубителя, одного или нескольких носителей исследовательской аппаратуры, например, акустических модулей и/или модулей носителей фото- и видеоаппаратуры.

Заглубитель кроме создания необходимой массы для доставки остальных элементов системы, имеющих нейтральную плавучесть, до рабочих глубин, также является носителем электронных компонентов, создающих помехи для исследовательской аппаратуры. Акустический модуль, обычно буксируемый за заглубителем и является носителем акустической аппаратуры. Фотомодуль в основном повторяет траекторию заглубителя, однако движется с ним параллельным курсом, на глубине не более 10 метров от дна.

Если для акустических модулей требования по удержанию в рабочем горизонте составляют десятки метров, что вполне достигается буксировкой вслед за заглубителем, то траектория движения фотомодуля должна достаточно точно повторять рельеф морского дна (ввиду плохой видимости на глубине). Поэтому конструктивно акустический модуль и фотомодуль отличаются. Акустический модуль — это массивный аппарат с возможностью незначительной корректировки траектории движения обычно за счёт рулевых поверхностей, а фотомодуль — лёгкий манёвренный аппарат с двигателями, позволяющими ему перемещаться во всех направлениях.

Колебания плохообтекаемых тел в потоке жидкости со скоростью соизмеримой или превышающей скорость потока приводят к возникновению дополнительной периодической силы сопротивления. Данную силу можно условно представить в виде двух составляющих: направленную вдоль потока и перпендикулярную к нему [1, 2, 6].

Амплитуда колебаний ходового конца троса заглубитель-судно в направлении касательной к буксирной линии предполагается известной. Дополнительные силы сопротивления, действующие на заглубитель, модули 1 и 2 определяются исходя из того, что колебания тросов в направлении нормальном к буксирным линиям являются «малыми». При этом для рассматриваемых режимов буксировки и конфигурации буксируемой системы длина буксирных линий намного превосходит расстояние, на которое распространяются по длине троса нормальные колебания, то есть колебания точек каждого троса вблизи модуля можно рассматривать изолированно [3, 8, 9].

Конфигурация буксируемой системы в равновесном положении представлена на рис. 1.

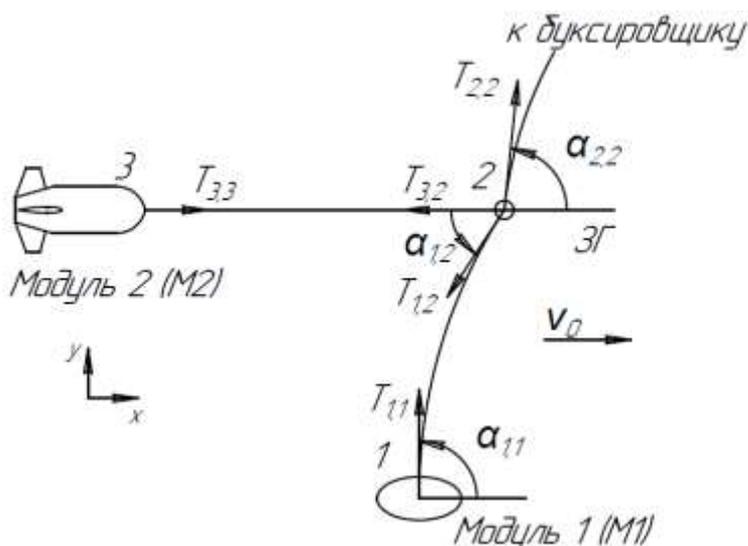


Рис. 1. Конфигурация буксируемой системы в положении равновесия

Уравнения колебаний элементов буксируемой системы вблизи равновесного положения

Уравнения движения Модуля 1 (M1) в малых отклонениях от равновесного положения имеет вид:

$$\begin{cases} -m_{M1}\ddot{x}_1 + \delta T_1 \cos \alpha_{1,1} - T_{1,1} \sin \alpha_{1,1} \cdot \delta \alpha_{1,1} + X_{M1x} = 0 \\ -m_{M1}\ddot{y}_1 + \delta T_1 \sin \alpha_{1,1} + T_{1,1} \cos \alpha_{1,1} \cdot \delta \alpha_{1,1} + X_{M1y} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения движения Модуля 2 (M2):

$$\begin{cases} -m_{M2}\ddot{x}_3 + \delta T_{3,3} - \rho v_0 (C_x S)_{M2} \cdot \dot{x}_3 = 0 \\ y_3 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Уравнения движения заглубителя:

$$\begin{cases} -m_{3Г}\ddot{x}_2 + \delta T_{2,2} \cos \alpha_{2,2} - T_{2,2} \sin \alpha_{2,2} \cdot \delta \alpha_{2,2} + \\ + T_{1,2} \sin \alpha_{1,2} \cdot \delta \alpha_{1,2} - \delta T_1 \cos \alpha_{1,2} - \delta T_3 + X_{3Гx} = 0 \\ -m_{3Г}\ddot{y}_2 + \delta T_{2,2} \sin \alpha_{2,2} + T_{2,2} \cos \alpha_{2,2} \cdot \delta \alpha_{2,2} - \\ - \delta T_1 \sin \alpha_{1,2} - T_{1,2} \cos \alpha_{1,2} \cdot \delta \alpha_{1,2} + X_{3Гy} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

В уравнениях (1) — (3):

m_{M1} , m_{M2} , $m_{3Г}$ — массы Модуля 1, Модуля 2 и заглубителя соответственно;

T_{ij} — натяжение в соответствующей точке буксирной линии в равновесном положении;

X_{M1x} , X_{M1y} , $X_{3Гx}$, $X_{3Гy}$ — проекции сил сопротивления на соответствующие оси для Модуля 1 и заглубителя;

α_{ij} — угол наклона буксирной линии в равновесном положении;

δT_{ij} — изменение натяжения в соответствующей точке;

$\delta \alpha_{ij}$ — изменение угла наклона.

Величины T_{ij} — выбираются из условия прочности существующих кабель-тросов.

Кроме того, должны выполняться условия совместности перемещений:

$$x_1 \cos \alpha_{1,1} + y_1 \sin \alpha_{1,1} = x_2 \cos \alpha_{1,2} + y_2 \sin \alpha_{1,2}; \quad (4)$$

$$x_3 = x_2; \quad (5)$$

$$x_2 \cos \alpha_{2,1} + y_2 \sin \alpha_{2,1} = Y_0 e^{i\omega_0 t} \quad (6)$$

Ввиду того, что длины рассматриваемых тросов намного превосходят расстояния колебаний по тросу, то углы наклона на концах троса могут быть найдены как:

$$\delta \alpha_{1,1} = v_{1,1} \lambda_{2,1}; \quad (7)$$

$$\delta \alpha_{1,2} = v_{1,2} \lambda_{1,1}; \quad (8)$$

$$\delta \alpha_{2,1} = v_{2,1} \lambda_{2,2}. \quad (9)$$

Здесь $\lambda_{i,j}$ – коэффициент присоединённой массы [4];

$v_{i,j}$ – перемещения точек в проекциях на нормаль:

$$v_{1,1} = -x_1 \sin \alpha_{1,1} + y_1 \cos \alpha_{1,1}; \quad (10)$$

$$v_{1,2} = -x_1 \sin \alpha_{1,1} + y_1 \cos \alpha_{1,2}; \quad (11)$$

$$v_{2,1} = -x_2 \sin \alpha_{2,1} + y_2 \cos \alpha_{2,1}. \quad (12)$$

Таким образом, колебания рассматриваемой системы вблизи положения равновесия описываются системой из восьми линейных алгебраических уравнений с 8 неизвестными, которая может быть упрощена: из уравнения (2) с учётом (5) может быть найдена величина δT_3 и поставлена в уравнения (3), которые примут вид:

$$\begin{cases} -(m_{3Г} + m_{M2})\ddot{x}_2 + c_x \rho v_0 S_{M2} \ddot{x}_2 + \delta T \cos \alpha_{2,1} - T_{2,1} \sin \alpha_{2,1} \delta \alpha_{2,1} + \\ + T_{1,2} \sin \alpha_{1,2} \delta \alpha_{2,1} - \delta T_1 \cos \alpha_{1,2} + X_{3Гx} = 0 \\ m_{3Г} \ddot{y}_2 + \delta T_2 \sin \alpha_{2,1} + T_{2,1} \cos \alpha_{2,1} \delta \alpha_{2,1} - \delta T_1 \sin \alpha_{2,1} - \\ - T_{1,2} \cos \alpha_{1,2} \delta \alpha_{1,2} + X_{3Гy} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Ввиду того, что возмущающее воздействие периодическое и может быть представлено в виде разложения в ряд Фурье, то вышеуказанная система уравнений может быть решена в отдельности для каждой гармоники и решением системы будет сумма этих частных решений. Для примера ограничимся решением системы для первых двух гармоник. При этом массы модулей системы принимаются равными $M_{3Г} = 1500$ кг, $M_{M1} = 150$ кг, $M_{M2} = 500$ кг. Углы наклона буксирных линий известны из расчёта взаимного положения элементов буксируемой системы [5, 10]. Амплитуда касательных перемещений заглубителя предполагается равной 2 м.

Рассмотрим расчёт составляющей от частоты ω_0 (нечётных гармоник). Ввиду отсутствия горизонтальной составляющей сил сопротивления заглубителя и Модуля 1 с частотой ω_0 система уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} m_{M1} \omega_0^2 x_1 + \delta T_1 \cos \alpha_{1,1} - T_{1,1} \sin \alpha_{1,1} \lambda_{2,1} \cdot (-x_1 \sin \alpha_{1,1} + y_1 \cos \alpha_{1,1}) = 0 \\ m_{M1} \omega_0^2 y_1 + \delta T_1 \sin \alpha_{1,1} + T_{1,1} \cos \alpha_{1,1} \lambda_{2,1} \cdot (-x_1 \sin \alpha_{1,1} + y_1 \cos \alpha_{1,1}) - i C_{13Г} X_{03Г} \\ (m_{3Г} + m_{M2}) \omega_0^2 x_2 - i \omega_0 C_x \rho v_0 S_{M2} x_2 - \delta T_1 \cos \alpha_{1,2} + \delta T_2 \cos \alpha_{2,1} - \\ - T_{2,1} \sin \alpha_{2,1} \cdot (-x_2 \sin \alpha_{2,1} + y_2 \cos \alpha_{2,1}) \lambda_{2,2} + \\ + T_{1,2} \sin \alpha_{1,2} \cdot (-x_2 \sin \alpha_{1,2} + y_2 \cos \alpha_{1,2}) \lambda_{1,2} = 0 \\ m_{3Г} \omega_0^2 y_2 + \sin \alpha_{2,1} \delta T_2 + T_{2,1} \cos \alpha_{2,1} \cdot (-x_2 \sin \alpha_{2,1} + y_2 \cos \alpha_{2,1}) \lambda_{2,2} - \sin \alpha_{1,2} \delta \\ - T_{1,2} \cos \alpha_{1,2} (-x_2 \sin \alpha_{1,2} + y_2 \cos \alpha_{1,2}) \lambda_{1,2} - i C_{13Г} X_{03Г} = 0 \\ x_1 \cos \alpha_{1,1} + y_1 \sin \alpha_{1,1} - x_2 \cos \alpha_{1,2} - y_2 \sin \alpha_{1,2} = 0 \\ x_2 \cos \alpha_{2,1} + y_2 \sin \alpha_{2,1} = Y_0 \end{cases} \quad (14)$$

В уравнениях (14) коэффициенты $\lambda_{i,j}$ берутся для частоты $\omega_1 = 1 \text{ с}^{-1}$.

Результаты расчёта в зависимости от заданной скорости буксировки приведены в таблице 1.

Теперь рассмотрим расчёт составляющей от частоты $2\omega_0$ (чётных гармоник). Уравнение в этом случае будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{aligned} &4m_{M1}\omega_0^2x_1 + \delta T_1 \cos\alpha_{1,1} - T_{1,1}\sin\alpha_{1,1}\lambda_{2,1} \cdot (-x_1\sin\alpha_{1,1} + y_1\cos\alpha_{1,1}) - iB_{1M1}X_1 \\ &4m_{M1}\omega_0^2y_1 + \delta T_1\sin\alpha_{1,1} + T_{1,1}\cos\alpha_{1,1}\lambda_{2,1} \cdot (-x_1\sin\alpha_{1,1} + y_1\cos\alpha_{1,1}) = \\ &4(m_{3Г} + m_{M2})\omega_0^2 - i2\omega_0 C_x \rho v_0 S_{M2}x_2 + \delta T_2 \cos\alpha_{2,1} - \\ &\quad - T_{2,1}\sin\alpha_{2,1} \cdot (-x_2\sin\alpha_{2,1} + y_2\cos\alpha_{2,1})\lambda_{2,2} + \\ &\quad + T_{1,2}\sin\alpha_{1,2} \cdot (-x_2\sin\alpha_{1,2} + y_2\cos\alpha_{1,2})\lambda_{1,2} - iB_{23Г}X_{03Г} = 0 \quad (15) \\ &4m_{3Г}\omega_0^2y_2 + \sin\alpha_{2,1}\delta T_2 + T_{2,1}\cos\alpha_{2,1} \cdot (-x_2\sin\alpha_{2,1} + y_2\cos\alpha_{2,1})\lambda_{2,2} - \sin\alpha_{2,1} \\ &\quad - T_{1,2}\cos\alpha_{1,2}(-x_2\sin\alpha_{1,2} + y_2\cos\alpha_{1,2})\lambda_{1,2} = 0 \\ &x_1\cos\alpha_{1,1} + y_1\sin\alpha_{1,1} - x_2\cos\alpha_{1,2} - y_2\sin\alpha_{1,2} = 0 \\ &x_2\cos\alpha_{2,1} + y_2\sin\alpha_{2,1} = 0 \end{aligned} \right.$$

В уравнениях (15) коэффициенты $\lambda_{i,j}$ берутся для частоты $\omega = 2 \text{ с}^{-1}$. Результаты расчёта также приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения переменных для нечётной и чётной гармоник

Параметр	Частота	Скорость		
		0,5 м/с	1,0 м/с	1,5 м/с
x_1 , м	ω (нечёт. гармоника)	0,16	0,74	0,73
	2ω (чёт. гармоника)	0,19	0,16	0,06
y_1 , м	ω (нечёт. гармоника)	2,05	1,11	0,81
	2ω (чёт. гармоника)	0,00	0,00	0,00
δT_1 , Н	ω (нечёт. гармоника)	712	525	281
	2ω (чёт. гармоника)	5	18	12
x_2 , м	ω (нечёт. гармоника)	0,04	0,13	0,34
	2ω (чёт. гармоника)	0,02	0,03	0,04
y_2 , м	ω (нечёт. гармоника)	2,06	1,67	1,73
	2ω (чёт. гармоника)	0,00	0,00	0,00
δT_2 , Н	ω (нечёт. гармоника)	4209	3596	3327
	2ω (чёт. гармоника)	11	39	41

По результатам расчёта видно, что наибольшее воздействие качки судна-буксировщика при всех скоростях буксировки будет испытывать Модуль 1 и принятая модель расчёта «малых» перемещений может быть применена к нему условно, особенно при расчёте по первой гармонике. Горизонтальная раскочка связки заглубитель — Модуль 1 с частотой $2\omega_0$ будет несущественна вследствие значительной массы связки и демпфирования этих колебаний за счёт гидродинамического сопротивления Модуля 2. Однако с ростом скорости буксировки амплитуда горизонтальных перемещений Модуля 2 возрастает вследствие роста сопротивления заглубителя и уменьшения «излома» буксирной линии и достигает 0,13 м при скорости 1 м/с и 0,34 м при скорости 1,5 м/с, то есть очевидно, что необходимо уменьшение габаритов заглубителя и придания ему удобообтекаемой формы.

Определение допустимой скорости судовой лебёдки при погружении буксируемой системы

В режиме погружения-всплытия рассматриваемая система имеет двухзвенную конфигурацию за счёт того, что Модуль 1 подтягивается специальной лебёдкой к заглубителю, а Модуль 2, имеющий нейтральную плавучесть, буксируется за заглубителем на тросе нейтральной плавучести. Это обстоятельство затрудняет погружение системы при отсутствии хода судна-буксировщика, так как становится вероятным перепутывание тросов.

Очевидно, что скорость судовой лебёдки должна быть ограничена, в зависимости от скорости судна, таким образом, чтобы исключить возможность перепутывания тросов, то есть буксирные линии заглубитель — Модуль 2 и заглубитель — судно должны расходиться под достаточно большим углом. Величина минимального угла α^* называется критическим, физически он соответствует тросу со свободным концом, трос в этом случае будет прямолинейным.

Во время погружения система будет иметь вид, представленный на рис. 2.

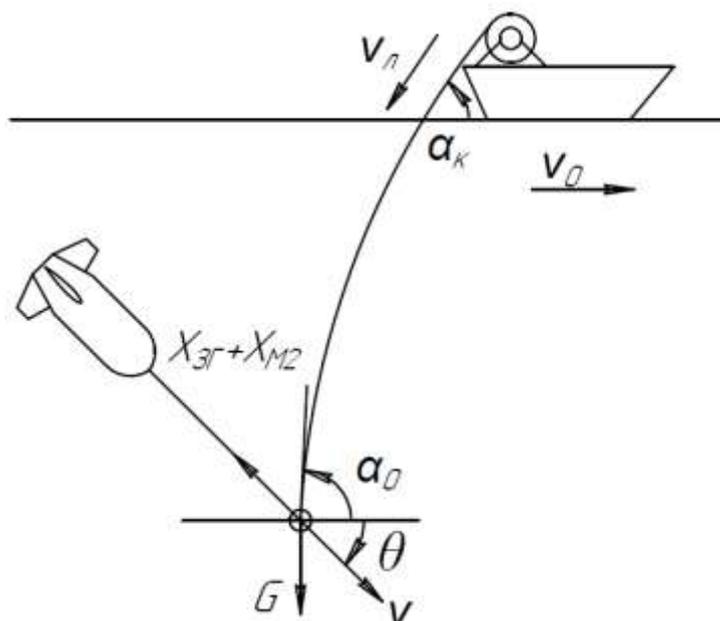


Рис. 2. Конфигурация буксируемой системы в процессе погружения

Предполагаемая скорость судна v_0 и судовой лебёдки v_l считаются постоянными в процессе погружения буксируемой системы, а скорость точек троса, вызванную изменением кривизны буксирной линии при увеличении её длины, малой, по сравнению с их абсолютной скоростью. Для расчёта формы буксирной линии и величины натяжения в ней для каждого момента времени и соответствующей ему длине троса можно воспользоваться уравнением равновесия тяжёлой нити в потоке жидкости, которое в данном случае будет иметь вид [7]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{dS} = G \sin \alpha \\ T \frac{d\alpha}{dS} = G \cos \alpha - \frac{1}{2} C_n \rho d [v_0 \sin \alpha - v_n \sin(\alpha - \alpha_k)]^2 \\ \frac{dx}{dS} = \sin \alpha \\ \frac{dy}{dS} = \cos \alpha \end{array} \right. \quad (16)$$

Здесь α_k — мгновенное значение угла наклона троса на коренном конце.

Пологая в уравнениях (16) $v_n = 0$ получаем обычные уравнения равновесия тяжёлой нити в потоке жидкости.

Нетрудно убедиться, что решение $\alpha = \alpha^*$ уравнений равновесия тяжёлой нити в потоке жидкости является также решением уравнений (16), то есть можно утверждать, что с возрастанием длины буксирной линии во времени она примет некоторую квазистатическую форму — процесс изменения её кривизны будет замедляться. Для того, чтобы получить количественную оценку этой длины необходимо в уравнениях (16) положить $\alpha_k = \alpha^*$ и проинтегрировать их при начальных условиях на ходовом конце:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_0 = [(G_{\text{ЗАГЛ}} - X_{\Sigma} \sin \theta)^2 + (X_{\Sigma} \cos \theta)^2]^{1/2} \\ \alpha_0 = \omega ctg \frac{G - X_{\Sigma} \sin \theta}{X_{\Sigma} \cos \theta} \\ x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{array} \right. \quad (17)$$

Здесь $G_{\text{ЗАГЛ}}$ — вес заглубителя в воде;

$$X_{\Sigma} = \frac{1}{2} \rho v^2 [(C_x S)_{\text{ЗАГЛ}} + (C_x S)_{\text{М2}}]; \quad (18)$$

$$v^2 = (v_n \sin \alpha^*)^2 + (v_0 - v_n \cos \alpha^*)^2; \quad (19)$$

$$tg \theta = \frac{v_n \sin \alpha^*}{v_0 - v_n \cos \alpha^*}. \quad (20)$$

В таблице 2 представлены значения α^* при скоростях буксировки 0,5 м/с, 1,0 м/с, 1,5 м/с для троса диаметром 19 мм, имеющего погонный вес в воде 8,983 Н/м.

Таблица 2

Значения критического угла в зависимости от скорости буксировки

$v_0, \text{ м/с}$	0,5	1,0	1,5
α^*	1,276	0,822	0,573

Пологая $\theta = 45^\circ$, что обеспечивает угол расхождения тросов не меньше этой величины, так как $\alpha_0 < 90^\circ$ можем определить из соотношений (17) - (20) необходимую скорость лебёдки

$$v_n = \frac{v_0}{\sin \alpha^* + \cos \alpha^*}, \quad (21)$$

абсолютную скорость троса, натяжение и угол наклона троса на ходовом конце.

Результаты расчёта представлены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры основного кабель-троса в зависимости от скорости буксировки

v_0 , м/с	0,5	1,0	1,5
v_n , м/с	0,4	0,7	1,0
v , м/с	0,54	0,73	0,85
T_0 , Н	8330	8192	8085
α_0	1,550	1,530	1,518
α^*	1,276	0,822	0,573

Величины скоростей лебёдки, представленные в таблице 2 следует рассматривать как допустимые, обеспечивающие угол расхождения тросов не меньше 45° после того, как выпущена некоторая часть троса и угол наклона троса на коренном конце стал близким к критическому.

Результаты интегрирования уравнений (16) при начальных условиях T_0 и α_0 , представленных в таблице 3, приведены ниже (рис. 3 — 7).

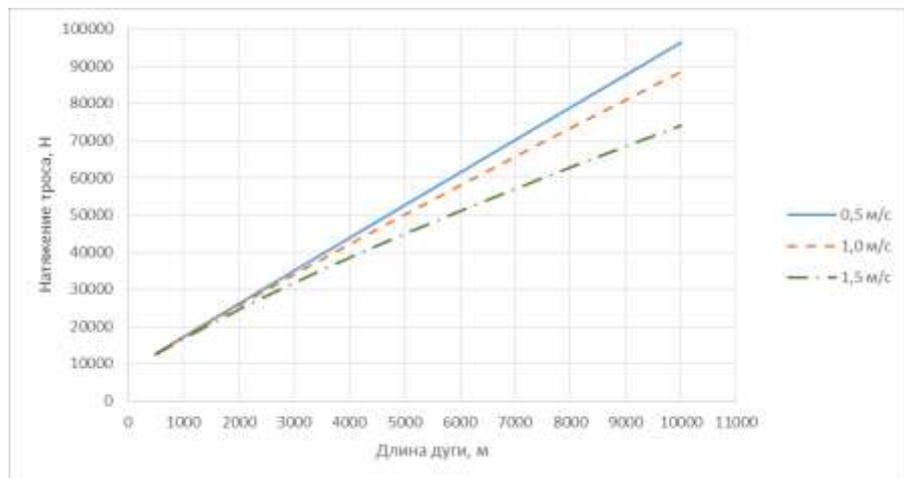


Рис. 3. Натяжение троса в зависимости от его длины

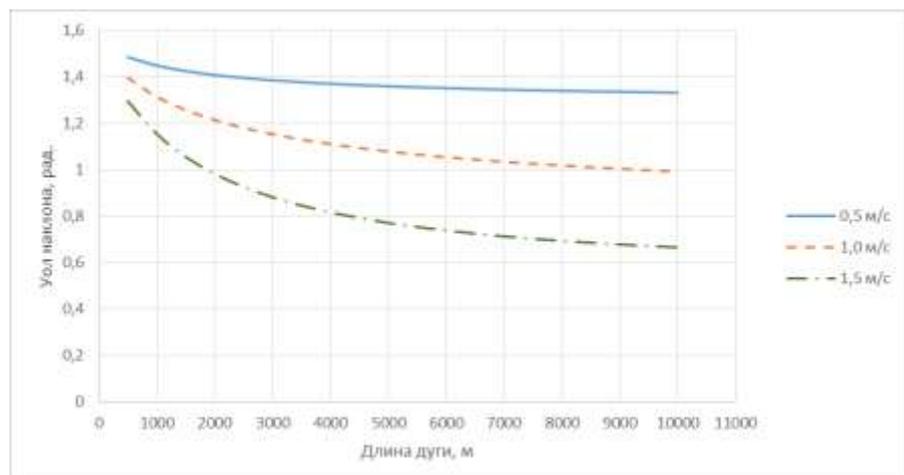


Рис. 4. Угол наклона ходового конца троса в зависимости от длины троса

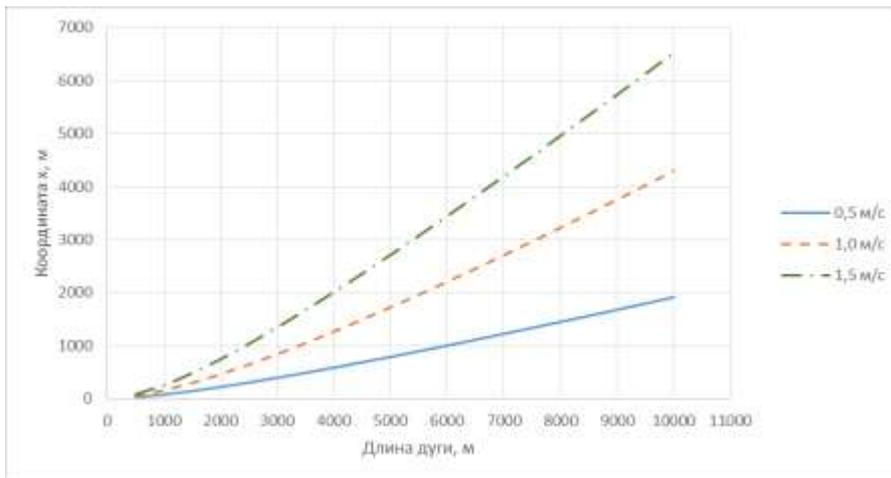


Рис. 5. Положение ходового конца троса по оси x в зависимости от длины троса

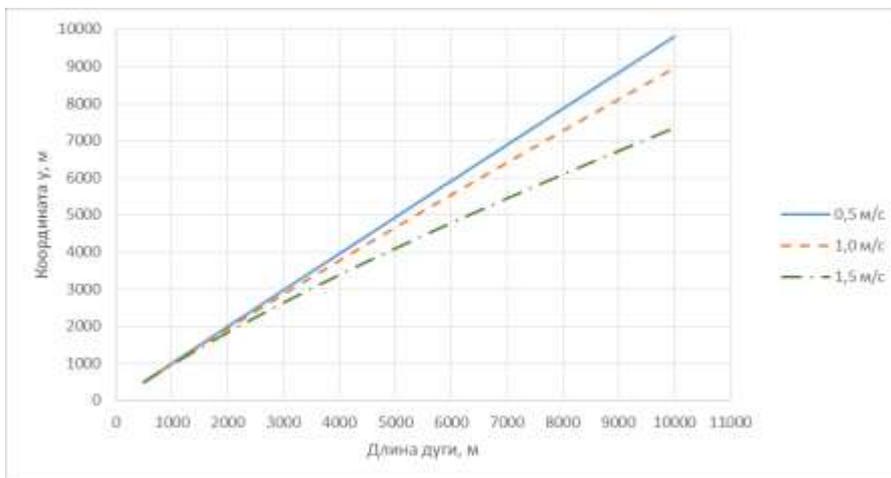


рис. 6. Положение ходового конца троса по оси y в зависимости от длины троса

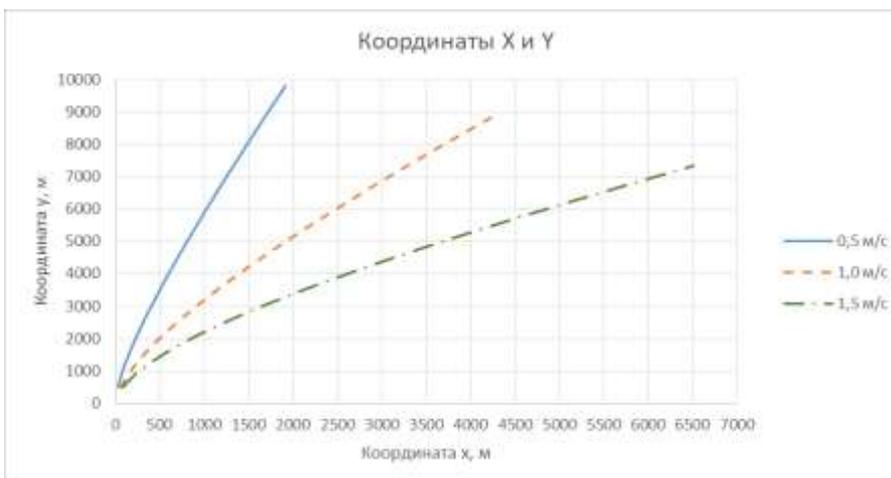


рис. 7. Положение ходового конца троса в зависимости от длины троса

Представленные на рис. 3 — 7 результаты подтверждают предположение, что угол наклона буксирной линии с возрастанием её длины приближается к критическому углу — минимально возможному для данной скорости буксировки (если рассматривать достаточно длинные тросы). Разность между углом наклона троса и его критическим значением составляет 5...10° для длин тросов соответствующим рабочей глубине 6000 м. Допустимые скорости лебёдки, представленные в табл. 3, обеспечивают необходимый угол расхождения не менее 45° во время всего погружения системы до рабочей глубины.

Вместе с тем может представлять интерес и вопрос уменьшения времени погружения системы. Очевидно, что в начале погружения угол на коренном конце троса будет значительно отличаться от критического и будет близок по величине к углу наклона на ходовом конце, то есть:

$$\alpha_k = \alpha_0 - \Delta\alpha,$$

при этом можно предположить, что угол α_0 достаточно близок к прямому: $\sin\alpha_0 \approx 1$, $\cos\alpha_0 \approx 0$, полагая при этом $\operatorname{tg}\theta \approx 1$ можем задать скорость лебёдки:

$$v_n = v_0.$$

Полагая $\Delta\alpha = 0,1 \left(\frac{\pi}{2}\right)$ можем методом последовательных приближений вычислить T_0 , α_0 , θ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta^{(n)} = \operatorname{arctg} \frac{\sin(\alpha_0^{(n)} - \Delta\alpha)}{1 - \cos(\alpha_0^{(n)} - \Delta\alpha)} \\ v^{(n)} = v_0 \sqrt{2 - \cos(\alpha_0^{(n)} - \Delta\alpha)} \\ \alpha_0^{(n+1)} = \operatorname{arctg} \frac{G - \frac{1}{2} [(C_X S)_{3Г} + (C_X S)_{МАК}] \rho (v^{(n)})^2 \sin\theta^{(n)}}{\frac{1}{2} [(C_X S)_{3Г} + (C_X S)_{МАК}] \rho (v^{(n)})^2 \sin\theta^{(n)}} \end{array} \right. \quad (22)$$

Далее, проинтегрировав уравнения (16), положив в них $\alpha_k = \alpha_0 - \Delta\alpha$, можно найти длину троса (S^*) при которой $\alpha = \alpha_k$.

Результаты этих вычислений представлены в таблице 4. Там же представлено время схода с лебёдки троса этой длины (t).

Таблица 4

Значения длины троса и времени схода его с лебёдки для разных скоростей буксировки

v_0 , м/с	0,5	1,0	1,5
T_0 , Н	8243	7563	6669
A_0	1,545	1,471	1,365(78°)
θ	0,877(50°)	0,914(52°)	0,967(55°)
S^* , м	1600	200	100
t , сек	3200	200	67

Таким образом, можно сделать вывод, что увеличение скорости лебёдки в начале погружения целесообразно при малых скоростях движения судна — в этом случае корректировка скорости лебёдки потребует через достаточно большой промежуток времени. В целом же управление скоростью лебёдки даст незначительное

уменьшение времени погружения системы: ~ на 10% при скорости судна 0,5 м/с, ~ 15% - при скорости 1 м/с и ~ 25% при 1,5 м/с, но при этом особенно при скоростях буксировки 1...1,5 м/с будет сопряжено с техническими трудностями и определённым риском запутывания тросов.

Заключение

Предложенные уравнения для описания колебаний при изменении скорости буксировки пригодны для практического применения. Конструктивные изменения, которые необходимо внести в буксируемую систему, могут быть выработаны как на основании справочных материалов, так и по результатам отдельных исследований.

На основе предложенного способа возможен рациональный выбор параметров скорости и времени спуска. Время спуска возможно сократить до 25% за счет более высокой скорости спуска. Таким образом, возможно разработать технологический процесс погружения-всплытия с настраиваемыми параметрами.

Список литературы

1. Chapman D.A. The Adjustment of fin size to minimize the ship induced pitching motion of a towed fish. - Ocean engineering, v/ 11, N1, 1984. - p. 23
2. Douglas Dr., Humphreys E., Delbert Dr., Summey C. Advances in towed vehicle design techniques. - Naval Engineering Journal, August 1982. - p. 30
3. Костин В.В., Зарецкий А.В. К вопросу проектирования буксируемого комплекса (Тр. конф. Молодых учёных № 2995 — 82) Деп.
4. Короткин А.И. Присоединённые массы судна: Справочник. - Л: Судостроение, 1986, 312 с., ил.
5. Тищенко М.С. Разработка математической модели буксировки подводных объектов, на основе однозвенных и двухзвенных стержневых моделей буксирных линий / М.С. Тищенко, Н.В. Ивановский // Научные проблемы водного транспорта. 2023. № 77. С. 264-272.
6. Гусев А.Л. Исследование гидродинамических характеристик элементов системы отведения многомерной сейсмической косы // А.Л. Гусев, Е.А. Першин // Научные проблемы водного транспорта. 2023. № 75. С. 27-35.
7. Левшонков Н.В. О методике проектировочного расчета площади крыла / Н.В. Левшонков, А.Л. Гусев, А.А. Крылосова // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 1-1 (47). С. 50-54.
8. Костенко В.В. О точности определения координат подводного модуля на основе измеренных параметров движения буксируемой системы / В.В. Костенко, Ю.В. Ваулин, Ф.С. Дубровин, О.Ю. Львов // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 21-29.
9. Серебряный А.Н. Воздействие внутренних волн больших амплитуд на буксируемый гидродинамический заглубитель / А.Н. Серебряный // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9. № 2. С. 39-45.
10. Зарецкий А.В. Подходы к исследованию многосвязных механических систем для создания океанологических исследовательских аппаратурных комплексов / А.В. Зарецкий, В.А. Лискин // Научное обозрение. Технические науки. 2018. № 5. С. 14-18.

References

1. Chapman D.A. The Adjustment of fin size to minimize the ship induced pitching motion of a towed fish. - Ocean engineering, v/ 11, N1, 1984. - p. 23
2. Douglas Dr., Humphreys E., Delbert Dr., Summey C. Advances in towed vehicle design techniques. - Naval Engineering Journal, August 1982. - p. 30
3. Kostin V.V., Zaretskii A.V. K voprosu proektirovaniya buksiruemogo kompleksa (Tr. konf. Molodykh uchenykh № 2995 — 82) Dep.
4. Korotkin A.I. Prisoedinennye massy sudna: Spravochnik. - L: Sudostroenie, 1986, 312 p.

5. Tishchenko M.S. Razrabotka matematicheskoi modeli buksirovki podvodnykh ob'ektov, na osnove odnozvennykh i dvukhzvennykh sterzhnevnykh modelei buksirnykh linii / M.S. Tishchenko, N.V. Ivanovskii // Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2023. № 77. pp. 264-272.
6. Gusev A.L. Issledovanie gidrodinamicheskikh kharakteristik ehlementov sistemy otvedeniya mnogorazmernoï seismicheskoi kosy // A.L. Gusev, E.A. Pershin // Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2023. № 75. pp. 27-35.
7. Levshonkov N.V. O metodike proektirovochnogo rascheta ploshchadi kryla / N.V. Levshonkov, A.L. Gusev, A.A. Krylosova // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 1-1 (47). pp. 50-54.
8. Kostenko V.V. O tochnosti opredeleniya koordinat podvodnogo modulya na osnove izmerennykh parametrov dvizheniya buksiruemoi sistemy / V.V. Kostenko, YU.V. Vaulin, F.S. Dubrovin, O.YU. L'vov // Podvodnye issledovaniya i robototekhnika. 2020. № 1 (31). pp. 21-29.
9. Serebryanyi A.N. Vozdeistvie vnutrennikh voln bol'shikh amplitud na buksiruemyi gidrodinamicheskii zaglubitel' / A.N. Serebryanyi // Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika. 2016. T. 9. № 2. pp. 39-45.
10. Zaretskii A.V. Podkhody k issledovaniyu mnogosvyaznykh mekhanicheskikh sistem dlya sozdaniya okeanologicheskikh issledovatel'skikh apparaturnykh kompleksov / A.V. Zaretskii, V.A. Liskin // Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki. 2018. № 5. pp. 14-18.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гусев Александр Леонидович, старший преподаватель, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, г. Казань, ул. К.Маркса, 10, e-mail: algusev@kai.ru

Alexander L. Gusev, Senior Lecturer, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 420111, Kazan, K. Marksa st., 10, e-mail: algusev@kai.ru

Першин Евгений Александрович, к.т.н., доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, г. Казань, ул. К.Маркса, 10, e-mail: eapershin@kai.ru

Evgeny A. Pershin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 420111, Kazan, K. Marksa st., 10, e-mail: eapershin@kai.ru

Статья поступила в редакцию 22.01.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 22.01.2025; published online 20.03.2025.

УДК 629.12

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi82.576>

Морской дизайн и его применение при создании судов малых размеров

А.Г. Назаров

ORCID: 0000-0002-6313-6277

ООО АН Марин Консалтинг, г. Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены особенности такой сферы деятельности в проектировании судов как морской дизайн, приводятся определения и рассмотрены задачи дизайна. Приводятся сведения о мероприятиях и образовании в области морского дизайна за рубежом и в РФ. Морской дизайн представляется как решение комплексной задачи создания объекта морской техники с учетом эстетики, функциональности, экономики, безопасности, технологичности. Затронуты исторические корни специальности. На примере проекта высокоскоростного судна рассмотрено отличие дизайна от художественного конструирования. Особое внимание уделено взаимосвязи дизайна и нормативов, сделан вывод о необходимости участия профессионального сообщества в разработке правил. Приведены примеры проектов и основы инновационных подходов к дизайну судов.

Ключевые слова: морской дизайн, стайлинг, яхты, малые суда, высокоскоростные суда, нормативы

Marine design and its application for development of small sized ships

Albert G. Nazarov

ORCID: 0000-0002-6313-6277

AN Marine Consulting, Moscow, Russia

Abstract. The paper discusses the features of such a field of activity in ship design as marine design, provides definitions and discusses design objectives. Information about events and education in the field of marine design abroad and in the Russian Federation is provided. Marine design is presented as a solution to the complex problem of creating a marine infrastructure object, taking into account aesthetics, functionality, economics, safety, and manufacturability. The historical roots of the specialty are touched upon. Using the example of a high-speed vessel project, the difference between design and artistic styling is considered. Special attention is paid to the relationship between design and standards, and it is concluded that the professional community needs to participate in the development of rules. Examples of projects and the basics of innovative approaches to ship design are given.

Keywords: marine design, styling, yachts, small craft, high-speed craft, regulations

Введение

В настоящее время в РФ осуществляются ряд государственных программ по развитию туризма и водного транспорта, что вызывает необходимость строительства большого количества судов, значительную часть из которых по своим характеристикам можно отнести к судам малых размеров (т.е. судов длиной до 35м). Востребованность этих судов на рынке, привлекательность их для потребителей - судовладельцев, операторов, пассажиров – во многом определяется комплексом качеств, которые можно определить как дизайн. В последние годы отечественным

проектантам и производителям судов приходится заслуженно уделять вопросам дизайна первостепенное внимание.

С начала 2000-х силами Объединенной судостроительной корпорации (ОСК) проведено несколько конкурсов в области дизайна; дважды в год в Санкт-Петербурге проводится конференция «Морской дизайн», в отечественных высших учебных заведениях преподается курс «дизайн средств транспорта», который покрывает некоторые аспекты дизайна судов и плавсредств. Вопросы формирования архитектурного облика и художественного конструирования судов в отечественной практике судостроения рассмотрены в работах Ю.Н. Павлюченко [1,2], Б.А. Царева [3], А.И. Гайковича [4] и других исследователей. Предлагаемая статья призвана обобщить основные положения морского дизайна как нового направления в проектировании судов, показать возможности применения его подходов для разработки судов малых размерений, в т.ч. на основе опыта автора статьи (рис.1).



Рис.1. Дизайн-проекты судов, получивших призы на международных конкурсах, разработаны под руководством автора статьи; а – катамаран-водное такси пр. F100; б – прогулочный катамаран SW48; в – яхта-катамаран пр. F24; г – речное пассажирское судно пр.Фламинго.

Что такой морской дизайн?

В зарубежной практике, понятие морской дизайн как отдельная профессия окончательно сформировался в начале 2000-х, с появлением обучения по этой специальности. Так, в Massey University (Новая Зеландия) преподавался курс бакалавриата в области дизайна транспорта со специализацией «морской дизайн», где студенты помимо всего прочего изучали основы проектирования судов и технологий судостроения. В Coventry University (Великобритания) существует соответствующая магистерская программа. Начиная с 2011 Королевское общество инженеров-кораблестроителей (RINA) проводит конференцию Marine Design, в которой автор статьи является одним из членов оргкомитета. Тематика докладов, представленных на вышеуказанном мероприятии, характеризует основные области интересов и направления в морском дизайне. Если в 2011 году морской дизайн в основном отождествлялся с дизайном яхт (т.е. рекреационными судами), то в настоящее время

морские дизайнеры работают над служебными и коммерческими судами, и над судовыми цифровыми решениями (рис.2).

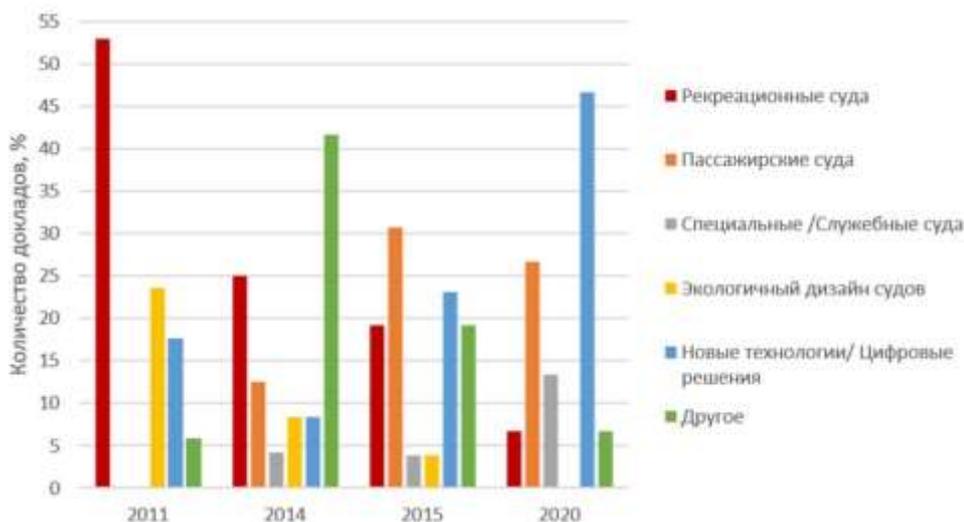


Рис. 2. Распределение тематик докладов международных конференций по морскому дизайну, организуемых RINA.

В отечественной практике иногда слово дизайн некорректно ассоциируется лишь с внешним обликом изделия, а также с интерьерами, полностью оставляя за скобками функциональную, технологическую, экономическую и прочие составляющие дизайна. Отметим, что в международной практике этот вид деятельности по созданию исключительно облика промышленного изделия называется стайлингом, а специалист, занимающийся им – стилистом.

В то же время, существуют общепризнанные определения промышленного дизайна (он же просто «дизайн»), говорящие о взаимосвязях категорий полезного и прекрасного, в частности утвержденный решением первой генеральной ассамблеи ICSID (International Council of Societies of Industrial Design) в 1959 году: «Под термином дизайн понимается «творческая деятельность, цель которой — определение формальных качеств предметов, производимых промышленностью. Эти качества формы относятся не только ко внешнему виду, но главным образом, к структурным и функциональным связям, которые превращают систему в целостное единство с точки зрения как изготовителя, так и потребителя». Автор настоящей статьи кратко определяет промышленный дизайн как «творческую деятельность по созданию объекта с учетом его эстетических и функциональных свойств».

Дизайном судна или более широко морским дизайном можно назвать комплексную разработку объекта водного транспорта или морского сооружения, с учетом баланса эстетических и функциональных качеств, комфорта, требований безопасности, технологичности, реализуемости, экономических показателей. Баланс между качествами определяется приоритетом каждого из них для конкретного проекта (рис.3). Следует отметить, что часть из этих качеств являются объективно оцениваемыми и измеряемыми (O). Другая часть (S) - группа субъективных качеств, куда входят эмоциональные, психологические и социокультурные характеристики (которые в теории дизайна принято называть «значениями»); например, это относится к эстетике и психологическому комфорту.

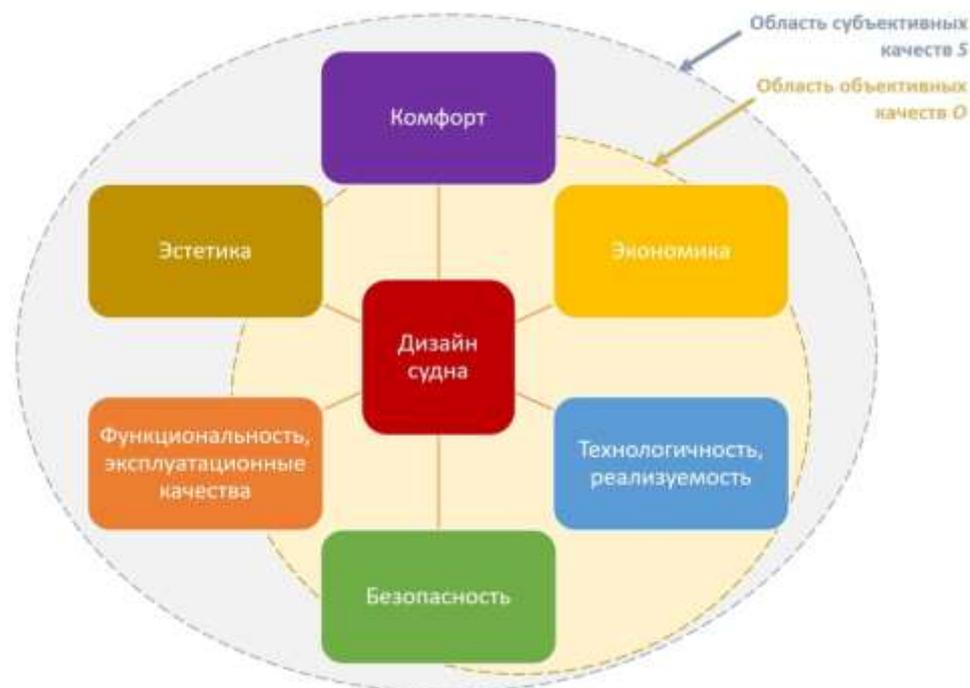


Рис. 3. Составляющие дизайна судна малых размеров

Морской дизайн или художественное конструирование?

Чем же отличается морской дизайн от художественного конструирования (табл.1), и следует ли изобретать новые термины для хорошо известных понятий? Ведь в традиции отечественного судостроительного образования существовали курсы по основам художественного конструирования и архитектуре судов.

На самом деле, в определении Ю.Н. Павлюченко [2] художественное конструирование судов подразумевает, что «инженер разрабатывает конструктивно-технические основы изделия, а художник-конструктор придает ему эстетическую выразительность, добивается рациональности компоновки, целостности формы и максимального соответствия условиям эксплуатации». По мнению автора статьи, этот подход имеет право на жизнь при создании утилитарных судов устоявшихся типов, например грузовых, технического флота и т.д. В новых реалиях инноваций и конкуренции требуется участие дизайнера на всех этапах создания объекта.

Задачи морского дизайна априори шире, чем «украшательство» форм, созданных инженерами. Во-первых, морской дизайн является инженерной дисциплиной. Во-вторых, он подразумевает полноценное участие дизайнера и в концептуальном проектировании судна, и в создании новой функциональности, а также принципиально новых объектов морской техники, что требует от морского дизайнера соответствующих знаний.

Например, подходы морского дизайна использованы при разработке яхты проекта SY60 (рис.4), где создан новый типа морской техники – яхта-катамаран с электродвижением с использованием солнечных батарей. Внешний облик и компоновка яхты сформированы на основе функций размещения солнечных панелей максимально возможной площади, защиты от прямых солнечных лучей в салоне судна, максимизации горизонтального клиренса для оптимизации гидродинамических

характеристик судна на малых относительных скоростях, и т.д. Заметим, что создание подобного объекта представляет собой в определенной степени предвидение возникающих потребностей и технологий, что будет рассмотрено далее.

Таблица 1

Сравнение задач художественного конструирования и морского дизайна

Художественное конструирование судов	Морской дизайн
-	Концептуальное проектирование судна
Внешний вид	
Интерьер	
-	Создание новой функциональности
-	Создание принципиально новых объектов морской техники



Рис. 4. Яхта-катамаран пр.SY60, разработана под руководством автора статьи

Исторические предпосылки морского дизайна

Иногда можно услышать мнение, что «дизайн появился не в судостроении», в контексте того, что «дизайн» якобы привнесен в проектирование судов извне, из других отраслей транспорта и промышленности, а собственных традиций дизайна в судостроении нет вовсе. Подобные утверждения исходят от автомобильных либо промышленных дизайнеров, «ворвавшихся» в судостроение настолько быстро, что какое-либо ознакомление с историей судостроения и функциональными особенностями судов даже не предполагалось. При этом, нельзя отрицать, что перенос подходов в дизайне между отраслями все-таки существует, но это многосторонний процесс.

На самом деле, основы того, что сейчас называется «дизайн», появились в судостроении задолго до появления не только дизайнеров автомобилей, но и самой автомобильной промышленности. В течение веков декор и функциональные качества кораблей являлось важнейшим имиджевым фактором морских держав, начиная с древности, например при постройке флота Карфагена, для которых было свойственно серийное производство кораблей. Напомним, что как раз массовое производство

предметов и является одним из необходимых признаков промышленного дизайна. В средние века, для работы над декором кораблей приглашались лучшие художники и мастера (рис.5).

В СССР, в свете обсуждаемой темы, наиболее известно ЦКБ по СПК Р.Е.Алексеева, в котором в 1950-е был создан отдел дизайна [5]. Закономерно, что инновационные суда этого КБ имели соответствующий их имиджу внешний облик. На сегодняшний день, отдел архитектуры и дизайна существует в большинстве российских судостроительных КБ.

И в заключение заметим, что русское название профессии инженер-кораблестроитель – это скорее всего калька с немецкого *schiffsbauingenieur*, из-за чего такой специалист часто воспринимается как «придаток к калькулятору». Историческое и поныне действующее название в английском языке – *naval architect*, т.е. «корабельный архитектор». Хотелось бы подчеркнуть слово архитектор в этом наименовании, что как нельзя лучше свидетельствующее о творческом характере профессии и ее связи с вопросами дизайна.



Рис. 5. Декор (резьба и роспись) парусного корабля Sovereign of the Seas постройки 1637г., разработан фламандским живописцем Антонисом Ван Дейком.

Архитектурные типы судов, местные и новые типы

Понятие архитектурно-конструктивных типов (АКТ) судов широко применяется в судостроении и означает некие стандартизованные архитектурно-компоновочные решения. В малом прогулочном судостроении, существует значительное число АКТ, наиболее полно изложенных в [6].

Особый интерес представляют местные типы судов, которые выработанные исходя из особенностей эксплуатации и постройки в том или ином регионе (рис.6). Как правило, такие суда узнаваемы внешне, очень функциональны и им зачастую приписываются некие непревзойденные качества: например, считается, что арабские «дау» наилучшим образом подходят для вод Персидского залива. Значительный объем информации по судам Юго-Восточной Азии систематизирован в [7], а по судам побережья Италии - в [8]. Изучение местных типов судов является интереснейшим направлением работы морского дизайнера, т.к. позволяет понимать требования эксплуатантов и использовать наработанные веками решения, а также трансформировать их через возможности современных технологий.

Иногда можно говорить о создании новых архитектурно-конструктивных типов судов; пример решения такой задачи представлен на рис.4. При всей инновационности следует понимать, что даже в этом случае дизайнер чаще всего следует определенным канонам проектирования, чтобы обеспечить судну предсказуемые функциональные и мореходные качества.



Рис. 6. Малые суда местных типов; а) ranga - плоскодонная лодка характерная для стран Карибского бассейна, стран Африки и Азии, изначально разработана в начале 1970-х компанией Yamaha в рамках проекта Всемирного банка для развивающихся стран; б) gozzo – традиционное рыбацкое судно побережья Италии, изначально парусное; в настоящее время оснащается кормовой наделькой для улучшения ходовых качеств под мотором.

Процесс работы над дизайном

В классической постановке задачи проектирования судна с привлечением художника-конструктора на выходе получается судно с улучшенными эстетическими характеристиками. Но возникает вопрос – а можно ли сделать проект судна лучше? Как правило, такая возможность у художника-конструктора отсутствует, т.к. компоновка и функциональные характеристики судна определены заранее, и скорее всего прописаны в техническом задании.

Основанная на опыте автора статьи схема работы над концептуальным проектом с применением методов морского дизайна представлена на рис.7. Заметим, что техническое задание появляется лишь на этапе (г) работ; значительное место занимают предварительные этапы. Результат работы - не просто презентационные изображения, а комплект документов, дающих представление о внешнем виде и компоновке судна, доказывающих его осуществимость и безопасность путем расчетов, а также предоставляющих материалы для предварительной оценки стоимости.

Отличие методов «художественного конструирования» от методов морского дизайна можно продемонстрировать на примере «реинкарнации» теплоходов проекта «Заря». Как известно, подобная задача решается некоторыми российскими конструкторскими бюро по принципу «натягивания» новых современных форм на имеющуюся компоновку теплохода [9]. Даже с учетом некоторого дополнения по функциональности в виде перевозки лиц с ограничениями по мобильности (аппарель для посадки, пандус для спуска коляски в салон), теплоход не претерпел значительных функциональных изменений по сравнению с прототипом.

Существенных улучшений теплохода «Заря» можно добиться, если применить подходы морского дизайна. В настоящее время тип поездок изменился, многие пассажиры путешествуют с велосипедами, выросли требования к комфорту, фотосессиям, появилась необходимость в перевозке лиц с ограничениями по мобильности и т.д. Под руководством автора статьи разработан концептуальный проект «Фламинго» [10], который продолжает традиции «Зари», но в то же время отвечает современным ожиданиям рынка. Компоновка судна изменена: появилась площадка для велосипедов, багажный отсек расположен у входа в салон, сам салон расширен, что дает возможность более комфортабельно разместить кресла и проход. Спуск инвалидной коляски в салон не предполагается (поэтому не нужен пандус или подобные устройства), вместо этого для нее предусмотрено место непосредственно у входа; там же расположен санузел необходимых размеров. За счет того, что на

«Фламинго» посадка осуществляется в дверь без комингса в носовой поперечной переборке надстройки, отсутствует необходимость в развороте коляски при посадке, в то время как на аналоге [9] это сделать сложно из-за недостатка места.



Рис.7. Процесс работы над дизайном

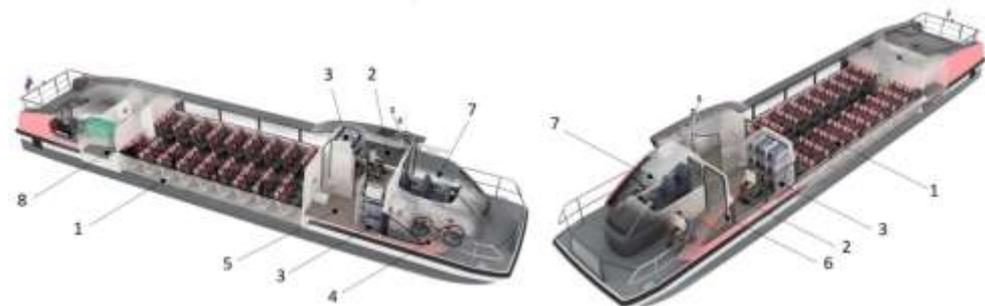


Рис.8. Высокоскоростное пассажирское судно для малых рек пр.Фламинго [10]; 1 – пассажирский салон; 2 – место для коляски; 3 – багажные полки; 4 – платформа для велосипедов; 5 – санузел; 6 – основной выход; 7 – пост управления; 8 – места для отдыха экипажа.

Дизайнер и нормативы – необходимое взаимодействие

Одним из конфликтов, возникающих в процессе создания проекта судна, является несоответствие решений нового дизайна и требований действующих нормативных документов, как правило основанных на опыте предыдущих десятилетий. Очевидно, что чем более радикальным и инновационным является дизайн, тем таких несоответствий больше. Причем чаще всего подобные несоответствия вызваны не снижением безопасности разрабатываемого нового дизайна, а заложенными в нормативы постулатами; иногда происхождение этих постулатов вовсе забыто. К таким постулатам, например относятся ограничения по окнам и иллюминаторам ниже уровня верхней водонепроницаемой палубы, а также закрытиям типа «пляжный клуб». Современные технологии позволяют выполнить остекление большой площади равнопрочным конструкции борта, а современные типы закрытий и уплотнители - обеспечить необходимую водонепроницаемость, чтобы придать необходимые судну потребительские качества [11].

Пример сопоставления формулировок требований международных нормативных документов и производных от них отечественных правил представлен в табл.2. Очевидно, что исходный стиль изложения HSC Code [12], ориентированный на решение проблем обзора в отечественном документе [13] был изменен на

директивное применение единственного технического решения – обеспечить требуемый наклон остекления, хотя в общем случае отсутствие бликов зависит от ряда факторов, и требуемый наклон вовсе не гарантирует необходимый результат. На практике, это означает, что правилами накладывается существенное ограничение на формирование внешнего облика судна, на что проектант получает от КО замечания «ну что вам стоит изменить наклон остекления?» либо долгий процесс согласования отступлений от правил.

В связи с вышесказанным от морского дизайнера требуется умение оценить «проходимость» применяемых проектных решений через КО, доскональное понимание сути требований нормативных документов, умение находить первоисточники этих требований и области их применения, а также предлагать эквивалентные по уровню безопасности технические решения, не перекладывая это на инженерную команду.



Рис. 9. Судно пр. SP15 с прямым носовым остеклением надстройки; в носовой части салона расположена дверь, поэтому остекление заменять на наклонное по [13] невозможно без существенного ущерба для функциональности и внешнего вида.

Дизайн и безопасность

Все вопросы безопасности можно разделить на формальные и неформальные. Следование правилам – это формальная безопасность, в [14] автором приведена сводная таблица требований правил и стандартов, оказывающих влияние на формирование облика и компоновки судов малых размеров.



Рис. 10. Катер пр. SB60SAR; а – общий вид; б – отсек парамедицинской помощи; в – кормовая палуба; г – комингс люка на выходе из отсека.

Другая сторона безопасности – неформальная, правилами не регулируется и ее обеспечение практически полностью лежит на дизайнерах. Весьма часто соображения формальной и неформальной безопасности противоречат друг другу, и при дословном следовании правилам можно получить потенциально опасное решение. В качестве примера, на рис. представлен патрульно-спасательный катер Королевской полиции Таиланда. Суда этого проекта имеет отсек парамедицинской помощи и используются

в том числе для доставки пострадавших с островов в медицинские учреждения на материке. В исходном варианте проекта на кормовой палубе предусмотрен выполненный заподлицо с ней люк с уплотнителем и дренажным каналом, который служит для доступа к горловине топливной цистерны. На этапе постройки, было предъявлено требование обеспечить комингс у этого люка. Как результат, на пути персонала с носилками появилось препятствие (рис.10г), опасность спотыкнуться о которое намного выше, чем опасность для судна быть залитым через этот редко используемый люк. Действительно, в правилах есть формальные требования к комингсам (которые происходят из времен, когда закрытия были из брезента и дерева), но нет указаний не размещать комингсы на пути прохода людей, тем более с носилками.

Таблица 2

Сравнение требований, влияющих на дизайн поста управления

Нормативный документ	HSC Code [11]	PC BCC [12]
Подход	Экспертный подход (ориентирован на получаемый результат)	Директивный подход (требуется единственное техническое решение)
Наклон остекления	Наклон остекления должен предотвращать нежелательные блики	Для уменьшения нежелательного отражения стекла передних окон должны быть наклонены наружу от вертикальной плоскости на угол не менее 10° и не более 25°
Доступ пассажиров в пост управления	Компоновка поста управления должна адекватно предотвращать помехи управлению судном со стороны пассажиров	Должны быть приняты меры, исключающие возможность прохода пассажиров в пост управления судном

Инновации в морском дизайне

Суда малых размеров, особенно прогулочные и пассажирские суда, яхты часто представляют собой объекты, символизирующие роскошь, комфорт, вызывающие чувство причастности к определенной социальной группе в понимании потребителей судов и связанных с ними услуг. Реализация подобных судов или услуг потребителям нацелена не только лишь на удовлетворение утилитарных, но также и эмоциональных, психологических и социо-культурных потребностей. Подобные объекты подвержены брэндированию, они требуют периодических обновлений для присутствия на рынке в условиях конкуренции.

Даже для судов для профессионального использования (патрульных, полицейских и т.д.), в условиях конкуренции производителей все перечисленные выше имиджевые составляющие имеют значение – в этом можно убедиться, побывав на зарубежных выставках подобной техники. Например, выпускаемый в настоящее время в РФ катер для МЧС с весьма спорным дизайном [15] мог бы быть заменен более современным проектом (рис.11). Все перечисленное выше придает дополнительную роль дизайнерам, которые должны отразить в своих проектах ожидания потребителей и функциональные качества судов.

В течение десятилетий инновационный прогресс в разработке промышленных изделий (рис.12) происходил либо за счет появления новых технологий (2) - так называемый технологический рывок, либо за счет улучшения потребительских качеств изделий - так называемый «дизайн, ориентированный на пользователя» (1). В настоящее время ряд исследователей выделяет процесс «инноваций, основанных на дизайне» (3) [16,17], что подразумевает радикальное изменение значений для

потребителя. Взаимодействие между инновациями в области дизайна и технологическими инновациями может трансформировать рынок в рамках отрасли, создавать лидеров отрасли и даже создавать новые отрасли производства (4).

Распространенный в отрасли судостроения подход проектирования по техническому заданию заставляет морского дизайнера работать в сегменте выраженных потребностей (реактивный подход). Работая в условиях подобных ограничений, практически невозможно создать инновационный продукт.



Рис. 11. Служебный катер пр.РРV850, предназначен для патрулирования и спасательных работ; помимо привлекательного внешнего вида, дизайн катера имеет необходимые функциональные черты: проход вдоль бортов, краец из пены вдоль борта, место для пострадавшего и носилок и т.д.

В то же время, наибольший эффект от инноваций, основанных на дизайне, достигается при работе в области возникающих потребностей (проактивный подход). В этом случае задачей дизайнера является предвидение возникающих потребностей, а объект морской техники создается под потребности, которых еще нет. В качестве примера такого предвидения можно назвать замену малых спасательных судов с экипажами на беспилотные спасательные системы.

Схема, приведенная на рис.12 показывает, что инновации в дизайне (в основном, за счет стайлинга), не поддерживаемые технологическим рывком, не приводят к созданию «прорывных» продуктов. Решение большинства задач по проектированию судов, может быть с успехом решено в сегменте (2) «инноваций, основанных на рыночном спросе» «выраженных потребностей». Инновационный же дизайн (4) не ориентирован на пользователя; как говорил выдающийся инноватор в сфере IT-технологий С.Джобс [18]: «Нельзя просто спрашивать у клиентов, что им нужно, и затем пытаться предлагать им это. К тому моменту, когда у вас все будет готово, они захотят чего-то нового.»

К сожалению, существующая практика тендерных закупок судов не поощряет принципиально новые и радикальные решения. Однако, обеспечение технологического лидерства и «прорыва» невозможно без попыток проникновения разработчиков судов в область инновационных технологий и дизайна.

Заключение

Морской дизайн следует определять как направление в дизайне средств инфраструктуры, эта предметная область занимается комплексным проектированием объектов морской техники с учетом их эстетических, функциональных и прочих свойств.

Говоря о взаимоотношении дизайна и нормативов в судостроении, следует заметить, что профессиональное сообщество, включая морских дизайнеров, должно являться одним из заинтересованных сторон и инициаторов нормотворчества. В противном случае, самые смелые и инновационные проекты никогда не смогут быть реализованы.



Рис. 12. Виды инноваций по Р. Верганти [16]

На самом деле, одна из задач морского дизайнера как раз заключается в анализе правил, поиске нормативных ниш для разработки проекта, а также рассмотрению неформальных вопросов безопасности, т.е. не регулируемых действующими правилами. Не секрет, что выполнение тех или иных технических требований может существенно изменить облик и функциональность проекта, и даже заставить отказаться от его реализации.

Морской дизайн является специфической отраслью знаний, в которой не всегда компетентен заказчик и принимающие решения (несмотря на их уверенность в обратном), что, к сожалению, вызывает появление неудачных проектов и их последующее тиражирование за счет государства в условиях практического отсутствия конкуренции. Здесь появляется вопрос доверия, делегирования и необходимости консультирования со стороны дизайнера. Вопреки распространенному мнению, заказчик платит дизайнеру не за трехмерные модели, рендеры и чертежи, а за его опыт, знания и талант, отраженные в этих документах.

Для разработки облика судов все чаще привлекаются промышленные дизайнеры без необходимых морских компетенций. Интернет полон картинок причудливых «яхт» и прочих плавсредств, большинству из которых никогда не суждено быть

реализованными, по аналогии с направлением «бумажная архитектура». В ряде случаев подобные эскизы все-таки доходят до реализации, но при этом будут изменены до неузнаваемости. Все это подчеркивает важность формирования проектной команды с участием профессиональных морских дизайнеров. Морской дизайнер (в отличие от стилиста и инженера) в своей работе учитывает одновременно субъективные и объективные качества проектируемого объекта.

По мнению автора статьи, отечественная школа морского дизайна только формируется и нуждается в систематизации определений, подходов, методических материалов, а также развитии программ образования по этой специальности.

Список литературы

1. Павлюченко Ю.Н. Развитие архитектуры судов. Диссертация... доктора технических наук. 2002. – 58 с.
2. Павлюченко Ю.Н. Основы художественного конструирования судов. Л.: Судостроение, 1985, 264с.
3. Царев Б.А. Введение в художественное конструирование судов. Учебное пособие. ЛКИ, Л: 1973, 89с.
4. Гайкович А.И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов. Том 1-2, Моринтех, СПб, 2014, 1693с.
5. Алексеев Р.Е. в истории создания ЦКБ по СПК. Том 1. Нижний Новгород: «Кварц», 2019, 336с.
6. Sorensen E.W., Sorensen's Guide to Powerboats, International Marine/Ragged Mountain Press, June 14, 2002, 512p.
7. Holbrook R.D., Suriya M. Blue book of Coastal Vessels Thailand. White Lotus, 1967.
8. Bellabarbe S., Guerreri E. Vele italiane: Della costa occidentale. Ulrico Hoepli, Milano, 2011.
9. «Палуба», «Инженерный центр судостроения» представил проекты пассажирских судов «Заря-М» и «Заря-МАХ»// 2023. – URL: <https://paluba.media/news/63810> (дата обращения 14.12.2023).
10. Речное пассажирское судно: пат. 143677 Рос. Федерация. № 2024503435/49; заявл. 18.06.2024; опубл.06.09.2024, Бюл. № 9 – 3 с.
11. Назаров А.Г. Яхтенный дизайн: практические основы художественного конструирования //«Катера и яхты» Часть 1 - №2(224)-2010; Часть 2 - №3(225)-2010.
12. International Code of Safety for High Speed Craft (2000 HSC Code) – IMO, 2008 Edition
13. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. Российский Морской Регистр Судостроения, НД № 2-020101-111, Санкт-Петербург, 2025.
14. Nazarov A. Practical Small Craft Design: Combining Art with Science// The Transactions of The Royal Institution of Naval Architects, International Journal of Marine Design Vol. 154 Part C1 2012.
15. ОСК, На ССЗ Вымпел завершены испытания головного катера для МЧС // 2023, Рыбинск. – URL: <https://www.aosk.ru/press-center/news/na-ssz-vympel-zaversheny-ispytaniya-golovnogo-katera-dlya-mchs-> (дата обращения 17.12.2024).
16. Verganti R. Design-driven innovation: changing the rules of competition by radically innovating what things mean. Harvard Business Press, 2009.
17. McCartan S., Nazarov A. Design-driven innovation: sustainable luxury river cruise network for Colombia to support the economic development of rural communities// Marine Design 2020, 15th – 16th January 2020, Cádiz, Spain.
18. Арзуманов И. «Нельзя спрашивать у клиентов, что им нужно». Что говорил о бизнесе Стив Джобс // 2021. – URL: <https://incrussia.ru/fly/steve-jobs-words/> (дата обращения 10.12.2024).

References

1. Pavlyuchenko YU.N. Razvitie arkhitektury sudov. [Development of ship architecture]. Dissertatsiya... doktora tekhnicheskikh nauk. 2002. – 58 p. (In Russ).
2. Pavlyuchenko YU.N. Osnovy khudozhestvennogo konstruirovaniya sudov. [Fundamentals of Artistic Ship Design]. L.: Sudostroenie, 1985, 264p. (In Russ).

3. Tsarev B.A. Vvedenie v khudozhestvennoe konstruirovaniye sudov. [Introduction to Artistic Ship Design]. Uchebnoe posobie. [Introduction to Artistic Ship Design]. LKI, L: 1973, 89p. (In Russ).
4. Gaikovich A.I. Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchikh korablei i sudov. [The Theory of Designing Displacement Ships and Vessels]. Tom 1-2, Morintekh, SPb, 2014, 1693p. (In Russ).
5. Alekseev R.E. v istorii sozdaniya TSKB po SPK. [Alekseev R.E. in the History of the Creation of the Central Design Bureau for Ships on Hydrofoils]. Tom 1. Nizhnii Novgorod: «Kvarts», 2019, 336p. (In Russ).
6. Sorensen E.W., Sorensen's Guide to Powerboats, International Marine/Ragged Mountain Press, June 14, 2002, 512p.
7. Holbrook R.D., Suriya M. Blue book of Coastal Vessels Thailand. White Lotus, 1967.
8. Bellabarbe S., Guerreri E. Vele italiane: Della costa occidentale. Ulrico Hoepli, Milano, 2011.
9. Paluba «Inzhenernyi tsentr sudostroeniYA» predstavil proekty passazhirskikh sudov «Zarya-M» i «Zarya-MAKH»//Paluba – 2023 [The Deck – 2023]. Available at: <<https://paluba.media/news/63810>> (accessed 14.12.2023).
10. Rechnoe passazhirskoe sudno: pat. 143677 Ros. Federatsiya. № 2024503435/49; zayavl. 18.06.2024; opubl.06.09.2024, Byul. № 9 – 3p.
11. Nazarov A.G. Yakhtennyi dizain: prakticheskie osnovy khudozhestvennogo konstruirovaniya [Yacht Design: Practical Fundamentals of Artistic Design], Katera i yakhti [Boats and Yachts] Chast' 1 - №2(224)–2010; Chast' 2 - №3(225)–2010.
12. International Code of Safety for High Speed Craft (2000 HSC Code) – IMO, 2008 Edition.
13. Pravila klassifikatsii i postroiki vysokoskorostnykh sudov. [Rules For the Classification And Construction of High-Speed Craft], Rossiiskii Morskoi Registr Sudokhodstva, [Russian Maritime Register of Shipping], Nd № 2-020101-111, Sankt-Peterburg, 2025.
14. Nazarov A. Practical Small Craft Design: Combining Art with Science// The Transactions of The Royal Institution of Naval Architects, International Journal of Marine Design Vol. 154 Part C1 2012.
15. OSK, Na SSZ Vympel zaversheny ispytaniya golovnogo katera dlya MCHS // 2023, Rybinsk. Available at: < <https://www.aosk.ru/press-center/news/na-ssz-vympel-zaversheny-ispytaniya-golovnogo-katera-dlya-mchs-> > (accessed 17.12.2024).
16. Verganti R. Design-driven innovation: changing the rules of competition by radically innovating what things mean. Harvard Business Press, 2009.
17. McCartan S., Nazarov A. Design-driven innovation: sustainable luxury river cruise network for Colombia to support the economic development of rural communities// Marine Design 2020, 15th – 16th January 2020, Cádiz, Spain.
18. Arzumanov I. «Nel'zya sprashivat' u klientov, chto im nuzhno». Chto govoril o biznese Stiv Dzhobs // 2021. Available at: < <https://incrossia.ru/fly/steve-jobs-words/> > (accessed 10.12.2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Статья поступила в редакцию 14.01.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 14.01.2025; published online 20.03.2025.

УДК 629.122

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi82.565>

Обоснование создания аварийно-обстановочного судна нового типа для внутренних водных путей

Е.Ю. Чебан

ORCID: 0000-0002-0983-9879

Е.А. Лукина

ORCID: 0000-0002-3834-2386

В.А. Муравьев

ORCID: 0009-0006-7162-5296

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

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы использования судов для операций по локализации и ликвидации разливов нефти (ЛРН) на внутренних водных путях. Исследован состав основного оборудования, необходимого в операциях ЛРН на различных участках водных путей. Разработаны основные требования к судам, участвующим в операциях ЛРН. Показана необходимость повышения скорости движения аварийно-спасательных судов. По результатам анализа эксплуатирующихся и строящихся обстановочных и аварийно-спасательных судов для внутренних водных путей, сделан вывод об отсутствии в составе флота судов с необходимыми характеристиками и необходима проработка и обоснование проектирования и постройки аварийно-спасательных судов нового типа. Предложено объединить в одном судне функции аварийно-спасательного и обстановочного для повышения эксплуатационной эффективности этих судов. Предполагается, что судном с необходимыми характеристиками на ВВП может стать катамаран, который позволяет обеспечить большую площадь палубы для размещения аварийно-спасательного оборудования и более высокую скорость движения.

Ключевые слова: внутренние водные пути, разлив нефти, аварийно-спасательное судно, обстановочное судно, катамаран, ликвидация разлива нефти, боновые ограждения.

Justification to create a new type of rescue vessel for inland waterways

Egor Yu. Cheban

ORCID: 0000-0002-0983-9879

Evgeniya A. Lukina

ORCID: 0000-0002-3834-2386

Viktor A. Muraviev

ORCID: 0009-0006-7162-5296

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses the issues of using ships for oil spill response (OSR) operations on inland waterways. The composition of the main equipment required in OSR operations on various sections of waterways has been studied. The basic requirements for vessels involved in OSR operations have been developed. The necessity of increasing the speed of rescue vessels is shown. Based on the results of the analysis of operational and under construction service and rescue vessels for inland waterways, it is concluded that there are no vessels with the necessary characteristics in the fleet and it is necessary to study and

substantiate the design and construction of emergency rescue vessels of a new type. It is proposed to combine the functions of rescue and service in one vessel to increase the operational efficiency of these vessels. It is assumed that a catamaran can become a vessel with the necessary characteristics for inland waterways, which allows for a larger deck area to accommodate rescue equipment and a higher speed of movement.

Keywords: inland waterways, oil spill, rescue vessel, service vessel, catamaran, oil spill response operation, oil spill boom.

Введение

Протяженность внутренних водных путей (ВВП) Российской Федерации составляет 101589,5 км расположенных на территории 64 субъектов РФ и для некоторых регионов являются важнейшей транспортной артерией, на которой эксплуатируются десятки и сотни судов. Поддержание судоходной обстановки (буи, береговые знаки и т.д.) в работоспособном состоянии возложена на Администрации бассейнов внутренних водных путей, которые используют для этого флот специализированных обстановочных судов.

Несмотря на то, что перевозки грузов по ВВП являются достаточно безопасными, при их осуществлении, а также выполнении вспомогательных операций (бункеровка, перевалка нефтепродуктов и т.д.) могут возникать аварийные ситуации, для ликвидации которых необходимо привлечение судов различных типов, находящихся в непосредственной близости от места возникновения аварии. В этом случае немаловажным фактором является оперативность доставки аварийно-спасательного оборудования и персонала для скорейшей ликвидации аварии, что требует использования специализированных судов значительной грузоподъемности с повышенными скоростями движения. С другой стороны, проектирование, постройка и эксплуатации специальных аварийно-спасательных судов для ВВП представляется экономически неэффективной, т.к. подобные суда не будут эксплуатироваться по прямому назначению большую часть времени. Предполагается, что объединение для судов возможности выполнять аварийно-спасательные работы с функциями по обслуживанию ВВП позволит сократить расходы на создание флота и обеспечить оперативное реагирование на аварийные ситуации.

Поэтому целью настоящей работы является обоснование создания комбинированного аварийно-спасательного и обстановочного судна нового типа.

Требования к аварийно-спасательным судам для внутренних водных путей

Анализ операций по ликвидации разливов нефти (ЛРН) на ВВП [1], а также результатов научно-исследовательских работ по проблемам ЛРН на ВВП, в том числе под руководством В.Л. Этина, с 2006 по 2024 годы [2, 3], позволил сформулировать основные требования к судам, привлекаемым для устранения последствий подобных аварий:

- постановка (в том числе буксировка) боновых ограждений и локализация разливов нефтепродуктов;
- транспортировка передвижного нефтесборного оборудования (скиммеров) к месту аварийного разлива нефтепродуктов;
- очистка поверхности воды с помощью стационарного нефтесборного оборудования;
- размещение нефтесборного оборудования на берегу или воде;
- сбор нефтепродуктов в плавучие или береговые емкости;
- буксировка плавучих емкостей с собранными нефтепродуктами;
- хранение сорбента (производство сорбента);
- нанесение сорбента на водную поверхность и береговую зону;

- очистка загрязненных поверхностей ПАВ (поверхностно-активными веществами).

Состав и количество технологического оборудования ЛРН на судах для удаления нефти с поверхности воды и загрязненных участков прибрежной полосы для большинства бассейнов судоходных рек РФ были определены в [2-5] и должно включать:

- боновые ограждения;
- навесное или передвижное нефтесборное оборудование;
- кормовую или носовую откидную аппарель;
- распылитель сорбента (автономный или судовой);
- осветительную мачту или другой автономный источник освещения;
- кранбалку для погрузки-выгрузки технологического оборудования и грузов;
- жёстко-надувную рабочую шлюпку;
- емкости для собранной нефти (встроенные или плавучие);
- свободное палубное пространство.

К судну, предназначенному для обеспечения операций ЛРН на ВВП, должны предъявляться следующие требования:

1. Судно должно иметь класс РКО или РМРС соответствующий участкам ВВП, на которых производится ликвидация разливов нефти;

2. Для работы на участках ВВП с различной глубиной, в том числе и на мелководных, судно должно иметь малую осадку. Тогда значение В/Т необходимо принимать как можно ближе к верхнему пределу из диапазона 4,0-6,8. Отношение L/V для пассажирских и грузопассажирских судов класса «О» находится в диапазоне 7,1-9,4, но т.к. значительную часть аварийно-спасательного оборудования, необходимо располагать на палубе судна, то необходимо принимать нижнее значение диапазона, с целью увеличения ширины корпуса. Значения коэффициента полноты объёмного водоизмещения корпуса для грузопассажирских судов речного флота находятся в диапазоне 0,71-0,78.

3. Транспортное судно должно быть оборудовано лебёдкой или грузовой стрелой для погрузки и выгрузки средств ЛРН. Сорбент может перевозиться в трюме судна при наличии судового грузового устройства, способного производить погрузку и выгрузку из трюма с учетом требований к условиям хранения сорбционных материалов.

4. Судно должно иметь достаточно места для перевозки аварийной бригады в составе не менее 25 человек с соблюдением правил перевозки персонала, не являющихся пассажирами.

5. При использовании судна для постановки или буксировки боновых ограждений, мощность главных двигателей должна соответствовать нагрузке, действующей на боновое ограждение со стороны жидкости. При использовании любой технологии постановки боновых ограждений для локализации нефти, судном должен удерживаться или буксироваться только один конец бонового ограждения, следовательно, оно должно воспринимать только половину нагрузки, действующей со стороны потока на боновое ограждение.

6. Оперативное реагирование на разлив нефти требует использования судов с повышенными скоростями. Предполагается, что максимальная скорость водоизмещающего судна может составлять 30 км/ч. Дальнейшее увеличение скорости не представляется целесообразным, поскольку влечет за собой ограничения в эксплуатации, свойственные скоростным судам.

Определяющими параметрами при оценке главных размерений аварийно-спасательного судна целесообразно ввести:

- грузоподъемность P ;
- отношение площади грузовой палубы $F_{гр}$ к грузоподъемности судна P ;
- скорость хода v_c .

В ходе проведенных ранее исследований [1,2,4,5], были выполнены расчеты количества и обоснование характеристик оборудования для операций ЛРН на ВВП, что позволило определить грузоподъемность аварийно-спасательного судна (табл. 1).

Таблица 1

Расчет грузоподъемности аварийно-спасательного судна для Волжского бассейна

№	Наименование статьи нагрузки по силам и средствам ЛРН	Кол-во	Масса одной единицы, кг	Масса статьи нагрузки, т
1.	Боновые ограждения для локализации нефти, п. м.	1215	3,2	3,9
2.	Боновые ограждения для защиты берега, п.м.	562	5,5	3,1
3.	Лебёдка для установки боновых ограждений, шт.	1	1940	1,94
4.	Тросы для установки боновых ограждений			0,5
5.	Нефтесборные устройства, шт.	2	1500	3,0
6.	Сорбент, м ³	142	220	31,3
7.	Устройство для распыления сорбента (с электродвигателем), шт.	1	200	0,2
8.	Вспомогательная шлюпка, шт.	2	100	0,2
9.	Ёмкость для временного хранения нефти (100 м ³), шт.	2	1000	2,0
10.	Установка для сжигания нефтесодержащих отходов, шт.	1	500	0,5
11.	Аварийная бригада в спец. обмундировании, чел.	25	120	3,0
12.	Средства для очистки берега, комплектов	1	2000	2,0
	Итого:			49,64

Таким образом, грузоподъемность рекомендуемого судна должна составлять не менее 50т.

Очевидно, что любая аварийная ситуация должна быть ликвидирована в кратчайшее время, (например, время локализации разлива нефти для ВВП в соответствии с требованиями нормативных документов составляет 4 часа). В работах [1,2,4] для повышения оперативности реагирования на разливы нефти было предложено создать в каждом бассейне ВВП «Бассейновую коллективную систему ЛРН», состоящую из заранее определенных рубежей локализации разливов и опорных пунктов, на которых размещено специальное оборудование, персонал, а также суда для их доставки. В этом случае один опорный пункт может обслуживать несколько рубежей локализации, количество которых определяется временем локализации аварии.

Время локализации аварии, в том числе разлива нефти t может быть определено по формуле:

$$t = T_1 + T_c + T_2 \quad (1)$$

где T_1 – время поступления сигнала о разливе, оповещения и сбора команды АСФ, подготовки оборудования и судна к выходу из опорного пункта;

T_c – время, затраченное судном, при движении от пункта ЛРН до рубежа локализации, ч;

T_2 – время разгрузки и постановки боновых ограждений, другого оборудования для локализации разлива на рубеже, ч.

При фиксированном времени T_1 и T_2 , и большей скорости аварийно-спасательного судна, протяженность обслуживаемого участка увеличивается и уменьшается количество опорных пунктов ЛРН в границах одного бассейна водных путей. Это приведёт к снижению затрат на закупку и содержание оборудования, персонала, и к меньшему количеству аварийно-спасательных судов. Например, для Волжского бассейна зависимость количества пунктов ЛРН от скорости аварийно-спасательного судна представлена на рис.1.

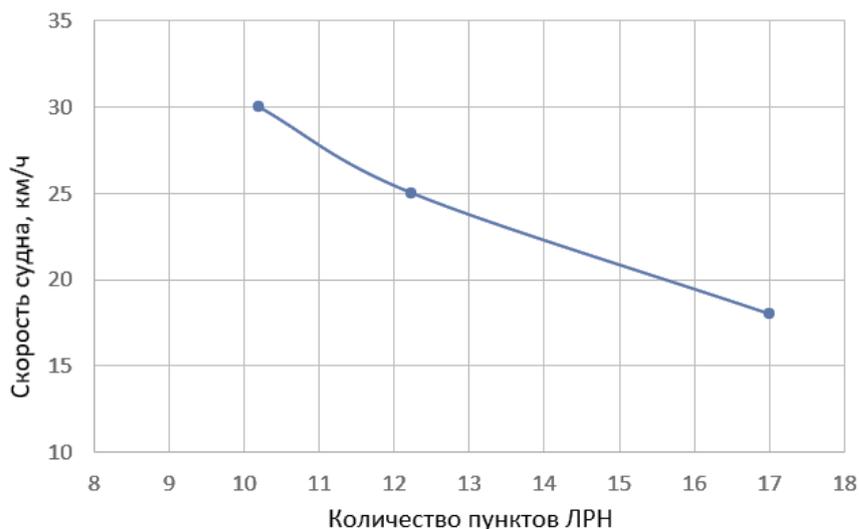


Рис. 1. Зависимость количества пунктов ЛРН в Волжском бассейне от скорости аварийно-спасательного судна

Ориентировочные размерения судна для выполнения операций ЛРН на ВВП могут быть следующими:

– водоизмещение, соответствующее грузоподъёмности рекомендуемого судна должно составлять:

$$D = \frac{P}{\eta_p} = \frac{50}{0.32} = 156\text{т} \quad (3)$$

где $\eta_p = 0.32$ – коэффициент утилизации по грузоподъёмности.

– ширина корпуса судна может быть определена с учетом требований, приведенных в п. 2 по формуле:

$$B = \sqrt[3]{\frac{D \cdot b}{\rho \cdot \delta \cdot a}} = \sqrt[3]{\frac{156 \cdot 6.0}{1 \cdot 0.74 \cdot 7.1}} = 5.7\text{м} \quad (4)$$

где $B = \frac{B}{T} = 6.0$ – относительная ширина корпуса судна;

$a = \frac{L}{B} = 7.1$ – относительная длина корпуса судна;

$\delta = 0.71$ – коэффициент полноты объёмного водоизмещения корпуса судна;

$\rho = 1$ – плотность пресной воды, т/м^3 .

– осадка судна:

$$T = \frac{B}{b} = \frac{5.70}{6.0} = 0.95\text{м}. \quad (5)$$

– длина судна должна составлять, м:

$$L = B \cdot a = 5.7 \cdot 7.1 = 40.47 \approx 40.5 \quad (6)$$

Длина судна также может быть определена с учётом заданной скорости судна:

$$L = \frac{v_c^2}{g} \cdot \frac{1}{Fr_L^2} \quad (7)$$

где $Fr_L = \frac{v_c}{\sqrt{gL}}$ – число Фруда по длине судна, значение которого для достижения приведённых на рис.1 скоростей, при длинах $L = 30 \dots 50$ м должно составлять $Fr_L \geq 0,25$.

Требования к обстановочным судам

Обстановочные суда обычно относятся к судам технического флота, и в первую очередь предназначены для обеспечения безопасного функционирования ВВП. Обычно в данную категорию судов входят:

- специализированные суда (мотозавозни, установщики буюв, промерные суда и т.д.);
- несамоходные суда, в том числе оборудованные крановым оборудованием;
- буксиры, толкачи, пассажирские суда.

При выполнении своих основных функций такие суда осуществляют следующие операции:

- установка, снятие и обслуживание плавучей обстановки (буюв и т.д.);
- установка и обслуживание береговых навигационных знаков;
- буксировка судов;
- подъем судов и затонувшего имущества;
- заводка якорей;
- перевозка персонала.

Формулировка задачи оптимизации при проектировании обстановочных судов для ВВП, а также обоснование их архитектурно-конструктивного типа, главных элементов и характеристик, на основании анализа эксплуатирующихся обстановочных судов было выполнено во ВГУВТ под руководством профессора д.т.н. Роннова Е.П. [7, 8]. Результаты этих исследований были использованы при создании новых обстановочных судов проектов 3050, 3050.1, 3052.

Необходимо отметить, что многие операции, выполняемые вспомогательным техническим флотом по существу являются аварийно-спасательными, что позволяет объединить эти функции в одном судне.

Анализ эксплуатирующихся, проектируемых и строящихся обстановочных и аварийно-спасательных судов для внутренних водных путей

Для оценки возможности одновременного использования судов в качестве аварийно-спасательных и обстановочных была собрана информация по строящимся, проектируемым и эксплуатирующимся судам (см. табл. 2).

Таблица 2

Эксплуатирующиеся, строящиеся и проектируемые аварийно-спасательные и вспомогательные суда

Наименование кабри	Класс судна	Водоизмещение в т.	Длина в м.	Ширина в м.	Осадка в м.	Грузоподъемность в т.	Скорость в узлах	Тип двигателя	Мощность в кВт	Количество валов	Цена в млн. руб.	Площадь открытой палубы, м ²	Число мест для пассажиров	Грузоподъемность на устройствах (тонн и куб. м)	Проектирует	Заказчик	Акционная опись, судна
Эксплуатирующиеся	Класс РИРС (Ice 2 E) BSN Ant 3 или BSN Ant 3 (1977)	36,5	18	4,7	1,1	30 (07)	20	ВФШ	2х118	2	101	31,96	4 (спасательный, 4 шлюза и грузоподъемные стелы до 990 кг)	«Авт. Дачин бор» (г. Санкт-Петербург)	Ворфа Британ Нобель	3	
Эксплуатирующиеся	Класс РИРС (Ice 2 E) BSN Ant 3 или BSN Ant 3 (1977)	51,6	20,07	5,7	1,17	30 (07)	20	ВФШ	2 х 388	2	110	38,76	4 (спасательный, 4 шлюза и грузоподъемные стелы до 990 кг)	«Авт. Дачин бор» (г. Санкт-Петербург)	Ярославский Судостроительный завод	3	
Суда, находящиеся в проекте 1144	Класс РИРС (Ice 2 E) BSN Ant 3 или BSN Ant 3 (1977)	98	30	6	0,83	61 (07)	30	ВФШ	1х110	3	—	—	—	—	—	Восток-Калининградский судостроительный завод (2019-2020)	14
Суда, находящиеся в проекте 014	Класс РИРС (Ice 2 E) BSN Ant 3 или BSN Ant 3 (1977)	192	33,63	7,2	1,9	118 (07)	33,5	ВФШ	1х120	7	—	88,4	2 (спасательный, 2 шлюза и грузоподъемные стелы до 990 кг)	—	—	—	10
Суда, находящиеся в проекте 014	Класс РИРС (Ice 2 E) BSN Ant 3 или BSN Ant 3 (1977)	18,4	12,03	4	0,49	4,31 (07)	28	Возомоторная установка	2х163	2	—	—	—	—	—	—	3
Суда, находящиеся в проекте 014	Класс РИРС (Ice 2 E) BSN Ant 3 или BSN Ant 3 (1977)	34,0	15,4	3	1,2	7,6 (07)	37	Возомоторная установка	2х194	2	—	—	—	—	—	—	3
Суда, находящиеся в проекте 014	Класс РИРС (Ice 2 E) BSN Ant 3 или BSN Ant 3 (1977)	6,2	7,6	2,6	0,43	3,5 (07)	61	Возомоторная установка	1х220	1	—	—	—	—	—	—	—
Суда, находящиеся в проекте 014	Класс РИРС (Ice 2 E) BSN Ant 3 или BSN Ant 3 (1977)	3,1	7,46	2,4	0,32	1 (07)	5,6	ВФШ	1х150	1	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение Таблицы 2

Эксплуатирующиеся, строящиеся и проектируемые аварийно-спасательные и вспомогательные суда

Наименование	Класс судна	Водоизмещение, т	Длина, м	Ширина, м	Осадка, м	Грузовая емкость, т	Скорость, уз	Тип двигателя	Мощность, кВт	Водоизмещение, т	Цена, руб.	Исполнительная организация	Число экипажа	Исполнительная организация	Исполнительная организация	Проектировщик	Завод-строитель	Датирование судна
Специальный аварийно-спасательный буксирный траулер «Обителец» проекта 1104	ГВМС	3,3	3,58	2,83	0,36	1,09	38	ВФШ	153/110	1	—	Обслуживает	10	Обслуживает	Обслуживает	БС МАРИНЕ	БС МАРИНЕ	—
Специальный аварийно-спасательный буксирный траулер «Обителец» проекта 1104	ГВМС	3,3	3,58	2,83	0,36	1,09	38	ВФШ	153/110	1	—	Обслуживает	10	Обслуживает	Обслуживает	БС МАРИНЕ	БС МАРИНЕ	—
Специальный аварийно-спасательный буксирный траулер «Обителец» проекта 1104	Флотия ГВМС МРС 137 (100)	4	4,7	3,3	0,23	1,2 (Р)	34	ВФШ	153/110	1	—	Обслуживает	12	Обслуживает	Обслуживает	Севмор-Дизельмотор (2011г.)	Севмор-Дизельмотор (2011г.)	0,3
Специальный аварийно-спасательный буксирный траулер «Обителец» проекта 1104	ГВМС	3,9	4	3	0,2	0,8 (Р)	5,5	ВФШ	141/91	1	—	Обслуживает	10	Обслуживает	Обслуживает	РФ (2012г.)	РФ (2012г.)	—
Специальный аварийно-спасательный буксирный траулер «Обителец» проекта 1104	ГВМС	4,5	12,25	4	0,4	2,7 (Р)	20	ВФШ	145/2	1	—	Обслуживает	9	Обслуживает	Обслуживает	Япония (1984г.)	Япония (1984г.)	—
Информационно-спасательный буксирный траулер «СН 0316»	Класс РРР: X, 1, 2	70	17,71	4,7	1,88	25 (Двс)	11	Волонтерский экипаж	1459	2	—	Обслуживает	Не предпринимает	Обслуживает	Обслуживает	СССР (1984г.)	СССР (1984г.)	5
Буксирный траулер «СН 0316»	КМ (с/з) Р-45N АУТ	121	22,48	7	1,8	—	12,6 / 16,2	ВФШ	2401/2	2-4	—	—	2-4	Есть экипаж	Обслуживает	ООО «МТ-Групп»	ООО «Областной судостроительный завод «Искра»	5

Продолжение Таблицы 2

Эксплуатирующиеся, строящиеся и проектируемые аварийно-спасательные и вспомогательные суда

Наименование	Класс судна	Водоизмещение, т	Длина, м	Ширина, м	Осадка, м	Грузовая емкость, т	Скорость, км/ч	Тип двигателя	Мощность, кВт	Количество чел.	Цена, руб.	Планируемая стоимость, руб.	Число мест для пассажиров	Планируемая грузоподъемная способность (т/и в грузоподъемности)	Проектировщик	Завод-строитель	Активный статус
Проект 11510	Класс 11510	121,2	22,45	9	1,3	—	12,9-14,7	160Ш	26012	2-5	—	—	2-5	Без крышного оборудования	ООО «АП-Гурья»	ООО «Объединенные судостроительные предприятия»	3
Проект 11510	Класс 11510	58	6,79	10,31	1,42	352	10,5	160Ш	26291	14	—	—	14	Без крышного оборудования	ИФ	ИФ	—
Проект 12741	Класс 12741	152	25	3,1	1,38	22006	16,5	160Ш	26280	2-4	—	—	2-4	Грузоподъемная емкость - 60 т, 1 шт. контейнерная. Служит для выгрузки плавучих шлюзов, прокатки шлюзов, доставки оборудования	Оп. Гурья	ИФ, 2011г.	4
Тип: Проект 81246, 81246А	Класс: Проект 81246, 81246А	74,07	21,8	6,54	1,00	—	10	160Ш	16140	0	—	—	0	Крышная емкость - 100 т	СССР	Иркутская Руб. Флот. Балтийский судостроительный завод им. В.С. 1957г.	6
Проект 202, 202А	Класс: Проект 202, 202А	11,00	21,9	3,64	0,74	—	10	160Ш	16110	2	—	—	2	Нет	СССР	Иркутская Руб. Флот. Балтийский судостроительный завод им. В.С. 1957г.	4,5

Из судов, представленных в табл. 2, стоит выделить катер бонопостановщик проекта А40-2Б и А40-2Б-ЯР, буксир проекта 02780М, обстановочные суда проектов 02781, 3050, 3052. Это современные суда, спроектированные отечественными проектными организациями и построенные на российских предприятиях, на которых размещено грузоподъемное оборудование, эффективно использовано не только палубное пространство, но и пространство на надстройках, обеспечивается высокая скорость. Однако, грузоподъемность этих судов значительно меньше 50 тонн.

Быстроходные спасательные катера, такие как «БЛ-820» (рис. 2) и «Балтик-900» могут с высокой скоростью осуществлять только доставку спецперсонала и незначительное количество груза из-за ограниченной грузоподъемности и площади палубы.



Рис. 2. Катер-бонопостановщик проекта БЛ-820

Теплоход «Виктор Литвинов» проекта 81810, построен в 2012 году. Это крупное для своего класса водоизмещающее судно, оснащенное грузоподъемным оборудованием. Данное судно является тихоходным и его скорость не превышает 10-12 км/ч, что снижает возможность оперативного реагирования на аварийные ситуации. Осадка судна 1.42м не позволит подойти близко к береговой линии, что может ограничивать его возможности при ликвидации нефтяных разливов.

Теплоходы проектов 3050.1А, 3052 обладают близкими к достаточным по многим параметрам показателями, но скорость данных судов не превышает 24 км/ч. Лишь у судна проекта А40-2Б максимальная скорость достигает 20км/ч, что ниже предполагаемой скорости подобных судов - 30км/ч.

Другим недостатком указанных выше судов является недостаточная площадь открытой палубы, что не позволяет перевозить достаточное количество навигационных буйев или боновых ограждений, что потребует использования дополнительного грузового судна, либо многократных рейсов между опорным пунктом и местом проведения работ.

Быстроходные спасательные катера, такие как HS-1500, HS-2000, Хайтек-75, Спасатель – 1, хоть и обладают большой скоростью, но не несут на себе достаточное количество оборудования, т.к. не обладают достаточной грузоподъемностью и площадью открытой палубы.

Используемые в настоящее время такие суда, как нефтемусоросборщик проекта 25505 или «Путейский» проекта 81240, хотя и находятся в эксплуатации, являются морально и физически устаревшими и не могут подлежать серьезной модернизации.

Достаточной грузоподъемностью, скоростью и площадью палубы для перевозки оборудования ЛРН располагает только т/х пр.3265. Однако, он имеет значительную осадку и класс «М3,0(лёд30)А», избыточный для большинства районов внутренних водных путей.

Анализ представленных в табл. 2 судов показывает необходимость разработки и проектирования судна нового класса, предназначенного для выполнения работ, связанных как с обслуживанием навигационной обстановки на ВВП, так и с выполнением аварийно-спасательных работ. Данное судно должно обладать небольшой осадкой, скоростью не менее 30 км/ч, большой площадью открытой палубы с возможностью установки кранового оборудования и достаточными маневренными характеристиками.

Из анализа требуемых характеристик аварийно-спасательного судна можно предположить преимущества катамаранной компоновки архитектурно-конструктивного типа [9, 10].

Судно-катамаран за счёт ширины моста и двух корпусов может иметь большую площадь свободной палубы для размещения оборудования ЛРН и грузоподъёмных устройств. Может быть обеспечен современный уровень обитаемости на борту судна членов аварийно-спасательного формирования при многодневной операции ЛРН, например, за счет использования жилых модулей, несимметричной или П-образной надстройки, имеющей увеличенную за счёт моста ширину, либо в корпусах катамарана. Немаловажным преимуществом катамаранного судна является возможность установки аппарели, которая может иметь значительные размеры, ограниченные только шириной моста и расположением по-походному в сдвинутом под мост состоянии.



Рис. 3. Проект универсального катера-катамарана

Заключение.

На основании анализа операций по локализации и ликвидации разливов нефти на ВВП были разработаны требования к специализированным аварийно-спасательным судам. С учетом ранее выполненных исследований был определен состав и характеристики оборудования для ЛРН, которое должно быть размещено на судах и определены основные характеристики судов для выполнения операций ЛРН. Анализ эксплуатирующихся, проектируемых и строящихся обстановочных и аварийно-спасательных судов для внутренних водных путей показал, что в настоящее время

отсутствует судно способное выполнять аварийно-спасательные операции как с точки зрения обеспечения требуемой грузоподъемности и площади палубы, так и с необходимой скоростью движения. Выходом из этой ситуации может быть судно, обладающее большой грузоподъемностью и площадью палубы при большой скорости движения. Такое совмещение характеристик возможно для судна катамаранного типа.

Список литературы

1. «Разработка проекта Плана по организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти на внутренних водных путях (ВВП) России». Государственный контракт № 4.01.007-07 от 23.08.2007 г.
2. «Научное обоснование проекта и состава системы ликвидации разливов нефти (ЛРН) на внутренних водных путях европейской части Российской Федерации». Государственный контракт № 4.01.006-08 от 05.05.2008 г.
3. Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов справочник / Мерициди И. А., Ивановский В. Н., Прохоров А. Н., Ботвинко И. В. Санкт-Петербург : Профионал, 2008. 819 с. 51,5 усл. печ. л.
4. Чебан, Е. Ю. Техничко-экономическая оценка реализации положения о функциональной подсистеме организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти на внутренних водных путях России / Е. Ю. Чебан, В. М. Иванов, А. И. Кузьмичев // Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек : Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов, Нижний Новгород, 16–19 мая 2017 года / ВГБОУ ВО "ННГАСУ, ФГБОУ ВО "ВГУВТ". – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2017. – С. 17. – EDN YRTGHR.
5. Организация борьбы с разливами нефти на внутренних водных путях / В. Л. Этин, Е. Ю. Чебан, В. М. Иванов [и др.]. – Нижний Новгород : Волжский государственный университет водного транспорта, 2015. – 292 с. – ISBN 978-5-901722-41-1. – EDN WYGNIB.
6. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2451 "Об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации, а также о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации"
7. Роннов Е.П., Анисимова В.В. Формулировка задачи оптимизации обстановочных судов внутреннего плавания/ Е.П. Роннов, В.В. Анисимова // Труды 14-го международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2012». Материалы конференции «Проблемы использования и инновационного развития ВВП в бассейнах великих рек», Том 1. – Н.Новгород: ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012. – С.306-309.
8. Оптимизация основных элементов и характеристик обстановочных судов внутреннего плавания. / В.В. Анисимова. // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по спец. 05.08.03 «Проектирование и конструкция судов». – Н.Новгород: ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – с.22.
<https://vsuwt.ru/nauka/zashchita-dissertatsiy/arkhiv/files/Anisimova/Anisimova.pdf>
9. Алферьев М.Я., Мадорский Г.С. Транспортные катамараны внутреннего плавания. М., изд. «Транспорт», 1975, 336 с.
10. Многокорпусные суда. Под ред. Дубровского В.А. Л., изд. «Судостроение», 1978, 304 с.
11. Этин В.Л., Милавин С.А., Лукина Е.А. Проектирование речных скоростных грузовых накатных судов катамаранного типа // Труды 12-ый междунар. научно-промышленный форума "Великие реки-2010": Труды конгресса. Т.2. Н. Новгород, Нижегород. госуд. архит.-строит. ун-т - Н. Новгород: НГАСУ, 2011. - С.37-44.
12. Кузьмичёв И.К., Митрошин С.Г., Чебан Е.Ю., Лукина Е.А. Оценка волнообразования большегрузного катамарана для внутренних водных путей // Морские интеллектуальные технологии. Научный журнал № 4 (38) Т.3, 2017. – С. 99-106. [Эл. ресурс: www.morintex.ru, ISSN № 2073-7173].

13. Чебан Е.Ю., Лукина Е.А., Митрошин С.Г., Никущенко Д.В., Мартемьянова О.В. Исследование волнообразования большегрузного катамарана для внутренних водных путей численными методами. //Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 3-1 (61). С. 210-219.

References

1. "Development of a draft Plan for the organization of work on the prevention and elimination of oil spills on inland waterways (GDP) of Russia." State contract No. 4.01.007-07 dated 08/23/2007
2. "Scientific substantiation of the project and composition of the oil spill response system (OSR) on the inland waterways of the European part of the Russian Federation". State contract No. 4.01.006-08 dated 05.05.2008
3. Techniques and technologies for localization and liquidation of emergency oil and petroleum product spills handbook / Mericidi I. A., Ivanovsky V. N., Prokhorov A. N., Botvinko I. V. St. Petersburg : Professional, 2008. 819 p. 51.5 usl. pech. L
4. Cheban, Ye. Ju. Tehniko-jekonomicheskaja ocenka realizacii polozhenija o funkcional'noj podsysteme organizacii rabot po preduprezhdeniju i likvidacii razlivov nefti na vnutrennih vodnyh putjah Rossii / E. Ju. Cheban, V. M. Ivanov, A. I. Kuz'michev // Problemy ispol'zovanija i innovacionnogo razvitija vnutrennih vodnyh putej v bassejnah velikih rek : Trudy mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma. Materialy nauchno-metodicheskoi konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, specialistov i studentov, Nizhnij Novgorod, 16–19 maja 2017 goda / VGBOU VO "NNGASU, FGBOU VO "VGUVT". – Nizhnij Novgorod: Volzhskij gosudarstvennyj universitet vodnogo transporta, 2017. – S. 17. – EDN YRTGHR.
5. Organizacija borby s razlivami nefti na vnutrennih vodnyh putjah / V. L. Jetin, Ye. Ju. Cheban, V. M. Ivanov [i dr.]. – Nizhnij Novgorod : Volzhskij gosudarstvennyj universitet vodnogo transporta, 2015. – 292 s. – ISBN 978-5-901722-41-1. – EDN WYGNIB.
6. Rules for the organization of measures to prevent and eliminate oil and petroleum product spills on the territory of the Russian Federation, with the exception of the internal sea waters of the Russian Federation and the territorial sea of the Russian Federation. // <https://docs.cntd.ru/document/573319208?marker=65A0IQ>
7. Ronnov E.P., Anisimova V.V. Formulation of the problem of optimization of situational inland navigation vessels/ E.P. Ronnov, V.V. Anisimova // Proceedings of the 14th International Scientific and Industrial Forum "Great Rivers – 2012". Materials of the conference "Problems of the use and innovative development of GDP in the basins of the great rivers", Volume 1. – N.Novgorod: FBOU VPO "VGAVT", 2012. – pp.306-309.
8. Optimization of the main elements and characteristics of situational inland navigation vessels. / V.V. Anisimova. // Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of technical Sciences in the specialty 05.08.03 "Design and construction of ships". – N.Novgorod: FBOU VPO "VGAVT", 2013. – 22 s. [<https://vsuwt.ru/nauka/zashchita-dis>]
9. Alferyev M.Ya., Madorsky G.S. Transportnye katamarany vnutrennego plavaniya [Transport catamarans of inland navigation]. M., izd. "Transport", 1975, 336 s.
10. Mnogokorpusnye suda [Multi-hull vessels]. Pod red. Dubrovsky V.A. L., izd. "Shipbuilding", 1978, 304 s.
11. Etn V.L., Milavin S.A., Lukina E.A. Designing river high-speed catamaran-type cargo rolling vessels // Proceedings of the 12th International Scientific and Industrial Forum "Great Rivers-2010":Proceedings of the Congress. Vol. 2. N. Novgorod, Nizhny Novgorod. the state. archit.- He's building. Nizhny Novgorod: NGASU, 2011. - pp.37-44.
12. Kuzmichev I.K., Mitroshin S.G., Cheban E.Yu., Lukina E.A. Assessment of wave formation of a heavy-duty catamaran for inland waterways // Marine intelligent technologies. Scientific Journal No. 4 (38) T.3, 2017. – pp. 99-106. [Electronic resource: www.morintex.ru , ISSN No. 2073-7173].
13. Cheban E.Yu., Lukina E.A., Mitroshin S.G., Nikushchenko D.V., Martemyanova O.V. Investigation of wave formation of a heavy-duty catamaran for inland waterways by numerical methods. //Marine intelligent technologies. 2023. No. 3-1 (61). pp. 210-219.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Луккина Евгения Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603905, Нижний Новгород, Нестерова, 5, e-mail: evair@yandex.ru

Муравьев Виктор Александрович, аспирант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603905, Нижний Новгород, Нестерова, 5, e-mail: muraviev.vic@yandex.ru

Egor Yu. Cheban, Dr. Sci. (Eng), assistant professor, professor of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships, Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, Nesterova, 5, e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Evgeniya A. Lukina, Ph.D. (Eng), assistant professor, assistant professor of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, Nesterova, 5, e-mail: evair@yandex.ru

Victor A. Muraviev, postgraduate student, of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, Nesterova, 5, e-mail: muraviev.vic@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 09.12.2024; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 09.12.2024; published online 20.03.2025.

СУДОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

SHIP POWER EQUIPMENT

УДК 621.43.018.7:536.8

DOI: 10.37890/jwt.vi82.584

Анализ эффективности продувочно-выпускной системы двухтактного дизеля при использовании регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора

В.Л. Колюков

Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Россия

Аннотация. В работе исследованы определяющие характеристики продувочно-выпускного тракта судового двухтактного дизеля для широкого диапазона изменения внешних условий эксплуатации и нагрузок штатного варианта и варианта с управляемыми поворотными лопатками соплового аппарата турбины турбокомпрессора. Анализ расходных характеристик показал увеличение расхода воздуха и расхода газа при уменьшении эффективной площади проходного сечения турбины при повороте лопаток. Оценка эффективности продувочно-выпускного тракта проводилась показателями, определяющими качество очистки цилиндров от остаточных продуктов сгорания. В качестве таких показателей приняты: коэффициент остаточных газов, коэффициент наполнения, суммарный коэффициент избытка воздуха. Для штатного варианта переход на утяжеленную винтовую характеристику приводит к снижению коэффициента остаточных газов. В варианте с регулируемым сопловым аппаратом этот коэффициент увеличивается, что может повысить интенсивность отложений нагара на внутренних поверхностях цилиндропоршневой группы. Утяжеление винтовой характеристики не привело к ухудшению наполнения цилиндра зарядом воздуха. Использование регулируемого соплового аппарата позволило повысить суммарный коэффициент избытка воздуха на режимах долевых нагрузок, прирост которого с утяжелением винтовой характеристики увеличился.

Ключевые слова: дизель, продувочно-выпускной тракт, регулируемый сопловой аппарат, турбокомпрессор, расходные характеристики, качество очистки цилиндров, винтовая характеристика.

Analysis of efficiency of a blowdown-exhaust system of a two-stroke diesel engine at use of the adjustable nozzle apparatus of a turbocharger

Viacheslav L. Konyukov

Kerch State Marine Technological University, Kerch, Russia

Abstract. The paper investigates the defining characteristics of the purge-exhaust path of a marine two-stroke diesel engine for a wide range of changes in external operating conditions and loads of the standard variant and the variant with controlled rotating blades of the turbine nozzle apparatus of the turbocharger turbine. The analysis of flow characteristics showed an increase in air and gas flow rates with a decrease in the effective cross-sectional area of the turbine when the blades are rotated. The efficiency of the purge-exhaust path was assessed by the indicators determining the quality of cylinder cleaning from residual combustion products. The following indicators were taken as such: residual gas ratio, filling ratio, total excess air ratio. For the standard variant, the transition to the weighted screw characteristic

leads to a decrease in the residual gas coefficient. In the variant with adjustable nozzle this coefficient increases, which can increase the intensity of deposits of carbon deposits on the inner surfaces of the cylinder-piston group. Weighting of the screw characteristic did not lead to deterioration of the cylinder filling with air charge. The use of adjustable nozzle apparatus allowed to increase the total excess air ratio at the modes of fractional loads, the increase of which with the weighting of the screw characteristic increased.

Keywords: diesel engine, purge-exhaust duct, adjustable nozzle, turbocharger, flow characteristics, cylinder cleaning quality, screw characteristic.

Введение

Проведенные исследования судовых дизелей при управлении расходом воздуха поворотом лопаток регулируемого соплового аппарата (РСА) показали значительные резервы в повышении экономичности и снижения показателей тепловой напряженности, что позволило существенно расширить диапазон допустимых режимов эксплуатации [1, 2, 3, 4]. Связи параметров и ограничения нагрузок дизеля устанавливаются в процессе анализа характеристик систем газообмена и наддува [5, 6]. Эти характеристики представляют зависимости давлений в различных сечениях продувочно-выпускного тракта от расхода рабочего тела и являются расходными характеристиками дизеля. Изменение давлений по циклу дизеля сопровождается изменением температуры рабочего тела. Изменение температуры наддувочного воздуха перед впускными органами при изменении условий эксплуатации незначительно в связи с регулированием системы охлаждения наддувочного воздуха. Значительно в больших пределах изменяется температура газа перед турбиной. Именно через эту температуру проявляется связь расходных характеристик с процессами, протекающими в цилиндрах, системах топливоподачи и воздухообмена [6, 7]. Эти связи сложные, а экспериментальные исследования очень дорогостоящие, поэтому основным способом оценки изменения расходных характеристик дизеля при повороте лопаток РСА и изменении условий эксплуатации является расчетно-теоретический, который базируется на тепловом расчете двигателя при условии, что расчетные эксплуатационные параметры исходного варианта согласуются с результатами заводских тестовых испытаний [8, 9].

Эффективность продувочно-выпускного тракта дизеля можно оценить качеством очистки цилиндров. Основными показателями качества газообмена являются: коэффициент остаточных газов, коэффициент наполнения, суммарный коэффициент избытка воздуха [10, 11]. Эти показатели определяют экономичность рабочих процессов дизеля и надежность элементов цилиндропоршневой группы, которая проявляется в изменении интенсивности отложений.

Изменение внешних условий эксплуатации судна отражается, прежде всего, на коэффициенте утяжеления винтовой характеристики. При этом изменяется частота вращения коленчатого вала и, соответственно, продолжительность процессов цикла, от которой зависят показатели качества газообмена.

Целью работы является анализ основных показателей качества газообмена продувочно-выпускного тракта судового двухтактного дизеля при использовании регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора для различных условий эксплуатации.

Материалы и методы исследования

Исследования судового двухтактного дизеля 7S50MC проводились расчетно-теоретическим способом для широкого диапазона изменения внешних условий эксплуатации и нагрузок с использованием программы «Diesel K» [12]. Настройка программы для номинальных внешних условий проводилась по параметрам, полученным при заводских тестовых испытаниях этого двигателя [9]. Внешние

условия эксплуатации соответствовали принятому коэффициенту утяжеления винтовой характеристики, который изменялся в интервале $0,25 \leq \bar{C} \leq 3,6$.

В качестве определяющих расходных характеристик были приняты зависимости относительного давления перед впускными органами от расхода воздуха $p_s/p_0 = f(\bar{C})$ и относительного давления перед турбиной от расхода газа $p_T/p_0 = f(\bar{C}_T)$. Основной характеристикой является $p_s/p_0 = f(\bar{C})$, она непосредственно связана с рабочими процессами компрессора, ее также называют расходной характеристикой дизеля.

Программа «Diesel K» позволяла методом последовательных приближений вычислять показатели качества газообмена продувочно-выпускного тракта. В качестве таких показателей были использованы коэффициент остаточных газов γ_r , представляющий отношение оставшихся газов к количеству воздуха, поступившему в цилиндр, коэффициент наполнения η_n и суммарный коэффициент избытка воздуха α_s .

Коэффициент наполнения определялся по выражению [11],

$$\eta_n = \xi' \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{p_a}{p_s} \frac{T_s}{T_s + \xi \gamma_r T_r}, \quad (1)$$

где ξ' - коэффициент, учитывающий дозарядку цилиндра на линии сжатия; ξ - поправочный коэффициент, учитывающий изменение теплоемкости остаточных газов.

Результаты исследований представлялись в относительном виде, когда значение исследуемого параметра относилось к величине соответствующего параметра для номинальной нагрузки дизеля и номинальных внешних условий эксплуатации. Эти результаты определялись для винтовой характеристики, соответствующей конкретному коэффициенту ее утяжеления.

Сравнение расходных характеристик дизеля и оценка качества газообмена проводилась для штатного варианта турбокомпрессора и варианта с РСА. Обоснование ограничений поворота лопаток приведено в работе [4]. Следует отметить, что диапазон исследованных режимов принимался без учета ограничительных характеристик тепловой и механической напряженности.

Результаты исследования и их обсуждение

Расходные характеристики определяют основное распределение параметров по циклу дизеля, фиксируя перепады давлений по отдельным процессам цикла. На рис.1 приведена основная расходная или гидравлическая характеристика дизеля, представляющая зависимости относительного давления воздуха перед цилиндром от его относительного расхода для различных коэффициентов утяжеления винтовых характеристик \bar{C} . Здесь и далее на рисунках обозначенные позиции зависимостей будут соответствовать: 1 - $\bar{C}=0,75$; 2 - $\bar{C}=1,0$; 3 - $\bar{C}=1,4$; 4 - $\bar{C}=2,0$; 5 - $\bar{C}=3,0$.

Следует отметить, что относительное давление находилось по выражению

$$\bar{p}_s = \frac{p_s/p_0}{p_{sH}/p_0} = \frac{p_s}{p_{sH}}, \quad (2)$$

где индексом «н» обозначено давление номинального режима.

Зависимости, соответствующие исходному варианту турбокомпрессора, показаны штриховыми линиями, а для варианта с РСА сплошными линиями. Из рисунка следует, что для фиксированного давления наддува утяжеление винтовой характеристики приводит к снижению расхода воздуха. Это можно объяснить снижением частоты вращения коленчатого вала при переходе на утяжеленную характеристику.

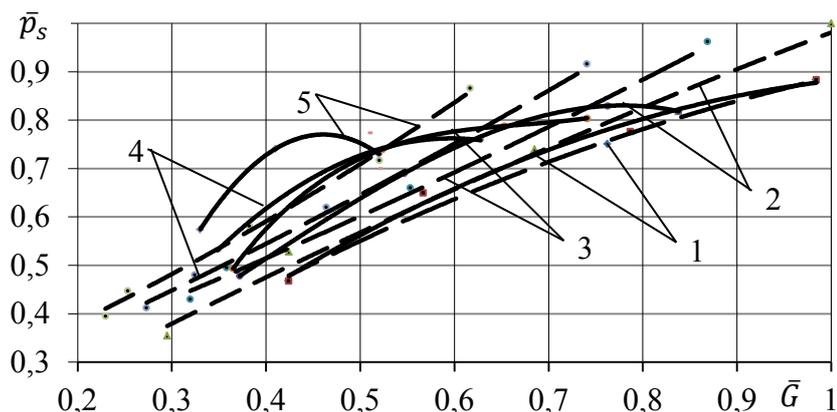


Рис. 1. Расходная характеристика $\bar{p}_s = f(\bar{G})$

В варианте с PCA поворот лопаток вызывает более интенсивное увеличение давления наддува по сравнению с увеличением расхода воздуха, в связи с этим при тех же условиях снижение расхода воздуха больше и составило 20%.

На рисунке 2 представлена расходная характеристика зависимости относительного давления перед турбиной \bar{p}_T от относительного расхода газа \bar{G}_T . Значение \bar{p}_T вычислялось по выражению, аналогичному формуле (2). Из рисунка следует, что для исходного варианта этот вид расходной характеристики носит линейный характер и не зависит от коэффициента утяжеления винтовой характеристики, определяющей внешние условия эксплуатации. Это можно объяснить тем, что дизель 7S50MC укомплектован турбокомпрессором марки MITSUI-MAN B&W NA57/T09052. Исследования турбины этого турбокомпрессора показали, практически, линейную зависимость степени понижения давления в турбине от расхода газа [4].

В варианте с PCA поворот лопаток изменяет гидравлическую характеристику турбины, что приводит к зависимости расходной характеристики от \bar{C} , внешний вид которой подобен характеристике $\bar{p}_s = f(\bar{G})$.

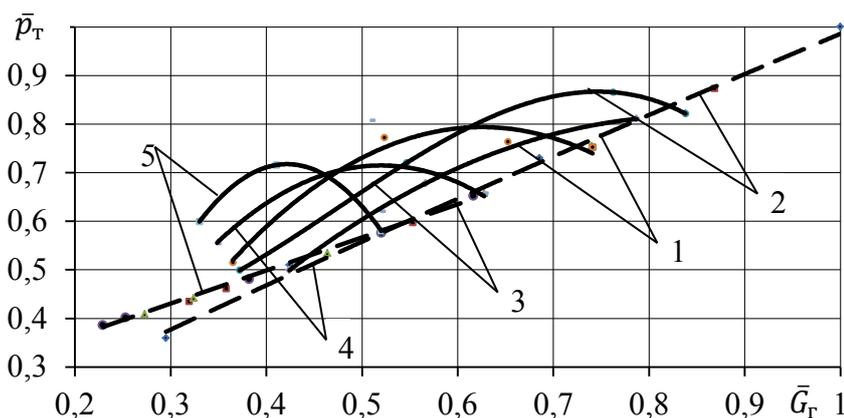


Рис. 2. Расходная характеристика $\bar{p}_T = f(\bar{G}_T)$

Переход на утяжеленную винтовую характеристику при изменении внешних условий эксплуатации сопровождается изменением параметров по рабочим процессам дизеля, а это приводит к изменению мощности турбокомпрессора. На рисунке 3

представлены зависимости относительной мощности турбины турбокомпрессора от нагрузки дизеля для различных коэффициентов утяжеления винтовых характеристик. С утяжелением винтовых характеристик мощность турбины снижается, что связано с уменьшением расхода газа. Использование РСА позволило увеличить мощность турбины на режимах долевых нагрузок, что привело к увеличению давления по циклу дизеля.

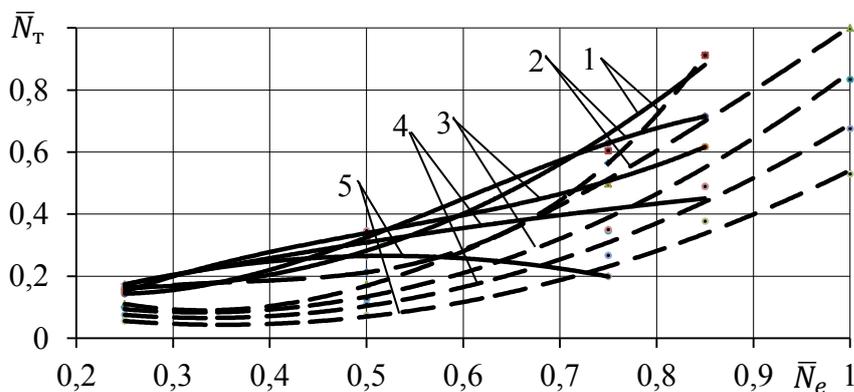


Рис. 3. Зависимость относительной мощности турбины турбокомпрессора от нагрузки дизеля

Температура газа перед турбиной \bar{T}_T влияет на рабочие процессы цикла. Через эту температуру проявляется связь расходных характеристик с процессами, протекающими в цилиндрах, системах топливоподачи и воздухообеспечения. На рис.4 приведены зависимости \bar{T}_T от \bar{N}_e . Увеличение \bar{C} повышает \bar{T}_T , что вызвано уменьшением коэффициента избытка воздуха при горении. Использование РСА позволяет повысить расход воздуха и снизить \bar{T}_T на режимах долевых нагрузок.

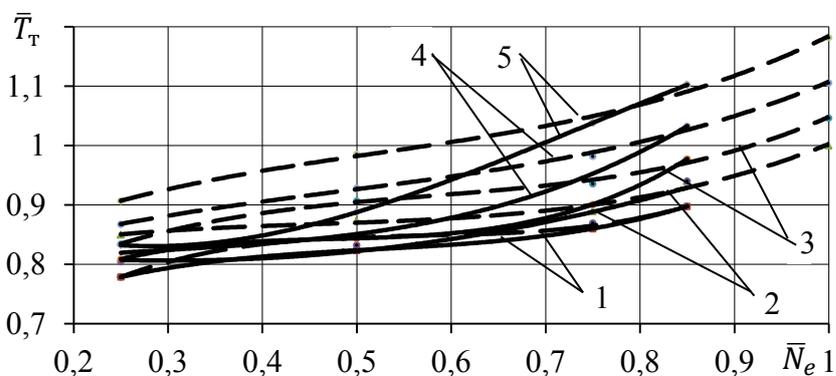


Рис. 4. Относительное изменение температуры газа перед турбиной от нагрузки дизеля

Для оценки эффективности продувочно-выпускного тракта дизеля использовались показатели, характеризующие качество очистки цилиндров от остаточных продуктов сгорания топлива. На рисунках 5, 6, 7 приведены зависимости относительного изменения коэффициента остаточных газов $\bar{\gamma}_r$, коэффициента наполнения $\bar{\eta}_n$ и суммарного коэффициента избытка воздуха $\bar{\alpha}_s$. Утяжеление винтовой характеристики для штатного варианта приводит к снижению $\bar{\gamma}_r$ (рис. 5), что вызвано увеличением перепада давлений на продувку цилиндров (см. рис.1 и рис.2). Дополнительное повышение $\bar{\gamma}_r$ в варианте с РСА увеличивается с понижением частоты вращения коленчатого вала. Следует учесть, что наибольший прирост $\bar{\gamma}_r$

приходится на режимы с пониженной частотой вращения. Это увеличивает время нахождения остаточных продуктов сгорания в цилиндре, что будет способствовать повышенным отложениям нагара на внутренних поверхностях цилиндропоршневой группы.

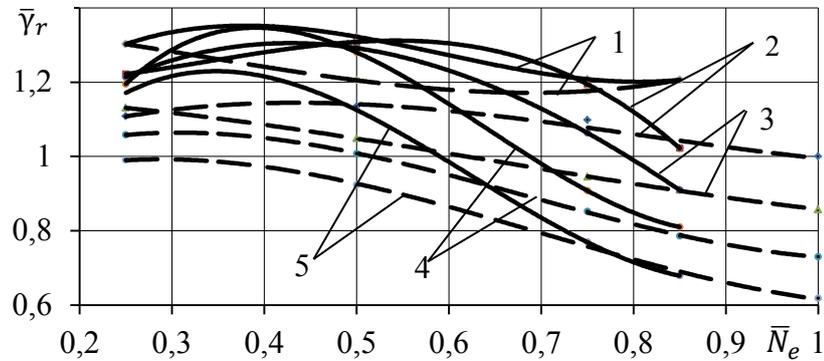


Рис. 5. Относительное изменение коэффициента остаточных газов от нагрузки дизеля

Уменьшение нагрузки дизеля вызывает существенное снижение коэффициента наполнения. Так при понижении \bar{N}_e от 1,0 до 0,5 коэффициент наполнения $\bar{\eta}_H$ снижается на 10% (см. рис.6). Утяжеление винтовой характеристики не сильно увеличивает $\bar{\eta}_H$, изменение которого не превышает 2%. В варианте с РСА $\bar{\eta}_H$ имеет тенденцию к снижению, которое не превышает 1%.

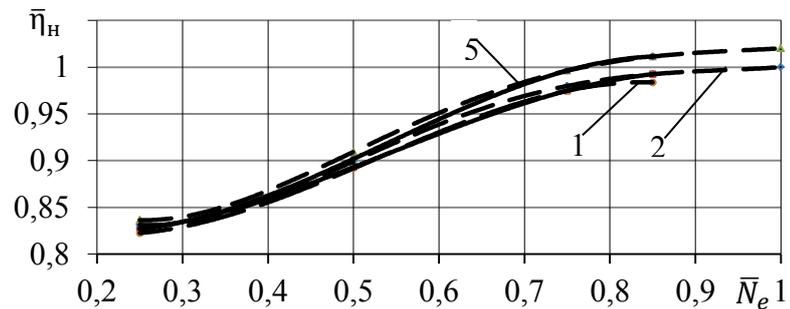


Рис. 6. Относительное изменение коэффициента наполнения от нагрузки дизеля

Незначительное изменение коэффициента наполнения при утяжелении винтовой характеристики свидетельствует о достаточно высокой эффективности продувочно-выпускной системы дизеля.

В ряде источников [10, 11] для качественной оценки эффективности продувочно-выпускного тракта рекомендуют дополнительно использовать суммарный коэффициент избытка воздуха $\bar{\alpha}_s$, изменения которого представлены на рис 7. С утяжелением винтовой характеристики $\bar{\alpha}_s$ падает. Незначительное увеличение $\bar{\eta}_H$ при уменьшении $\bar{\alpha}_s$ для утяжеленных винтовых характеристик можно объяснить снижением частоты вращения дизеля, в результате чего увеличивается время для очистки и наполнения цилиндров.

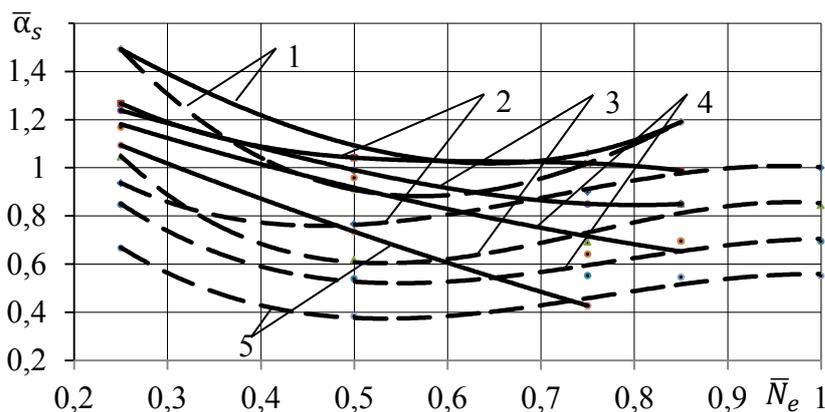


Рис. 7. Изменение $\bar{\alpha}_s$ от нагрузки дизеля

Увеличение мощности турбокомпрессора повысило $\bar{\alpha}_s$ на режимах долевых нагрузок, что связано с увеличением расхода воздуха при повороте лопаток РСА.

Выводы. Исследования продувочно-выпускного тракта двухтактного дизеля выполнены для широкого диапазона изменения внешних условий эксплуатации и нагрузок.

Анализ расходных характеристик показал увеличение расхода воздуха и расхода газа при использовании РСА турбокомпрессора по сравнению со штатным вариантом, который повышается с утяжелением винтовой характеристики. Это вызвано повышением мощности турбокомпрессора по причине снижения эффективной площади проходного сечения при повороте лопаток.

Переход на утяжеленную винтовую характеристику приводит к снижению коэффициента остаточных газов. В варианте с РСА этот коэффициент растет на режимах долевых нагрузок, что может увеличить интенсивность отложений нагара на внутренних поверхностях цилиндропоршневой группы.

Увеличение коэффициента остаточных газов не приводит к снижению коэффициента наполнения. Это связано с уменьшением частоты вращения коленчатого вала при утяжелении винтовой характеристики и увеличением времени на продувку и наполнение цилиндра свежим зарядом воздуха. Незначительное изменение коэффициента наполнения при утяжелении винтовой характеристики свидетельствует о достаточно высокой эффективности продувочно-выпускной системы дизеля.

Использование РСА позволило повысить суммарный коэффициент избытка воздуха на режимах долевых нагрузок, прирост которого с утяжелением винтовой характеристики повышается.

Список литературы

1. Колюков В.Л. Улучшение эксплуатационных параметров четырехтактного дизеля, работающего по винтовой характеристике, путем использования регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора при увеличении противодавления на выпуске //Вестник керченского государственного морского технологического университета. Керчь, 2022. Вып. 3. -С.73-89.
2. Turbocharger aftermarket Honeywell Garrett. Garrett variable geometry turbochargers [Text]: Cheshire: Honeywell U.K. LTD, 2003.-32 p. (30e)
3. How does Variable Turbine Geometry Work. [Электронный ресурс]. Режим доступа к статье: <http://paultan.org/archives/2006/08/16/how-does-variable-turbine-geometry-work/>.

4. Конюков В.Л. Проектная оценка диапазона допустимых режимов эксплуатации судового двухтактного дизеля. Научные проблемы водного транспорта. Нижний-Новгород 2024, №78 (1) С. 97-106. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78/418>
5. Гаврилов В.С., Камкин С.В., Шмелев В.П. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. Учебное пособие для вузов. – Изд. 3-е перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. – 288 с.
6. Камкин С.В., Возницкий И.В., Шмелев В.П. Эксплуатация судовых дизелей. М.: Транспорт, 1990. 344 с.
7. Дьяченко Н.Х., Костин А.К., Пугачев Б.П., Русинов Р.К., Мельников Г.В. Теория двигателей внутреннего сгорания. Рабочие процессы. - Изд. 2-едоп. И перераб. Л.: Машиностроение, 1974. – 552 с.
8. Шароглазов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: моделирование и расчет процессов. Челябинск: Изд. ЮУрУ.2004. – 344 с.
9. Test Results of Shop Trial. Marine main engine 7S50MC. MITSUI MAN B&W, 200 –17 p.
10. Самсонов В.И., Худов Н.И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов. М.: Транспорт, 1990. 368 с.
11. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Л. Судостроение, 977.392 с.
12. Свидетельство RU2022685277 Российская Федерация. Программа расчета параметров рабочего процесса дизеля с наддувом «Diesel K»: программа для ЭВМ / А.Н. Горбенко. – Оpubл. 22.12.2022, Бюл. №1.

References

1. Konyukov V.L. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh parametrov chetyrehtaktnogo dizelya. rabotayushchego po vintovoy kharakteristike. putem ispolzovaniya reguliruyemogo soplovogo apparata turbokompressora pri uvelichenii protivodavleniya na vypuske [Improving the operational parameters of a four-stroke diesel engine operating according to the screw characteristic by using an adjustable turbocharger nozzle with an increase in the back pressure at the outlet]. //Vestnik kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta. [Bulletin of the Kerch State Marine Technological University.], Kerch. 2022. Vyp. 3. -pp.73-89. (In Russian)
2. Turbocharger aftermarket Honeywell Garrett. Garrett variable geometry turbochargers [Text]: Cheshire: Honeywell U.K. LTD, 2003.-32 p. (30e)
3. How does Variable Turbine Geometry Work. [Электронный ресурс]. Режим доступа к статье: <http://paultan.org/archives/2006/08/16/how-does-vfrbable-turbine-geometry-work/>
4. Konyukov V.L. Proektnaya ocenka diapazona dopustimyh rezhimov ekspluatatsii sudovogo dvuhtaktnogo dizelya. [Design assessment of the range of permissible operating modes of a marine two-stroke diesel engine] Nauchnye problemy vodnogo transporta. [Scientific problems of water transport] Nizhnij-Novgorod 2024, №78 (1) P. 97-106. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78/418> (In Russian)
5. Gavrilov V.S., Kamkin S.V., Shmelev V.T. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sudovykh dizelnykh ustanovok [Technical operation of marine diesel installations]. [Tekst] Uchebnoye posobiye dlya vuzov. 3-e izdaniye pererab. i dop M.: Transport. 1985. – 288 p. (In Russian)
6. Kamkin S.V., Voznitsky I.V., Shmelev V.P. Ekspluatatsiya sudovykh dizel'ev [Operation of marine diesel engines]. М., Transport, 1990, 344 p. (In Russian).
7. D'yachenko N.H., Kostin A.K., Pugachev B.P., Rusinov R.K., Mel'nikov G.V. Teoriya dvigatelej vnutrennego sgoraniya. Rabochie processy. [Theory of internal combustion engines. Working processes] - Izd. 2-edop. I pererab. L.: Mashinostroenie, 1974. – 552 p. (In Russian).
8. Sharoglazov B.A., Farafontov M.F., Klement'ev V.V. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: modelirovanie i raschet processov. [Internal combustion engines: modelling and process calculation]. Chelyabinsk: Izd. YuUrU.2004. – 344 p. (In Russian).
9. Test Results of Shop Trial. Marine main engine 7S50MC. MITSUI MAN B&W, 2004–17 p.
10. Samsonov V.I., Khudov N.I. Dvigateli vnutrennego sgoraniya morskikh sudov. [Internal combustion engines of marine vessels]. М., Transport, 1990. 368 p. (In Russian).
11. Vanshejdt V.A. Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya [Marine internal combustion engines]. L., Sudostroenie, 1977, 392 p. (In Russian).

12. Svidetelstvo RU2022685277 Rossiyskaya Federatsiya. Programma rascheta parametrov rabocheho protsessa dizelya s nadduvom «Diesel K»: programma dlya EVM Certificate RU2022685277 Russian Federation. [The program for calculating the parameters of the working process of a supercharged diesel "Diesel K": computer program] / A.N. Gorbenko. – Opubl. 22.12.2022. Вып. №1. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Конюков Вячеслав Леонтьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок, Керченский государственный морской технологический университет, 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, seykgmtu@mail.ru

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

Статья поступила в редакцию 25.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 25.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 62-242.3
DOI:10.37890/jwt.vi82.559

Комплектация поршней судовых дизелей новым кольцевым уплотнением при ремонте

С.Ю. Курицын
ORCID: 0009-0001-8061-4656

Ю.И. Матвеев
Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация: Преобладающее большинство высокооборотных двигателей оборудуются поршнями из алюминиевого сплава, и поскольку данные двигатели занимают лидирующие позиции в судостроении, вопрос об восстановлении поршня как наиболее нагруженной и подверженной износу детали, является актуальным на сегодняшний день. Алюминиевый сплав имеет большое количество положительных качеств, обуславливающих их применение для высокооборотных двигателей. К их числу можно отнести малый вес, что необходимо для уменьшения инерционных нагрузок, высокая теплопроводность, благодаря которой поршень, при нормальной работе, не перегревается, низкий коэффициент трения. Но при всех достоинствах алюминиевого сплава, ему присущи и недостатки, заключающиеся в низкой прочности, что значительно сокращает его ресурс. Согласно статистике одной из причин выхода из строя алюминиевых поршней заключается в износе поршневых канавок, особенно первой. В качестве альтернативы замене поршня предлагается способ ремонта, заключающийся в расточке первой поршневой канавки под установку двух поршневых колец. Для уменьшения трения, кольцо, располагающееся во второй канавке, конструктивно дорабатывается с целью обеспечения более устойчивого масляного клина для увеличения эффективности нового кольцевого уплотнения.

Ключевые слова: износ, поршень, поршневые кольца, ремонт, двигатель, трение, смазка, втулка цилиндра.

The complete set of pistons of marine diesel engines with a new o-ring seal during repair

Sergey Y. Kuritsyn
ORCID: 0009-0001-8061-4656

Yuri I. Matveev
Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract: The vast majority of high-speed engines are equipped with aluminum alloy pistons, and since these engines occupy a leading position in shipbuilding, the issue of restoring the piston as the most stressed and wear-prone part is relevant today. Aluminum alloy has a large number of positive qualities that determine their use for high-speed engines. These include low weight, which is necessary to reduce inertial loads, high thermal conductivity, due to which the piston does not overheat during normal operation, and a low coefficient of friction. But for all the advantages of an aluminum alloy, it also has disadvantages of low strength, which significantly reduces its service life. According to statistics, one of the reasons for the failure of aluminum pistons is the wear of the piston grooves, especially the first one. As an alternative to replacing the piston, a repair method is proposed, which consists in boring the first piston groove for the installation of two piston rings. To reduce friction, the ring located in the second groove is being redesigned to provide a more stable oil wedge to increase the efficiency of the new O-ring.

Keywords: wear, piston, piston rings, repair, engine, friction, lubrication, cylinder sleeve.

Введение

В последние годы наблюдается тенденция увеличения производства высокооборотных двигателей. Если раньше высокооборотные двигатели в основном выпускались для установки на суда в качестве вспомогательных агрегатов, с целью электроснабжения судов, то на сегодняшний день их применяют и в качестве главной энергетической установки [1]. Дизелестроение должно стремиться к выполнению требований современного мира, нуждающегося в экономически выгодных, надёжных и экологичных двигателях внутреннего сгорания. Данная задача решается не только за счёт оптимизации рабочих процессов двигателя, но и совершенствованием конструкции деталей, отвечающие за мощностные, экономические, экологические показатели, а также показатели надёжности. К сожалению, ресурс высокооборотных двигателей, по отношению к малооборотным и среднеоборотным двигателям внутреннего сгорания намного ниже, что существенно сказывается на стоимости их обслуживания, напрямую зависящую от стоимости запасных частей. Поэтому вопрос о ремонте и восстановления деталей двигателя ставится как никогда актуальным. К наиболее изнашиваемым деталям, отвечающим за технические, экологические и экономические показатели, можно отнести детали цилиндропоршневой группы – поршень и поршневые кольца.

Методы исследования

Самым популярным материалом для изготовления поршней высокооборотных двигателей является алюминиевый сплав. Данный материал обладает существенными достоинствами, делающим его незаменимым для использования в двигателях с высокими скоростями движения поршня. К положительным свойствам можно отнести следующее:

- малый вес, что позволяет уменьшить инерционные нагрузки, уменьшающие мощность двигателя;
- высокая теплопроводность. Температура сгорания в камере сгорания может достигать 2000°C, температура плавления алюминиевого сплава, из которого изготавливают поршень находится в пределах 700°C. Благодаря высокой теплопроводности температура нагрева поршня находится в районе 250°C. Отвод тепла от поршня осуществляется через поршневые кольца, которые взаимодействуют с поверхностью «зеркала» втулки цилиндра, охлаждаемой водой внутреннего контура двигателя, температура которой находится в пределах 160-210 °C при номинальной мощности двигателя.
- низкий коэффициент трения, уменьшающий нагрузки на двигатель от взаимодействия поршня с поверхностью втулки цилиндра.

Кроме положительных свойств, поршни, изготовленные из алюминиевых сплавов, имеют и недостатки. Одним из существенных недостатков является низкая прочность, которая влияет на ресурс поршня. Согласно статистике одной из причин выхода из строя алюминиевых поршней заключается в износе поршневых канавок, особенно первой (см. рисунок 1), где установленное в неё компрессионное кольцо испытывает максимальные нагрузки от высокого давления и температуры [2].



Рис. 1. Разрушение кромок верхней поршневой канавки

Герметичность камеры сгорания зависит от плотного прилегания рабочей поверхности поршневого кольца к «зеркалу» цилиндра и боковых поверхностей поршневого кольца к боковым поверхностям поршневой канавки. Нарушение плотности прилегания всех поверхностей приведёт к потере мощности двигателя, из-за пропуска газов и увеличенному расходу масла.

Существует несколько причин, разрушающих поршневую канавку [3]:

- абразивный износ. Разрушение поршневой канавки происходит вследствие попадания механических примесей, твёрдость которых превышает твёрдость материала поршня. Попадание механических примесей может осуществляться с приточным воздухом, в случае загрязнения воздушного фильтра, с маслом, от износа деталей, а также с продуктами сгорания;
- чрезмерные нагрузки, вызванные давлением расширения газов при высокой температуре;
- силы инерции кольца [4]. Во время изменения направления перемещения поршня будет происходить удар между кольцом и поршнем вследствие чего и происходит разрушение;
- вибрация поршневого кольца [5]. Вибрация поршневого кольца типа «флаттер» очень опасное явление, приводящее к разрушению поршневых канавок и поломке самого кольца. Возникновение вибрации происходит в период изменения направления движения поршня, когда кольцо перемещается от верхней к нижней боковой стенке поршневой канавки и наоборот. Причём вибрация начинается в районе поршневого «замка» с последующей передачей на всё тело. Уплотнение камеры сгорания во многом зависит от плотного прилегания рабочей поверхности поршневого кольца к «зеркалу» втулки цилиндра. Плотность прилегания определяется собственной силой упругости, которая зависит прежде всего от материала кольца и способа его изготовления [6]. По мере работы рабочая поверхность кольца истирается, вследствие чего происходит уменьшение силы прижима кольца к поверхности цилиндрической втулки. При достижении малых величин силы прижима, наступает момент, когда концы кольца будут находиться в свободном состоянии при осевом перемещении. В результате, из-за разности давления над кольцом и под кольцом, газы устремляются в район с пониженным давлением и при движении газового потока с большой скоростью в определённые моменты времени происходит его срыв, в результате которого и появляется аэродинамическая вибрация. Амплитуда и частота колебаний увеличивается пропорционально уменьшению силы собственной упругости.

Поршень с разрушенными поршневыми канавками, эксплуатировать нельзя. Заменять на новый дорого. Поэтому для возможности продления ресурса поршней разрабатывают новые способы их восстановления. На сегодняшний день существуют различные методы ремонта такие как:

1. Для уменьшения износа первой поршневой канавки, используют вставки из более прочных материалов (например чугун) по отношению к алюминиевому сплаву [7]. Недостаток данного метода заключается в том, что ремонт по такому методу может осуществить только завод с соответствующими технологическими возможностями, поэтому осуществить ремонт поршня будет дорого и долго;
2. Плазменная наплавка [8]. Плазменная наплавка производится под высокой температурой, поэтому чтобы не оплавить соседнюю канавку и исключить перегрев поршня, необходима высокая квалификация сварщика. Поскольку специалистов высокого уровня по работе с алюминием немного, то восстановить поршень данным методом будет также дорого и долго;

В данной работе предлагается метод ремонта поршня, позволяющий провести восстановление практически на любом судоремонтном предприятии. Суть метода заключается в расточке верхней поршневой канавки под установку два поршневых кольца [9,10]. Максимально возможная расточка поршневой канавки должна производиться с ориентиром на высоту двух штатных колец и обеспечением гарантированного зазора, для сохранения их подвижности [11]. Минимальная расточка поршневой канавки должна сопровождаться уменьшением штатной высоты компрессионных колец. Величина снижения высоты, устанавливаемых в канавку поршневых колец, не должна влиять на работоспособность кольцевого уплотнения при всех режимах работы двигателя. Уменьшенные по высоте компрессионные кольца должны выдерживать нагрузки, возникающие при монтаже на поршень и демонтажа с него.

Результаты испытаний

Испытания нового кольцевого уплотнения проводили на стенде [12]. Стенд (см. рисунок 2) разработан на основе двух цилиндров, демонтированных со списанного двигателя ЯМЗ 236 (позиция 1), производства ярославского моторного завода.

В качестве привода был установлен электродвигатель (позиция 5) марки АИРУ112М2У2, мощностью 7,5кВт и 3000об/мин. Для уменьшения оборотов в стендовую установку установили три редуктора. Первый (позиция 2) – цепная передача, которая понижает обороты за счёт разницы ведущей и ведомой звёздочки. Второй (позиция 3) – цилиндрический редуктор. Третий (позиция 4) – управляемая механическая коробка передач, позволяющая изменять обороты, за счёт разных передаточных чисел. Коробка передач имеет следующие передаточные числа: 3,49, 2,04, 1,33 и 1,0. Суммируя передаточные отношения всех редукторов, стендовая установка даёт нам возможность проводить испытания на следующих режимах:

- 1 – на первой скорости 149 мин⁻¹;
- 2 – на второй скорости 255 мин⁻¹;
- 3 – на третьей скорости 391 мин⁻¹;
- 4 – на четвёртой скорости 521 мин⁻¹.



Рис. 2. Стенд для испытаний нового кольцевого уплотнения

В качестве образца для испытаний был взят поршень, отработавший свой ресурс со сколами кромок верхней поршневой канавки. Для его восстановления верхнюю канавку расточили на величину равную высоте сколов (см. рисунок 3). Высота новой расточенной поршневой канавки соответствовала высоте меньшей на 25% высоты двух штатных поршневых колец.



Рис. 3. Поршень с расточенной первой поршневой канавкой под два компрессионных кольца

Высоту первого кольца оставили без изменений, а высоту второго кольца уменьшили на 25% путём шлифования одной поверхности на шлифовальном станке. Установку колец производили таким образом чтобы тепловые зазоры, необходимые для компенсации теплового расширения, были разнесены в противоположенные стороны (см. рисунок 4).



Рис. 4. Расположение компрессионных колец в расточенной поршневой канавке

Такой монтаж обеспечил повышение давления сжатия, относительно штатного расположения поршневых колец, находящихся в индивидуальных канавках, в среднем на 5%. Данный результат был достигнут за счёт исключения пропуска сжимаемого воздуха на такте «сжатия» через тепловой зазор.

После испытаний на стенде с отремонтированным поршнем, для сравнения, провели дополнительные испытания с новыми деталями цилиндропоршневой группы (см рисунок 5) – втулка цилиндра, поршень со штатным расположением поршневых колец, поршневые кольца, поршневой палец.



Рис. 5. Новый поршень с установленными на него новыми поршневыми кольцами

Поскольку цель испытания заключалась в проверке эффективности нового уплотнения, то при испытаниях на поршень монтировалось одинаковое количество колец, установленных согласно посадочных мест:

- на старом поршне устанавливалось два компрессионных кольца в одну первую поршневую канавку и маслосъёмное кольцо на штатное место.
- на новом поршне устанавливалось два компрессионных в штатные первую и вторую канавки, и одно маслосъёмное кольцо, на штатное место.

Для чистоты эксперимента, испытания на стенде с новыми деталями цилиндропоршневой группы проводили на тех же режимах, что и с восстановленным поршнем. Перед занесением результатов в протокол испытаний провели обкатку с целью предварительной приработки трущихся поверхностей новых деталей на всех режимах в течении 20 минут. По истечении данного времени, был проведён демонтаж

крышки цилиндра. Плотность прилегания поршневых колец к втулке цилиндра подтвердили световым методом. Замеры давления сжатия проводили электронным прибором «Depas Handy». Результаты замеров давления сжатия занесли в таблицу 1.

Таблица 1

Величина давления сжатия штатного и нового уплотнения

	Давление сжатия, МПа			
	149мин ⁻¹	255мин ⁻¹	391мин ⁻¹	521мин ⁻¹
Новое уплотнение с двумя поршневыми кольцами в одной канавке	1,96	2,1	2,16	2,36
Штатное уплотнение с двумя кольцами в индивидуальных канавках	1,95	1,97	2,1	2,13

Сравнительный анализ результатов эксперимента показал, что эффективность нового кольцевого уплотнения по сравнению со штатными двумя кольцами составила: при частоте вращения 149мин⁻¹ на 0,6%, при частоте вращения 255 мин⁻¹ на 6,2%, при частоте вращения 391 мин⁻¹ на 2,8%, при частоте вращения 521 мин⁻¹ на 9,7%.

Полученные результаты показали эффективность нового кольцевого уплотнения, исходя из этого, его можно применять не только для восстановления поршней, но и при производстве новых дизелей.

Наиболее существенной причиной вызывающей износ цилиндровой втулки и поршневых колец, можно назвать истирание их рабочих поверхностей от силы трения [13]. Максимальная нагрузка от силы трения возникает в районе первого поршневого кольца, из-за высоких температур и высокого давления. Компрессионные кольца работают в условиях граничной смазки, при которой толщина масляной плёнки не превышает размеров нескольких молекул [14]. Масляный слой такой толщины крайне неустойчив, и его разрушение приводит к более ускоренному изнашиванию втулки цилиндра и поршневых колец. Следовательно, для увеличения ресурса деталей цилиндропоршневой группы, необходимо снизить факторы, влияющие на разрушение масляного слоя между рабочей поверхностью поршневого кольца и стенки втулки цилиндра. Также необходимо создать условия для обеспечения устойчивого, надёжного масляного слоя, который обуславливается толщиной и обеспечением нанесения смазки. Новое кольцевое уплотнение даёт возможность не только продлить ресурс поршня, но и позволяет убрать одну из причин влияющей на разрушение масляной плёнки. Наличие теплового зазора в конструкции поршневых колец является неотъемлемым конструктивным элементом, позволяющим производить монтаж и демонтаж колец, а также компенсировать тепловое расширение от нагрева во время работы. Помимо положительных свойств, поршневой «замок» также является и причиной разрушения масляной плёнки. Разрушение масляной плёнки происходит за счёт движения через поршневой «замок» с большой скоростью и температурой сжимаемого воздуха на такте «сжатие» и отработавших газов на такте «расширения», вследствие разности давлений над компрессионным кольцом и под ним. Сдувание смазки со стенок цилиндра может образовать сухое трение при взаимодействии трущихся деталей цилиндропоршневой группы, и как следствие может вызвать ускоренный износ. Необходимо отметить, что в процессе работы двигателя величина теплового зазора увеличивается, в связи с истиранием наружной поверхности кольца, вследствие чего область «сдувания» масляной плёнки расширяется. Новое кольцевое уплотнение позволяет полностью убрать негативное влияние поршневого «замка», причём независимо от его величины. Для обеспечения

более устойчивого и надёжного масляного слоя на стенке цилиндра, в комплект нового кольцевого уплотнения входит конструктивно доработанное кольцо (см. рисунок 6), устанавливаемое во вторую штатную канавку поршня.

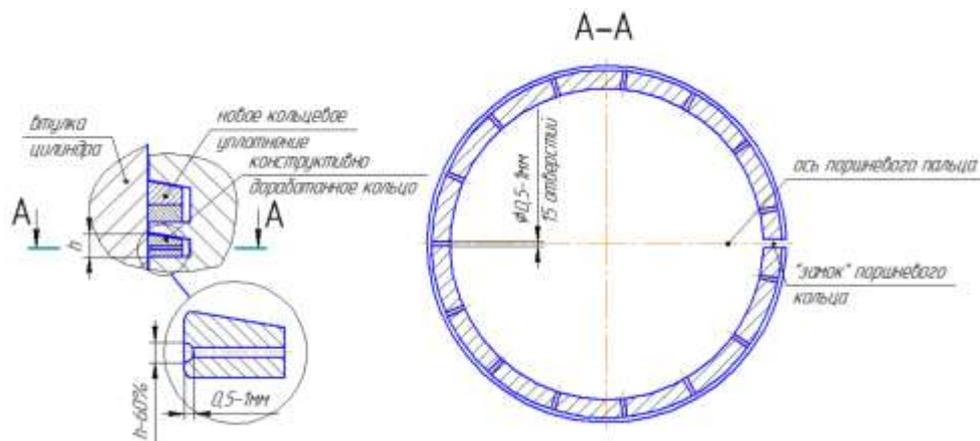


Рис. 6. Конструктивно доработанное кольцо, устанавливаемое во вторую штатную канавку поршня

В конструкцию штатного кольца, устанавливаемого во вторую штатную канавку поршня внесены следующие изменения:

1. Расточена по всему периметру кольцевая канавка, позволяющая равномерно распределять масло на всей поверхности «зеркала» цилиндра. Канавка растачивается на глубину в пределах 0,5-1мм, в зависимости от размеров поршневого кольца. Ширина канавки уменьшает площадь контакта рабочей поверхности поршневого кольца со стенкой цилиндра на 40%, что соответствует величине меньшей ширины канавки штатного маслосъёмного кольца. Уменьшение площади контакта возможно по причине отсутствия пропуска газов через новое кольцевое уплотнение, которые являются причиной увеличения давления прижима, влияющее на скорость износа поршневого кольца.
2. Для обеспечения смазки, в теле кольца просверливаются 15 радиально расположенных отверстий, диаметром 0,5-1мм, в зависимости от размеров поршневого кольца. Данные отверстия являются накопительными ёмкостями, через которые масло попадает в кольцевую канавку для равномерного распределения масла на поверхности «зеркала» цилиндра.

Заключение

Новое кольцевое уплотнение состоит из двух компрессионных колец, установленных в первую поршневую канавку и в дополнение к нему штатное поршневое кольцо конструктивно доработанное, установленное во вторую поршневую канавку. Данная комплектация поршней позволяет не только продлить ресурс поршня, путём его восстановления, но и уменьшить нагрузку от сил трения, за счёт увеличения обеспечения и равномерного нанесения масла на рабочую поверхность втулки цилиндра. Необходимо отметить, что установленные кольца в одну канавку позволяют исключить вибрацию типа «флаттер», которая при возникновении будет гасится за счёт тела второго кольца.

Список литературы

1. Безюков, О. К. Состояние и перспективы судового двигателестроения в России / О. К. Безюков, В. А. Жуков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 2. – С. 40-53. – DOI 10.24143/2073-1574-2017-2-40-53.
2. Кондратьев Н.Н. Отказы и дефекты судовых дизелей. – М: Транспорт, 1985. – 152 с.
3. Дударева, Н. Ю. Упрочнение верхних поршневых канавок двигателей внутреннего сгорания методом искрового упрочнения / Н. Ю. Дударева // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2010. – Т. 14, № 3(38). – С. 111-115.
4. Гинцбург Б.Я. Теория поршневого кольца / Б.Я. Гинцбург. М: Машиностроение, 1979. – 247с.
5. Андрусенко, Е. И. Устранение вибрационного разрушения поршневых колец судовых дизелей : специальность 05.08.05 «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Андрусенко Евгений Иванович ; ФГОУ ВПО ВГАВТ. – Нижний Новгород, 2006. - 17 с.
6. Матвеев, Ю. И. Методики определения эпюры давлений поршневых компрессионных колец судовых дизелей / Ю. И. Матвеев, С. Ю. Курицын // Транспорт. Горизонты развития : Труды 3-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 14–16 июня 2023 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. – С. 17.
7. Конструкционные материалы для поршней ДВС / А. Р. Макаров, С. В. Смирнов, С. В. Осокин [и др.] // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – Т. 1, № 1(15). – С. 118-125.
8. Александров, В. А. Восстановление алюминиевых поршней плазменной наплавкой / В. А. Александров // Технологии и механизация сельскохозяйственных процессов. – Екатеринбург : Уральский государственный аграрный университет, 2000. – С. 226-228.
9. Стендовые испытания нового уплотнения деталей цилиндропоршневой группы судового ДВС / Ю. И. Матвеев, С. Ю. Курицын, С. С. Казаков, Р. Р. Жамалов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2024. – № 2. – С. 48-56. – DOI 10.24143/2073-1574-2024-2-48-56.
10. Повышение эффективности уплотнений деталей цилиндропоршневой группы судовых дизелей / Ю. И. Матвеев, М. Ю. Храмов, В. В. Кольванов, С. Ю. Курицын // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2023. – № 3. – С. 49-55. – DOI 10.24143/2073-1574-2023-3-49-55.
11. Боровский, М.Ю. Патент на полезную модель / В.М. Боровский, Ю.И. Матвеев, М.Ю. Боровский, № 111586 20.12.2011.
12. Матвеев, Ю. И. Стенд для ускоренных испытаний цилиндропоршневой группы, приближённых к реальным условиям / Ю. И. Матвеев, С. С. Казаков, С. Ю. Курицын // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. Серия: Морские технологии. – 2023. – № 2. – С. 89-96.
13. Леонтьев, Л. Б. Особенности изнашивания втулок цилиндров судовых среднеоборотных дизелей / Л. Б. Леонтьев, А. В. Погодаев, В. П. Болотова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 6. – С. 1088-1095. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1088-1095.
14. Матвеев, Ю. И. Повышение работоспособности судовых дизелей в условиях эксплуатации / Ю. И. Матвеев, М. Ю. Храмов, С. Ю. Курицын // Развитие энергетики водного транспорта, информационных и энергосберегающих технологий : сборник материалов I Всероссийской конференции, Астрахань, 12–13 декабря 2023 года. – Астрахань: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. – С. 124-131.

References

1. Bezyukov, O. K. The state and prospects of marine engine building in Russia / O. K. Bezyukov, V. A. Zhukov // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series:

- Marine engineering and Technology. - 2017. – No. 2. – pp. 40-53. – DOI 10.24143/2073-1574-2017-2-40-53.
2. Kondratiev N.N. Failures and defects of marine diesel engines. Moscow: Transport, 1985. 152 p.
 3. Dudareva, N. Y. Hardening of the upper piston grooves of internal combustion engines by spark hardening / N. Y. Dudareva // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. - 2010. – vol. 14, No. 3(38). – pp. 111-115.
 4. Ginzburg B.Ya. Theory of the piston ring / B.Ya. Ginzburg. M: Mashinostroenie, 1979. – 247 p.
 5. Andrusenko, E. I. Elimination of vibration destruction of piston rings of marine diesel engines : specialty 05.08.05 "Marine power plants and their elements (main and auxiliary)" : abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Andrusenko Evgeny Ivanovich ; FGOU VPO VGAVT. – Nizhny Novgorod, 2006. - 17 p.
 6. Matveev, Yu. I. Methods for determining the pressure diagram of piston compression rings of marine diesel engines / Yu. I. Matveev, S. Y. Kuritsyn // Transport. Development Horizons : Proceedings of the 3rd International Scientific and Industrial Forum, Nizhny Novgorod, June 14-16, 2023. Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2023. – p. 17.
 7. Structural materials for internal combustion engine pistons / A. R. Makarov, S. V. Smirnov, S. V. Osokin [et al.] // Izvestiya MGTU MAMI. – 2013. – Vol. 1, No. 1(15). – pp. 118-125.
 8. Alexandrov, V. A. Restoration of aluminum pistons by plasma surfacing / V. A. Alexandrov // Technologies and mechanization of agricultural processes. Yekaterinburg : Ural State Agrarian University, 2000, pp. 226-228.
 9. Bench tests of a new sealing of parts of the cylinder piston group of a marine internal combustion engine / Yu. I. Matveev, S. Y. Kuritsyn, S. S. Kazakov, R. R. Zhamalov // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and Technology. - 2024. – No. 2. – pp. 48-56. – DOI 10.24143/2073-1574-2024-2-48-56.
 10. Improving the sealing efficiency of parts of the cylinder piston group of marine diesel engines / Yu. I. Matveev, M. Y. Khramov, V. V. Kolyvanov, S. Y. Kuritsyn // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and Technology. - 2023. – No. 3. – pp. 49-55. – DOI 10.24143/2073-1574-2023-3-49-55.
 11. Borovsky, M.Yu. Patent for a utility model / V.M. Borovsky, Yu.I. Matveev, M.Yu. Borovsky, No. 111586 12/20/2011.
 12. Matveev, Yu. I. Stand for accelerated tests of a cylinder piston group close to real conditions / Yu. I. Matveev, S. S. Kazakov, S. Y. Kuritsyn // Bulletin of the Kerch State Marine Technological University. Series: Marine Technologies. - 2023. – No. 2. – pp. 89-96.
 13. Leontiev, L. B. Features of wear of cylinder bushings of marine medium-speed diesel engines / L. B. Leontiev, A.V. Pogodaev, V. P. Bolotova // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet. - 2019. – Vol. 11, No. 6. – pp. 1088-1095. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1088-1095.
 14. Matveev, Yu. I. Improving the efficiency of marine diesel engines in operating conditions / Yu. I. Matveev, M. Yu. Khramov, S. Yu. Kuritsyn // Development of water transport energy, information and energy-saving technologies : collection of materials of the I All-Russian Conference, Astrakhan, December 12-13, 2023. – Astrakhan: Volga State University of Water Transport, 2023. – pp. 124-131.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Курицын Сергей Юрьевич, ассистент кафедры ЭСЭУ (Эксплуатации судовых энергетических установок) Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, Ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: KuritsynnSergey@yandex.ru

Sergey Y. Kuritsyn, assistant of the Department of ESEU (Operation of Ship power plants) Volga State University of Water Transport, 603951, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: KuritsynnSergey@yandex.ru

Матвеев Юрий Иванович, д.т.н.,
профессор, заведующий кафедрой
Эксплуатации судовых энергетических
установок, Волжский государственный
университет водного транспорта» (ФГБОУ
ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород,
ул. Нестерова, 5, e-mail:
matveeveseu@mail.ru

Yuri I. Matveev, Doctor of Technical Sciences,
Professor, Volga State University of Water
Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod,
603951, e-mail: matveeveseu@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13.01.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 13.01.2025; published online 20.03.2025.

УДК 378.147.026.7:621.3:004

DOI: 10.37890/jwt.vi82.580

Виртуальный тренажерный комплекс главной энергетической установки судна с винто-рулевой колонкой

С.В. Попов

ORCID: 0009-0004-5274-2783

Ю.С. Малышев

ORCID: 0000-0001-9008-1198

О.А. Бурмакин

ORCID: 0009-0003-4405-7674

Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Рассмотрены современные технологии обучения в условиях ограниченной возможности применения оборудования, имеющего значительные массогабаритные, энергетические и стоимостные показатели. Подтверждена целесообразность применения в образовательном процессе тренажера на основе VR/AR-технологий и имитационного моделирования. Разработан виртуальный тренажерный комплекс судовой энергетической установки на базе морского пассажирского судна, имеющего два винто-рулевых комплекса. Разработаны структура и состав системы генерирования и распределения электроэнергии по судовым потребителям. Спроектирован внешний вид судна, машинного отделения, главных дизель-генераторов и другого технологического оборудования. Реализованы алгоритмы введения в действие систем, обеспечивающих работу дизель-генераторов, а также алгоритм запуска и остановки первичного двигателя. Обеспечено интерактивное воздействие на органы управления судовым оборудованием. Визуализированы работа устройств и вращение валов дизель-генераторного агрегата. Смоделирована поэлементная конструкция высоковольтного синхронного генератора и реализована возможность тестирования обучающихся. Описаны основные направления развития, предложенного виртуального тренажерного комплекса. Показана целесообразность использования тренажерного комплекса в учебном процессе для подготовки квалифицированных кадров.

Ключевые слова: тренажерный комплекс, судовая электроэнергетическая система, VR/AR-технология, виртуальный тренажер, имитационная модель, дизель-генераторный агрегат.

Virtual training complex of the ship's main power plant with a helical steering column

Sergey V. Popov

ORCID: 0009-0004-5274-2783

Yurii S. Malyshev

ORCID: 0000-0001-9008-1198

Oleg A. Burmakin

ORCID: 0009-0003-4405-7674

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article considers modern training technologies in conditions of limited possibility of using equipment with significant weight, size, energy and cost indicators. The expediency of using a simulator based on VR/AR technologies and simulation modeling in the educational process is confirmed. A virtual training complex for a marine power plant has been developed based on a marine passenger vessel with two propeller-steering systems. The

structure and composition of the power generation and distribution system for ship consumers have been developed. The exterior of the vessel, engine room, main diesel generators and other technological equipment were designed. Algorithms for putting into operation the systems that ensure the operation of diesel generators and the algorithm for starting and stopping the prime mover have been implemented. Interactive impact on the controls of ship equipment has been provided. The operation of the devices and the rotation of the shafts of the diesel generator unit are visualized. The element-by-element design of a high-voltage synchronous generator has been modeled and the possibility of testing students has been implemented. The main directions of development of the proposed virtual simulator complex are described. The expediency of using the training complex in the educational process for training qualified personnel is shown.

Keywords: training complex, ship electric power system, VR/AR technology, virtual simulator, simulation model, diesel generator unit.

Введение

Современные технологии, такие как компьютерное моделирование, среда виртуальной и дополненной реальности все чаще занимают место в процессах обучения и подготовки квалифицированных кадров, курсах повышения квалификации и др., при невозможности обеспечения учебных лабораторий промышленным оборудованием, имеющим существенные массогабаритные и стоимостные показатели [1-4]. Известно, что восприятие информации, имеющей детальной визуализацию, происходит с более высокой эффективностью. Возможности тренажерных комплексов оказывают влияние на качество подготовки, при анализе сложившихся нештатных ситуаций, аварийных режимов работы оборудования, влияющих на живучесть судна и безопасность командного состава.

Методы

Разработанный тренажерный комплекс главной энергетической установки судна использует технологию виртуальной реальности, поэтому позволяет создать графические модели помещений судна, установленного в них оборудования, а также устройств, которые могут находиться и вне корпуса судна, например, винто-рулевые колонки (ВРК). За основу разрабатываемой 3D модели было выбрано пассажирское судно водоизмещением 30 тыс.т с двумя ВРК в кормовой части судна и двумя тоннелями подруливающего устройства в носовой. На указанном судне главная энергетическая система используется для вращения дизель генераторов питающих гребную электрическую установку, что может рассматриваться как единая электроэнергетическая система.

План судна, смоделированного в тренажере, с примерным расположением технических помещений, относящихся к электроэнергетической системе, показан на рис. 1.

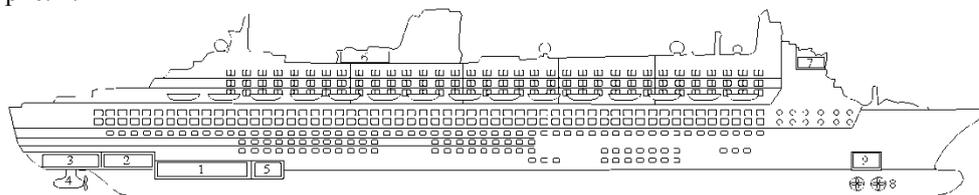


Рис. 1. Внешний вид судна с техническими помещениями

1 – машинное отделение (МО), 2 – отделение главного распределительного щита (ГРЩ) и щитов электродвижения (ЩЭД), 3 – румпельное отделение (РО), 4 – винто-рулевая колонка (ВРК); 5 – помещение центрального поста управления (ЦПУ), 6 – отделение аварийной электростанции, 7 – рулевая рубка (РР) (пульт управления судоводителя (СПУ)), 8 – подруливающее устройство (ПУ), 9 – отделение щитов управления ПУ.

Однолинейная схема единой судовой электроэнергетической системы (ЕСЭС), выполняющей генерирование и распределение электроэнергии между судовыми потребителями, показана на рис. 2. Электростанция состоит из четырех дизель-генераторных (ДГ) агрегатов мощностью 3,5 МВт. Каждый генератор G1-G4 подключен к шинам главного распределительного щита (ГРЩ) через автоматические выключатели Q1-Q4, установленные в отдельных секциях. При этом генераторы G1 и G2 подключены через выключатели Q1 и Q2 к группе сборных шин I, а генераторы G3 и G4 через выключатели Q3 и Q4 к группе сборных шин II. Секционный выключатель Q5, установленный в секции №3, выполняет функцию объединения сборных шин обеих групп. Автоматический выключатель Q5 может быть включен для повышения запаса мощности на объединенных шинах ГРЩ при параллельной работе генераторов, работающих на шины группы I и группы II. При работе электростанции в раздельном режиме, когда Q5 разомкнут, потребители получают электроэнергию только от тех источников, которые работают на питающие шины своей группы. В таком режиме генераторы могут работать попарно параллельно – G1 с G2 и G3 с G4. Следует отметить, что включение Q5 без синхронизации возможно только при отсутствии напряжения на одной из групп сборных шин. В противном случае, для включения Q5 необходимо выполнять процедуру синхронизации [5,6].

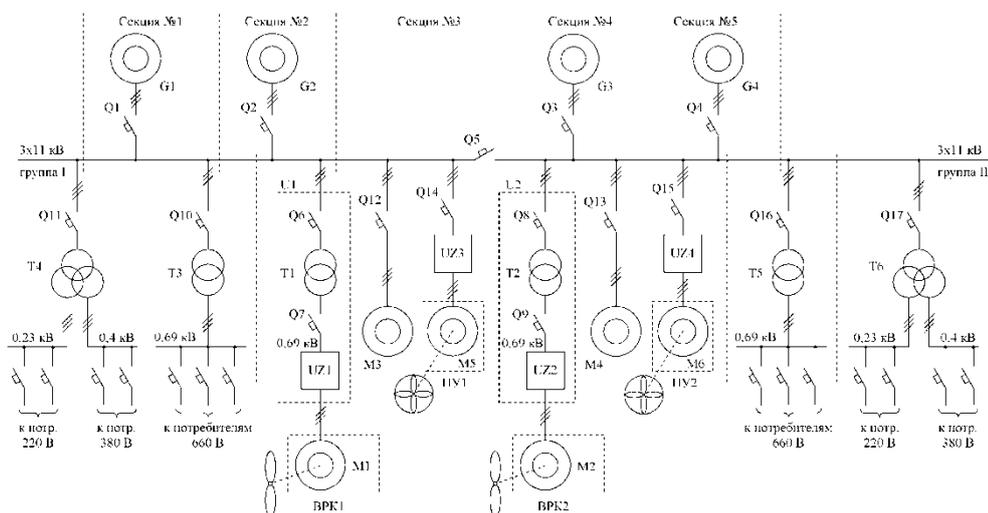


Рис. 2. Однолинейная схема единой судовой электроэнергетической системы

Электродвигатели M1 и M2 ВРК получают питание от преобразователей UZ1 и UZ2, которые подключены через защитные автоматические выключатели Q6 и Q8 к шинам ГРЩ группы I и группы II, соответственно. Для согласования напряжений питания с напряжением питания электродвигателей в преобразователях установлены понижающие трансформаторы T1 и T2 - 11 кВ / 0,69 кВ. Для защиты вторичных обмоток T1 и T2 от коротких замыканий установлены автоматические выключатели Q7 и Q9. Преобразователи частоты UZ1 и UZ2 обеспечивают регулирование величины и частоты напряжения [7-9] в диапазоне 0÷0,69 кВ при 0÷60 Гц. Задание на изменение выходных параметров напряжения преобразователей UZ1 и UZ2 поступает от пульта управления для регулирования скорости вращения винтов ВРК.

Подключение электродвигателей M3 и M4 компрессоров к шинам ГРЩ выполняется автоматическими выключателями Q12 и Q13.

Управление скоростью вращения винтов ПУ выполняется регулированием параметров напряжения питания электродвигателей M5 и M6, за счет

преобразователей частоты UZ3 и UZ4, подключенных к шинам ГРЩ через автоматические выключатели Q14 и Q15. Сигналы управления преобразователями UZ3 и UZ4 поступают от пульта судовождения, либо пульта механика.

Питание потребителей напряжением 230 и 400 В осуществляется через установленные в распределительных секциях ГРЩ понижающие трансформаторы Т3-Т6, имеющие по две вторичные обмотки с напряжением 230 и 400 В соответственно. Каждый трансформатор имеет защитный автоматический выключатель, установленный в первичной обмотке. Вторичные обмотки Т3-Т6 подключаются к собственной группе шин, имеющие определенный набор потребителей. Каждый отходящий фидер имеет свой защитный автоматический выключатель.

Результаты

Машинное отделение имеет два помещения, расположенные по левому и правому бортам. На рис. 3 показано помещение МО левого борта, где расположены два дизель-генератора мощностью 3,5 МВт каждый и дополнительное оборудование для обеспечения работы ДГ: компрессор, баллоны высокого давления, насосы и др. Управление запуском и остановкой ДГ выполняется от местного пульта управления (МПУ) или дистанционно с пульта судоводителя (ДПУ).

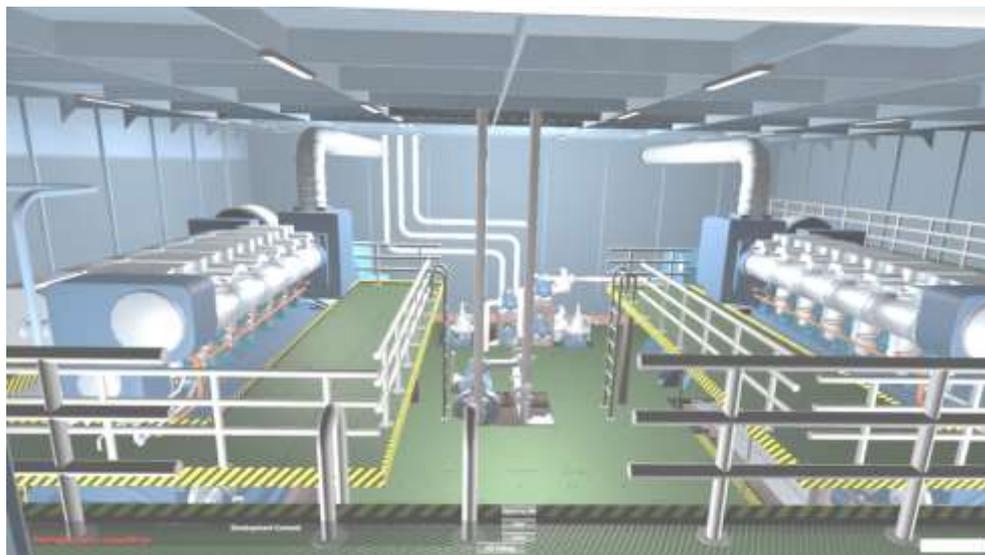


Рис. 3. Внешний вид машинного отделения

В настоящий момент реализована возможность запуска дизеля по штатному алгоритму, регулирование его скорости вращения и остановка при достижении контролируемых параметров предельно-допустимых значений. На рис. 4 показана блок-схема алгоритма запуска и остановки дизеля.

Для штатной работы дизеля необходима работа вспомогательных систем для обеспечения охлаждения двигателя, смазки элементов двигателя и подачи топлива [6, 10-12]. Пуск дизеля выполняется за счет подачи в цилиндры воздуха высокого давления, который закачивается компрессором в баллоны. Для поддержания необходимого давления включается система автоматического контроля величины давления, которая управляет электроприводом компрессора. Алгоритмы работы систем отражены в виде блок-схем на рисунках 5 и 7.

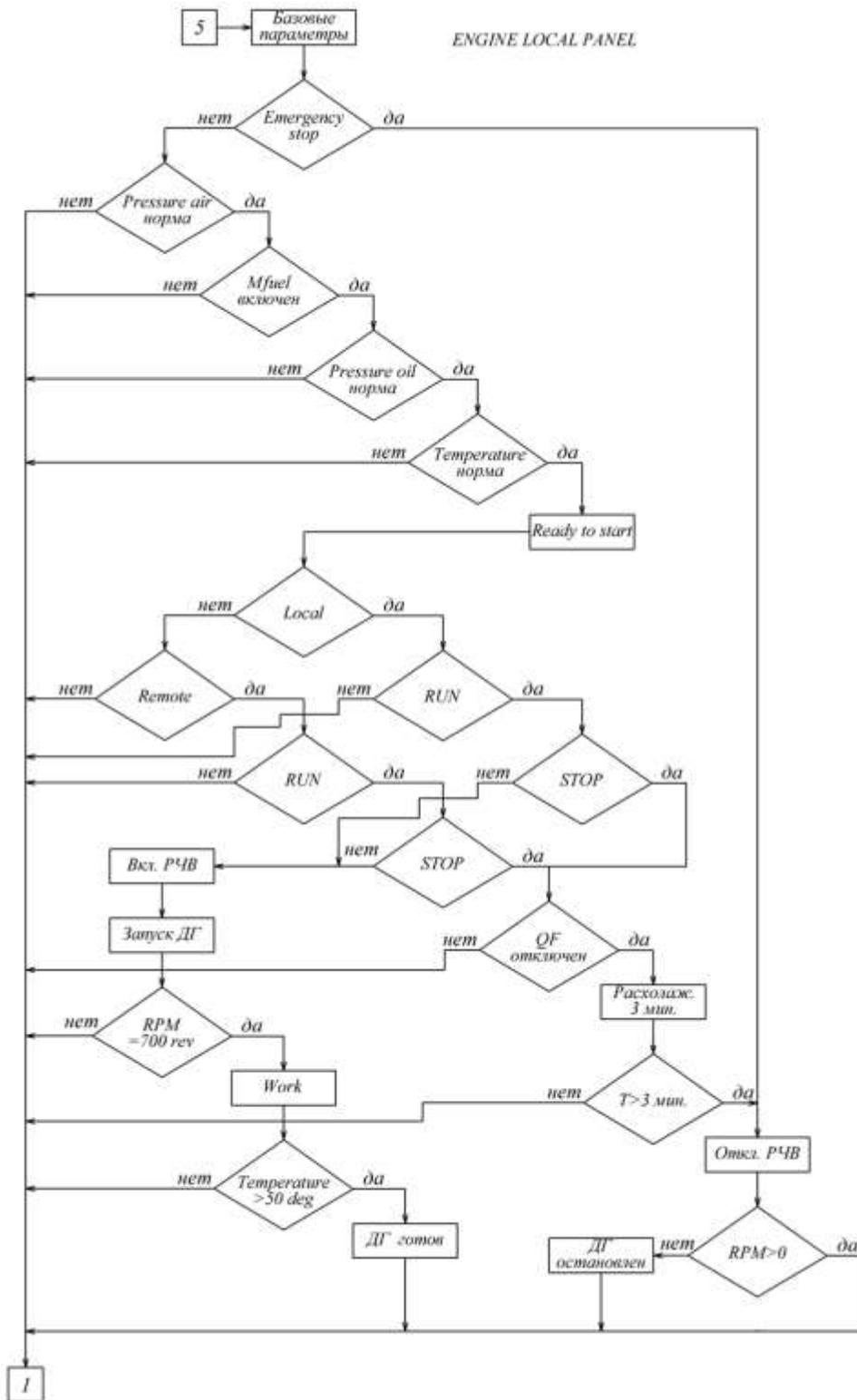


Рис. 4. Блок-схема алгоритма запуска и остановки двигателя

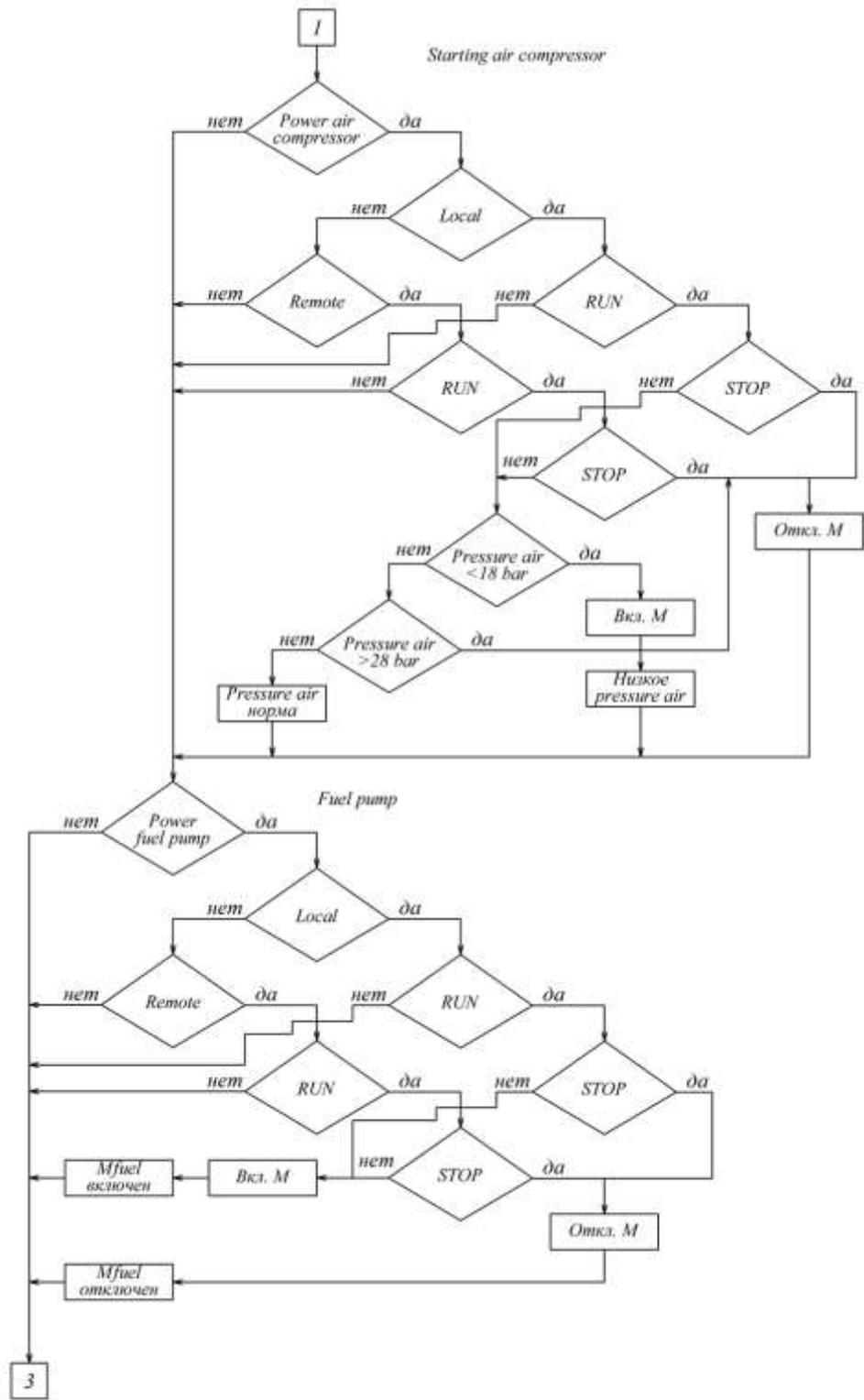


Рис. 5. Блок-схема алгоритма работы систем подготовки воздуха высокого давления и подачи топлива

На рис. 6, а показан внешний вид панели пульта управления компрессором. Выбор пульта управления выполняется переключателем, имеющим положения «LOCAL» - местное управления и «REMOTE» - дистанционное управление.

Для пуска электродвигателя компрессора с местного пульта необходимо подать силовое питание поворотом выключателя «POWER» при этом включается лампа «SUPPLY» и нажатием на кнопку «RUN». После успешного запуска компрессора засвечивается лампа «RUN». Стрелка амперметра будет показывать значение потребляемого электродвигателем электрического тока. В случае необходимости отключения компрессора нужно нажать на кнопку «STOP». Основной режим работы компрессора – автоматический, когда при достижении установленного уровня давления электродвигатель компрессора отключается. В автоматическом режиме выполняется поддержание давления в пределах 18-28 bar.

Следует отметить, что панели управления другими приводами имеют схожий внешний вид и набор органов управления и индикации.

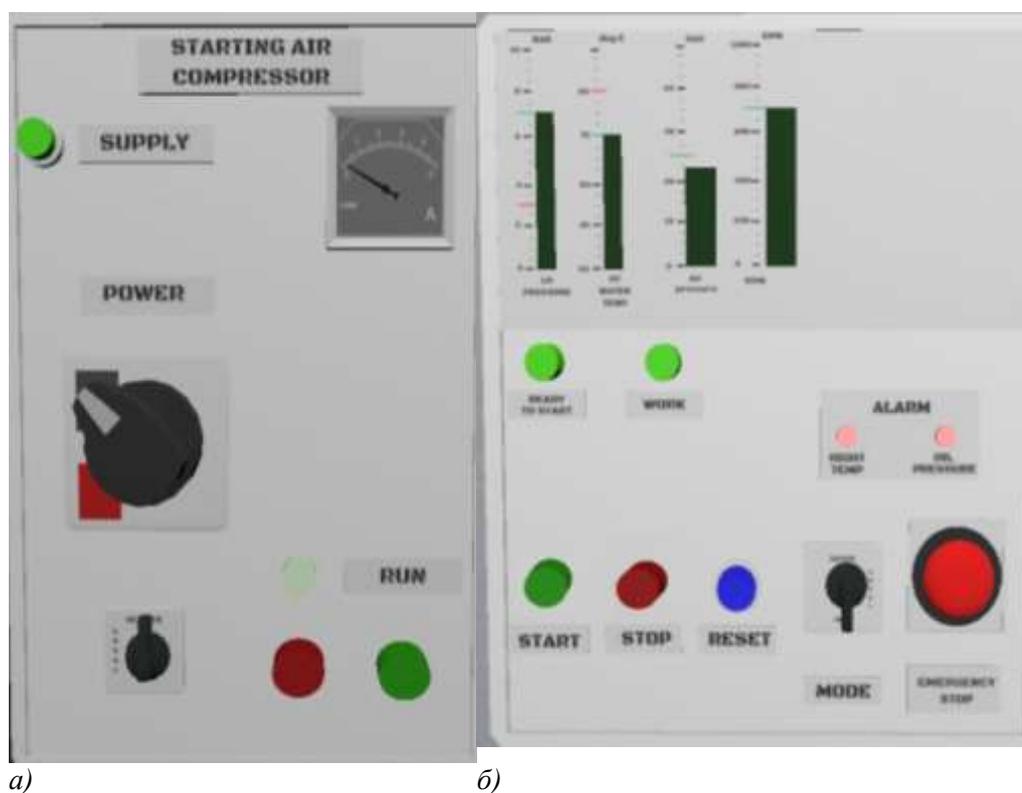


Рис. 6. Местный пульт управления: а) компрессором, б) двигателем

На лицевой панели пульта управления двигателем (см. рис. 6, б) установлен переключатель выбора поста управления «MODE», имеющий три положения: «LOCAL» - местное, «BLOCK» - заблокировано, «REM» - дистанционный. Также на панели расположены: лампа готовности двигателя к пуску «READY TO START», лампа состояния дизеля «WORK», лампы аварийного предупреждения повышенной температуры охлаждающей жидкости «HIGH TEMP» и низкого давления масла «OIL PRESSURE», кнопка аварийного останова «EMERGENCY STOP». Также на панели установлены индикаторы контролируемых параметров с отображением рабочих и предельных величин.

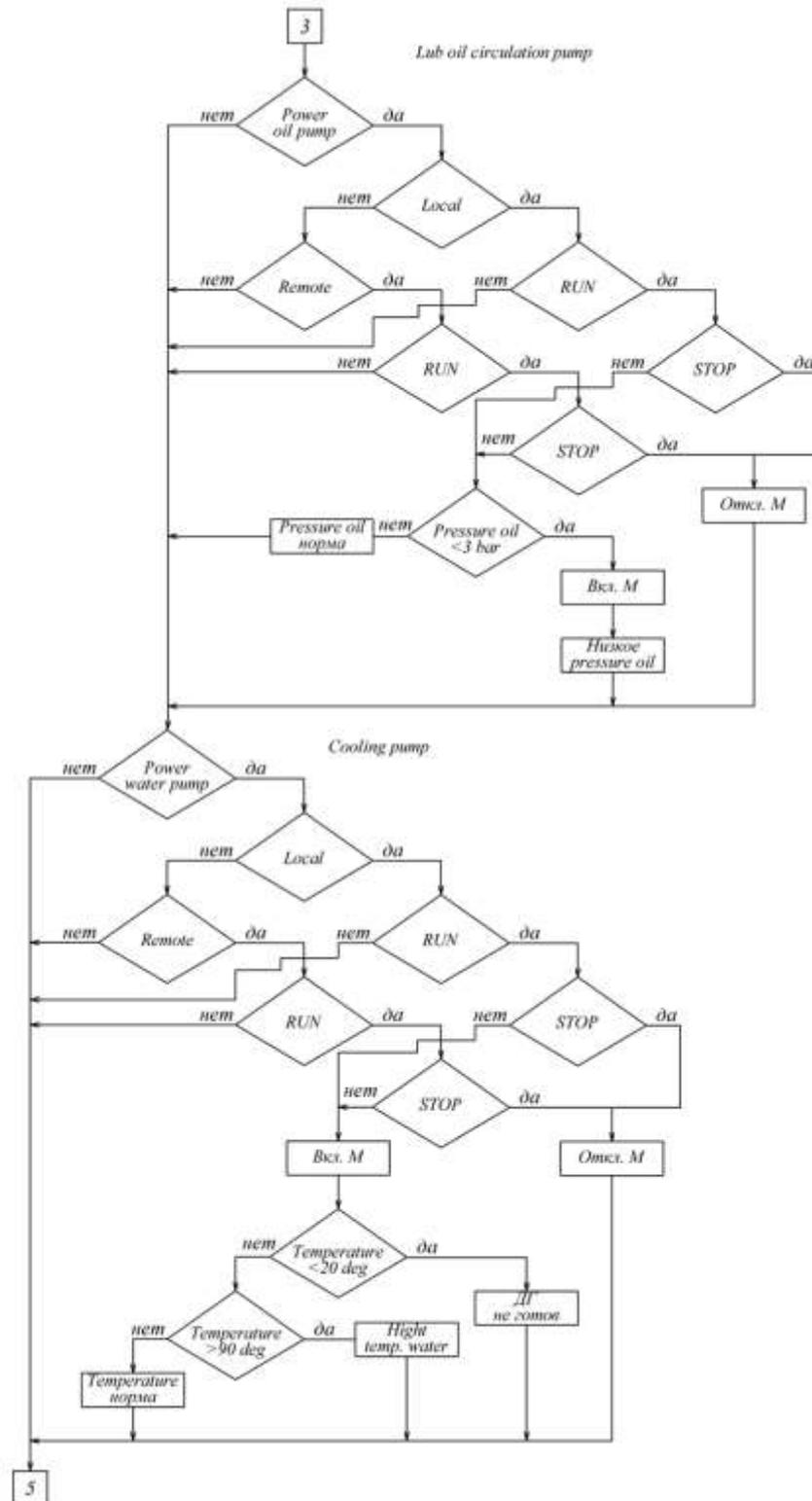


Рис. 7. Блок-схема алгоритмов работы систем подачи масла и воды охлаждения двигателя

В случае выполнения всех необходимых условий для пуска двигателя загорается лампа «READY TO START», что разрешает нажатие на кнопку «START». В ходе пуска на индикаторе «BAR» отображается снижение значения давления воздуха, а по мере разгона на индикаторе «PRM» – скорость вращения. При достижении двигателем установленных оборотов холостого хода засвечивается лампа «WORK», что говорит о готовности ДГ установки к приему нагрузки. Кнопка «RESET» предназначена для квитирования сигнала аварии, вызванного чрезмерным снижением давления или повышением температуры, после устранения ошибки.

Для штатной остановки двигателя необходимо нажать кнопку «STOP», при этом запустится процесс расхолаживания дизель-генератора. Когда двигатель остановится на панели управления погаснет лампа «RUN». После этого отключаются электроприводы вспомогательных систем нажатием на кнопки «STOP» и отключением питания выключателем «POWER» в положение «0».

Для изучения устройства высоковольтного генератора в тренажерном комплексе предусмотрена 3D модель его конструкции. В модель встроено два режима: режим обучения (см. Рис. 8, а) и тестирующий режим (см. Рис. 8, б) с участием преподавателя.



а)



б)

Рис. 8. Сцена виртуальной модели. Внешний вид элементов разобранного высоковольтного синхронного генератора: а) режим обучения, б) режим теста

Обсуждение

Исходя из возможностей тренажера, он может быть использован для:

- ознакомления с устройством судна, основными техническими помещениями, оборудованием машинного отделения и формирования навыков ориентирования по судну;
- изучения состава электрооборудования, входящего в ЕСЭС;
- изучения конструкции силовых электрических машин и назначения оборудования технических помещений судна;
- ознакомления с вспомогательными системами дизель-генераторной установки и их принципом действия;
- изучения и усвоения алгоритма управления пуском/остановом судового дизельного двигателя.

Заключение

Предложенный виртуальный тренажерный комплекс судовой единой электроэнергетической системы внедрен в учебный процесс для студентов очной и заочной форм обучения с целью изучения различных режимов работы силовых агрегатов и системы управления морского судна.

Список литературы

1. Молочков В.Я., Компьютерный тренажер судовой электростанции / Молочков В.Я., Молочкова И.Д. // Научные труды дальрыбвтуза. Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. – 2009. – № 21. – С: 223-227.
2. Хватов, О.С. Управление работой виртуальной судовой электроэнергетической системы морского теплохода; метод. указания для студ.очн. обучения спец.180404; Бурмакин, О.А., Гусакова, Т.Н., Малышев, Ю.С., Хватов, О.С. - Н.Новгород, Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2010. – 105 с.
3. Григорьев А. В. Разработка научно-образовательного лабораторно-тренажерного комплекса судовых систем электродвижения и гребных электрических установок нового поколения / Григорьев А. В., Зайнуллин Р. Р., Малышев С. М. Вестник ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 4 (38) – С. 203-210. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-203-210.
4. Гребные электрические установки в составе электроэнергетической системы судна. Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ в среде виртуальной и дополненной реальности по курсу «Гребные электрические установки»/ сост. – С.В. Попов, Ю.С. Малышев, О.С. Хватов – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2022. – 39 с.
5. Егоров Л. Е. Компьютерное моделирование единой высоковольтной судовой электроэнергетической системы с пропульсивными комплексами типа Azipod в нормальных и аварийных режимах работы: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Л. Е. Егоров. — СПб.: ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2014. — 183 с.
6. Сугаков, В.Г.; Системы автоматического регулирования параметров электрической энергии судовых электростанций; учеб.пособие; Сугаков, В.Г. Хватов, О.С. - Н.Новгород, <http://94.100.87.24:8080/marcweb/>.
7. Wei T. Experimental Evaluation of IGCT Converters with reduced di/dt limiting inductance / T. Wei, Q. Song, J. Li, B. Zhao, Z. Chen, R. Zeng // 2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). — IEEE, 2018. — Pp. 1710-1716. DOI: 10.1109/APEC.2018.8341248.
8. Nagel A. Characterization of IGCTs for series connected operation / A. Nagel, S. Bernet, T. Bruckner, P. K. Steimer, O. Apeldoorn // Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference. 35th IAS Annual Meeting and World Conference on Industrial Applications of Electrical Energy. — IEEE, 2000. — Vol. 3. — Pp. 1923-1929. DOI: 10.1109/IAS.2000.882141.
9. Линдер С. Силовые полупроводниковые приборы. В центре тихой революции / С. Линдер. — ABB Review 4, 2003. — 29 с.
10. Wilflinger J. Simulation and control design of hybrid propulsions in boats / J. Wilflinger, P. Ortner, L. Del Re, M. Aschaber // IFAC Proceedings Volumes. — 2010. — Vol. 43. — Is. 20. — Pp. 40-45. DOI: 10.3182/20100915-3-DE-3008.00001.
11. Дарьенков А. Б. Гребные электрические установки / А. Б. Дарьенков, В. Г. Титов, Г. М. Мирясов. — Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. П. Е. Алексеева, 2014. — 151 с.
12. Соловьёв, А. В., & Поселенов, Е. Н. (2021). Обзор современных систем управления двигателями внутреннего сгорания. Научные проблемы водного транспорта, (67), 42-52. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi67.192>.

References

1. Molochkov V.YA., Komp'yuternyi trenazher sudovoi ehlektrostantsii [Computer simulator of ship power plant] / Molochkov V.YA., Molochkova I.D. // Nauchnye trudy dal'rybvтуza. Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybokhozyaistvennyi universitet. – 2009. – № 21. – pp. 223-227. (in Russ.)
2. Khvatov, O.S. Upravlenie rabotoi virtual'noi sudovoi ehlektroenergeticheskoi sistemy morskogo teplokhoda [Management of the operation of a virtual ship's electric power system of a sea vessel]; metod. ukazaniya dlya stud.ochn. obucheniya spets.180404; Burmakin, O.A., Gusakova, T.N., Malyshev, YU.S., Khvatov, O.S. - N.Novgorod, Izd-vo FGOU VPO «VGAVT», 2010. – 105 p. (in Russ.)
3. Grigor'ev A. V. Razrabotka nauchno-obrazovatel'nogo laboratorno-trenazhernogo kompleksa sudovykh sistem ehlektrodvizeniya i grebnykh ehlektricheskikh ustanovok

- novogo pokoleniya [Designing of scientific-educational laboratory-training complex of ship electric propulsion systems and electric propulsion plants of new generation] / Grigor'ev A. V., Zainullin R. R., Malyshev S. M. Vestnik GUMRF im. admirala S. O. Makarova. – 2016. – № 4 (38) – pp. 203-210. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-203-210
4. Grebnye ehlektricheskie ustanovki v sostave ehlektroenergeticheskoi sistemy sudna [Propelling electric installations as part of the vessel's electrical power system] / Uchebno-metodicheskoe posobie dlya vypolneniya laboratornykh rabot v srede virtual'noi i dopolnnoi real'nosti po kursu «Grebnye ehlektricheskie ustanovki» [A teaching aid for performing laboratory work in the virtual and augmented reality environment on the course "Rowing Electric Installations"] / sost. – S.V. Popov, YU.S. Malyshev, O.S. Khvatov – N. Novgorod: FGBOU VO «VGUVT», 2022. – 39 p. (in Russ.)
 5. Egorov, L. E. Komp'yuternoe modelirovanie edinoi vysokovol'tnoi sudovoi elektro-energeticheskoi sistemy s propul'sivnymi kompleksami tipa Azipod v normal'nykh i avariinykh rezhimakh raboty. PhD diss. SPb.: FGBOU VO «GUMRF im. admirala S.O. Makarova», 2014. – 183 p.
 6. Sugakov, V.G.; Sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya parametrov ehlektricheskoi ehnergii sudovykh ehlektrostantsii [Systems of automatic regulation of electrical energy parameters of ship power plants]; ucheb.posobie; Sugakov, V.G. Khvatov, O.S. - N.Novgorod, <http://94.100.87.24:8080/marcweb/>. (in Russ.)
 7. Wei T. Experimental Evaluation of IGCT Converters with reduced di/dt limiting inductance / T. Wei, Q. Song, J. Li, B. Zhao, Z. Chen, R. Zeng // 2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). — IEEE, 2018. — Pp. 1710-1716. DOI: 10.1109/APEC.2018.8341248.
 8. Nagel A. Characterization of IGCTs for series connected operation / A. Nagel, S. Bernet, T. Bruckner, P. K. Steimer, O. Apeldoorn // Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference. 35th IAS Annual Meeting and World Conference on Industrial Applications of Electrical Energy. — IEEE, 2000. — Vol. 3. — Pp. 1923-1929. DOI: 10.1109/IAS.2000.882141.
 9. Linder, S. Silovye poluprovodnikovyye pribory. Chast pervaya: osnovnye svedeniya i oblast primeneniya. ABB Review 4, 2006. – 29 p/
 10. Wilflinger J. Simulation and control design of hybrid propulsions in boats / J. Wilflinger, P. Ortner, L. Del Re, M. Aschaber // IFAC Proceedings Volumes. — 2010. — Vol. 43. — Is. 20. — Pp. 40-45. DOI: 10.3182/20100915-3-DE-3008.00001.
 11. Dar'enkov, A. B., G. M. Miryasov, V. G. Titov, M. N. Okhotnikov, and D. V. Umyarov. Grebnye ehlektricheskie ustanovki [Electric Propelling Units]. Nizhnii Novgorod: Nizhegorodskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. R.E. Alekseeva, 2014. – 151 p. (in Russ.)
 12. Solov'yov, A. V., & Poselenov, Ye. N. (2021). Obzor sovremennykh sistem upravleniya dvigatelyami vnutrennego sgoraniya [Overview of modern control systems for internal combustion]. Nauchnyye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], (67), 42-52. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi67.192>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Попов Сергей Васильевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: Popovsev3@ya.ru

Малышев Юрий Сергеевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: elektrikasp@mail.ru

Sergey V. Popov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: Popovsev3@ya.ru

Yuriy S. Malyshev, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: elektrikasp@mail.ru

Бурмакин Олег Анатольевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: boa_71@mail.ru

Oleg A. Burmakin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: boa_71@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 11.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 629.5

DOI:10.37890/jwt.vi82.563

Разработка экспериментальной установки для моделирования одноконтурной системы охлаждения судового дизеля

С. Слиман¹

А. Саламех²

ORCID: 0000-0003-0949-4652

С. А. Каргин¹

¹*Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия*

²*Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген. ад. Ф. М. Апраксина, г. Астрахань, Россия*

Аннотация. Материал, представленный в данной статье, предназначен для решения задачи о возможности использования одноконтурной системы охлаждения судовых дизелей, установленных на судах прибрежного плавания в районах северных морей нашей страны. В предложенной схеме охлаждения судовых дизелей предлагается отказаться от внешнего контура забортной воды, а отвод теплоты от охлаждающей жидкости производится конвективным способом в окружающий воздух. Рассмотренное месторасположения холодильника позволит также решить проблему с обледенением элементов конструкции в носовой части судна, что обеспечит безопасность эксплуатации в зимний период. Произведено описание основных технических характеристик энергетической установки катера буксирного типа проекта 376, а также рассмотрена схема существующей системы охлаждения данного катера. Разработана установка, имитирующая одноконтурную систему охлаждения, позволяющая на ранних этапах проектирования определить геометрические параметры трубы-холодильника, которая предусмотрена в качестве аппарата для отвода теплоты от охлаждающей жидкости судового дизеля. Указаны назначения составляющих элементов и способы определения характеризующих параметров разработанной установки. Данную установку можно использовать для имитации одноконтурной системы охлаждения других типов судов при применении соответствующих параметров составляющих элементов установки. На разработанной установке предлагается провести исследование при различных условиях окружающей среды и с использованием разных типов охлаждающих жидкостей, которые могут отличаться по физическим параметрам.

Ключевые слова: система охлаждения, охлаждающая жидкость, конвекция, теплообмен, проект 376, планширь, палуба, имитационная установка, труба-холодильник.

Development of an experimental installation for modeling a single-circuit marine diesel cooling system

Sawsan Sliman¹

Ali Salamekh²

ORCID: 0000-0003-0949-4652

Sergey A. Kargin¹

¹*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

²*Caspian Institute of Sea and River Transport, Astrakhan, Russia*

Abstract. The material presented in this article is intended to solve the problem of using a single-loop cooling system for ship diesel engines installed on coastal vessels in areas of northern seas in our country. The proposed cooling system scheme suggests abandoning the external contour of ballast water, and heat removal from the coolant is carried out convectively into the surrounding air. Located in the location of the refrigerator will also help

solve the problem of icing of the structural elements in the bow part of the ship, which will ensure safety during winter operation. An overview of the main technical characteristics of the power plant of the tug boat project 376 has been performed, as well as a consideration of the existing cooling system of this catamaran. Developed a setup that simulates a one-loop cooling system, allowing at an early stage of design to determine the geometric parameters of the tubing-cooler, which is provided as an apparatus for removing heat from the cooling liquid of the ship's diesel engine. Designated components and their functions are outlined, along with the methods used to determine the defining parameters of the developed setup. This installation can be used to simulate a one-loop cooling system of other types of ships, using appropriate parameters of the components of the setup. On the setup under development, it is proposed to conduct research under various conditions of the surrounding environment and using different types of cooling liquids that may differ in physical properties.

Keywords: Cooling system, coolant, convection, heat transfer, project 376, deck, hull, simulation setup, tubing-cooler.

Введение

От условий эксплуатации судовых энергетических установок и их механизмов зависит их надежность. Для эффективной работы судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС), необходимо обеспечить постоянное охлаждение их теплонапряженных деталей, к которым можно отнести цилиндропоршневую группу, крышки цилиндров и другие детали.

Традиционно судовые системы охлаждения ДВС выполняют двухконтурными, где внутренний замкнутый контур отвечает за охлаждение теплонапряженных деталей посредством охлаждающей жидкости, выполняющей функцию теплоносителя. Назначение внешнего контура (разомкнутого) заключается в отводе теплоты от внутреннего контура, забранной теплоносителем в судовых теплообменниках. Рабочая жидкость, которая циркулирует во внутреннем контуре, как правило, – это пресная вода, а во внешнем разомкнутом контуре используют забортную воду [1].

В некоторых условиях эксплуатации судов поступление забортной воды во внешний контур через забортные ящики становится затруднительным процессом, даже в некоторых случаях невозможным [2,3]. Это может возникать, например, в связи с засорением кингстонных ящиков, вызываемым загрязнением той акватории, где эксплуатируется судно, или с обледенением забортных ящиков, не предназначенных для эксплуатации в ледовых условиях, или при плавании на мелководье, а также вызываться другими причинами.

В настоящее время широкое применение нашли двухконтурные системы охлаждения с замкнутым внешним контуром [4], в которых отсутствует необходимость забора воды для внешнего контура. Вместо этого вода внешнего контура охлаждается в специальных устройствах, как например обшивочные или бортовые теплообменники, боксулеры и др. [5,6]. Существует также практика использования воды из балластных цистерн в качестве среды для сброса теплоты [7], отводимой от двигателей энергетической установки. Однако, вода, содержащаяся в балластных цистернах, имеет определенную и ограниченную теплоемкость, что при длительной эксплуатации может привести либо к перегреву энергетической установки, либо к необходимости замены воды в балластных цистернах.

Постановка задачи

Авторы в своем исследовании рассматривают возможность отказа от использования забортной воды в качестве среды для сброса отводимой теплоты. При этом отвод теплоты от охлаждающей жидкости внутреннего контура предлагается осуществлять посредством конвективного теплообмена в окружающий воздух.

С этой целью рассматривается вариант проведения вдоль верхней палубы в носовой части корпуса под планширем трубы необходимого диаметра и длины. Данная труба будет выполнять функцию водо-воздушного теплообменника (холодильника). Охлаждающая вода после охлаждения деталей СДВС с помощью циркуляционного насоса поступает в один конец трубы-холодильника, при прохождении по которой происходит отвод теплоты и из другого конца этой трубы охлажденная вода поступает обратно в двигатель.

Описанный способ охлаждения предлагается использовать на судах прибрежного плавания типа буксиров в северной части РФ, где средняя годовая температура ниже нуля.

В условиях северных морей, где в основном температура ниже температуры нормальных условий (ниже 20 °С), эффективность предложенного варианта охлаждения деталей СДВС достигается за счет правильного расчета площади теплообменника и возможности его размещения в носовой части верхней палубы под планширем.

Теплообменник предлагается размещать между планширем и настилом верхней палубы, где внешней стенкой теплообменника будет являться фальшборт судна по периметру носовой части. Размещение теплообменника предлагаемым образом позволит также предотвращать обледенение верхней палубы, что улучшит мореходные характеристики судна в зимний период и повысит безопасность плавания.

Цель работы

Целью данной части исследования является создание экспериментальной установки, моделирующей процесс отвода теплоты от охлаждающей жидкости СДВС естественной конвекцией. Установка позволит оценить эффективность процесса охлаждения в зависимости от температуры окружающей среды и от площади теплообменника.

Материалы для исследования

В данной статье рассматривается создание экспериментальной установки, моделирующей одноконтурную систему охлаждения на примере судна проекта 375 типа «Ярославец» (рис. 1).

Выбор данного судна обусловлен физической возможностью коллектива для проведения в дальнейшем натурных испытаний предлагаемой схемы системы охлаждения. Рассматриваемое в качестве объекта для проведения натурных испытаний судно проекта 376 типа «Ярославец», доступное авторам для проведения исследования, претерпело модернизацию, в ходе которой в качестве главного двигателя был установлен дизель марки ЯМЗ-238М2.

Судно проекта 376 типа «Ярославец» [8] – это одновинтовой малый буксир, предназначенный для буксировки малых судов и перевозки в трюме 10 ÷ 15 тонн груза. По архитектурно-конструктивному типу, судно имеет седловатую палубу с ходовой рубкой и надстройкой на верхней палубе. Грузовой трюм и машинное отделение располагаются в корме.

Установленный на судне главный двигатель является V-образным четырёхтактным восьмицилиндровым дизелем.

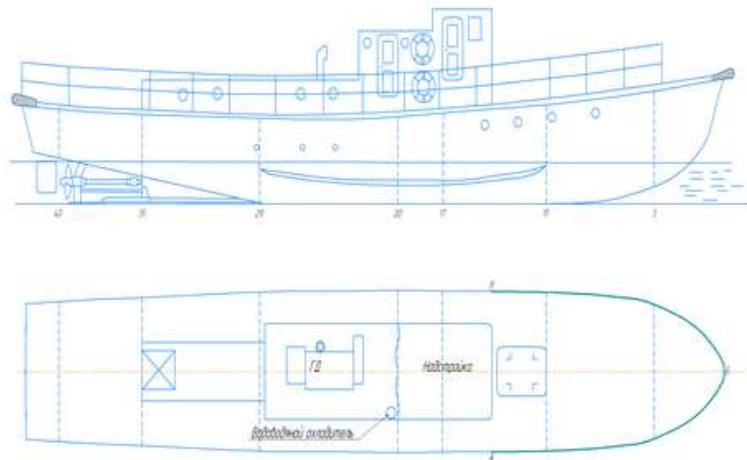


Рис. 1. Общий вид судна проекта 376 типа «Ярославец»

Основные технические характеристики судна:

Длина по палубе, м -----	21
Ширина, м -----	3,98
Высота борта, м -----	2,1
Водоизмещение, т -----	46,9
Осадка средняя, м -----	1,27
Осадка носом, м -----	1,15
Осадка кормой, м -----	1,38
Технические данные главного двигателя [9]:	
Марка главного двигателя- ЯМЗ-238М2	
Мощность главного двигателя, кВт -----	176
Удельный расход топлива, г/кВт·ч -----	227
Диаметр цилиндра, мм -----	130
Ход поршня, мм -----	140
Температура воды на выходе из двигателя -----	90 °С
Температура воды на входе в двигатель -----	75 °С
Объем охлаждающей воды -----	20 л

Система охлаждения главного двигателя двухконтурная, во внутреннем контуре циркулирует охлаждающая жидкость с помощью водяного насоса [10].

Водяной насос центробежного типа повышенной производительности марки 236-1307010-Б1 установлен на передней стенке блока цилиндров и приводится во вращение клиноременной передачей от шкива, установленного на конце коленчатого вала.

В качестве охлаждающей жидкости заводом-изготовителем двигателя рекомендуется использовать в зимний период эксплуатации смеси с низкой температурой замерзания [11]. Например, заводом предлагается использовать этиленгликолевые смеси «40» и «65» согласно ГОСТ 159–52, ОЖ–40 «Лена» и ОЖ–65 «Лена» (ТУ ИЗ-01-02), а также допускается использовать всесезонную жидкость Тосол А–40М или Тосол А–65М (ТУ 6.02.751–86), у которых температура замерзания составляет минус 40 °С и минус 65 °С соответственно.

Далее в статье будет применяться также термин «охлаждающая жидкость».

Отвод теплоты от охлаждающей жидкости в существующей на рассматриваемом судне системе охлаждения производится в забортную воду в теплообменнике,

который располагается со стороны правого борта под верхней палубой в носовой части машинного отделения.

Внешний контур системы охлаждения данного судна является разомкнутым с забором воды из водоема и её выбросом за борт. Установленный на судне насос заборной воды имеет подачу не менее 5 м³/час.

Принципиальная схема существующей на судне системы охлаждения представлена на рис. 2.

Циркуляция пресной воды (охлаждающей жидкости) по внутреннему контуру обеспечивается насосом 2. После охлаждения деталей двигателя она из главного двигателя 1 поступает в терморегулятор 3, который в зависимости от температуры воды направляет воду либо к холодильнику 4, либо по трубопроводу 5 обратно к циркуляционному насосу и далее в двигатель для охлаждения деталей двигателя. Таким образом терморегулятор перераспределяет воду в один из двух маршрутов в зависимости от ее температуры, которая контролируется термометром 6. Система оснащена расширительным баком 8, компенсирующим изменения объема охлаждающей жидкости в зависимости от ее температуры. Образующийся пар после охлаждения двигателя также направляется в расширительный бак 8 по трубопроводу 7. Расширительный бак соединяется с трубопроводом пресной воды (охлаждающей жидкости) посредством трубопровода 9.

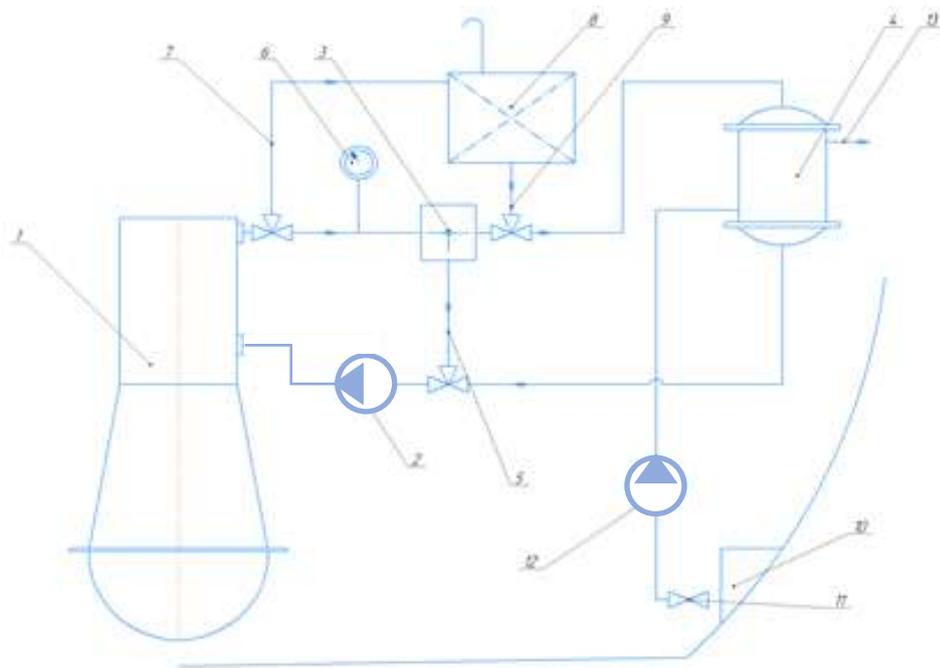


Рис. 2. Система охлаждения судна проекта 376 типа «Ярославец»

Из кингстона 10 через клапан 11 заборная вода подается с помощью насоса 12 в холодильник 4, где происходит охлаждение пресной воды внутреннего контура (охлаждающей жидкости), после чего заборная вода отводится по трубопроводу 13 за борт.

На рис. 3 показана схема предлагаемой авторами одноконтурной системы охлаждения с использованием трубы-холодильника под планширем в носовой части судна в качестве теплообменника для отвода теплоты от охлаждающей жидкости.

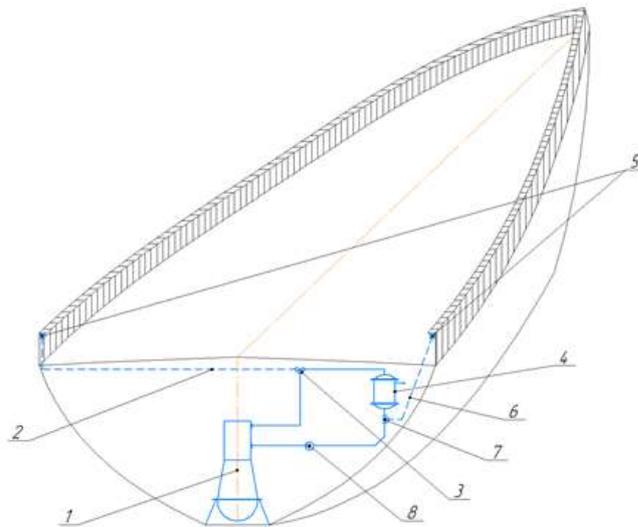


Рис. 3. Предлагаемая одноконтурная система охлаждения судна проекта 376 типа «Ярославец»

После охлаждения главного двигателя 1 пресная вода (охлаждающая жидкость) перенаправляется по трубопроводу 2 трехходовым клапаном 3 в обход существующего теплообменника 4 в трубу-холодильник 5. Прохождение воды по трубе-холодильнику, которая проложена по периметру фальшборта под планширем приводит к выделению теплоты конвективным способом. После этого охлажденная пресная вода (охлаждающая жидкость) поступает по трубопроводу 6 обратно в двигатель. Трехходовой клапан 7 предусмотрен для возможности использования существующего на судне теплообменника 4. Существующий на судне насос 8 обеспечивает циркуляцию воды по предлагаемой системе.

Следует отметить, что подача и напор существующего насоса являются предметом отдельного исследования, которое авторы планируют провести в ходе дальнейшей работы над предлагаемой схемой системы охлаждения.

Методы исследования

Перед проведением натурных испытаний на судне необходимо провести имитационные испытания, имеющие целью выяснение работоспособности предлагаемой схемы.

Для моделирования предлагаемой одноконтурной системы охлаждения, представленной на рис. 3, необходимо выполнить расчеты по определению требуемой подачи циркуляционного насоса и площади охладителя (трубы-холодильника), который выполнен в виде стальной трубы, проложенной под планширем в носовой части корпуса судна.

В качестве охлаждающей жидкости используется незамерзающая жидкости марки Тосол А-65М.

Подача насоса охлаждающей жидкости двигателя определяется по формуле (1) [12,13].

$$Q_{НЖ} = K_3 \cdot \frac{Q_{ТЖ} \cdot 10^{-3}}{c_{ж} \cdot \rho_{ж} \cdot \Delta t_{ж}}, \quad (1)$$

где $K_3 = 1,2 \dots 1,3$ – коэффициент запаса подачи для насоса;

$\Delta t_{ж} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ – разность температур охлаждающей жидкости на входе и выходе из главного двигателя;

$Q_{тж}$ – количество теплоты, отводимой охлаждающей жидкостью от охлаждаемых деталей главного двигателя, которое определяется по формуле (2).

$$Q_{тж} = \alpha \cdot g_e \cdot N_e \cdot Q_H^P \quad (2)$$

В формуле (2) коэффициент $\alpha = 12 \dots 17 \%$ показывает долю теплоты, отводимой охлаждающей жидкостью от общего количества теплоты, выделяемого в результате сгорания топлива в цилиндре главного двигателя;

$Q_H^P = 42700$ кДж/кг – расчетная теплота сгорания топлива;

$c_{ж} = 3,7$ кДж/(кг · К) – теплоемкость охлаждающей жидкости [14];

$\rho_{ж} = 1090$ кг/м³ – плотность охлаждающей жидкости [15];

Площадь охладителя рассчитывается по формуле (3). [16]

$$F_{ох} = \frac{Q_{тж}}{K \cdot (T_{ср.ж} - T_{ср.воз})} \quad (3)$$

где K – коэффициент теплопередачи в системе «жидкость–труба–воздух», Вт / (м² · К).

$T_{ср.ж}$ – средняя температура жидкости, К;

$T_{ср.воз}$ – средняя температура воздуха, К.

Следует отметить, что в качестве планшера на судне проекта 376 типа «Ярославец» установлен уголок равнополочный размером 70 мм, поэтому в качестве трубы-холодильника предполагается устанавливать стальную трубу диаметром 0,076 м длиной 12 м и с толщиной стенки 0,002 м. Таким образом, в зависимости от расчетной площади охладителя, полученной по формуле (3) можно определить общую длину трубы и количество рядов трубы, размещаемой под планшером на судне.

Описание установки

На рис. 4 представлена схема экспериментальной установки, имитирующей предлагаемую одноконтурную схему системы охлаждения. С использованием данной имитационной установки предполагается провести исследования эффективности использования одноконтурной системы охлаждения на примере судна проекта 376 «Ярославец», путем физического моделирования данной системы.

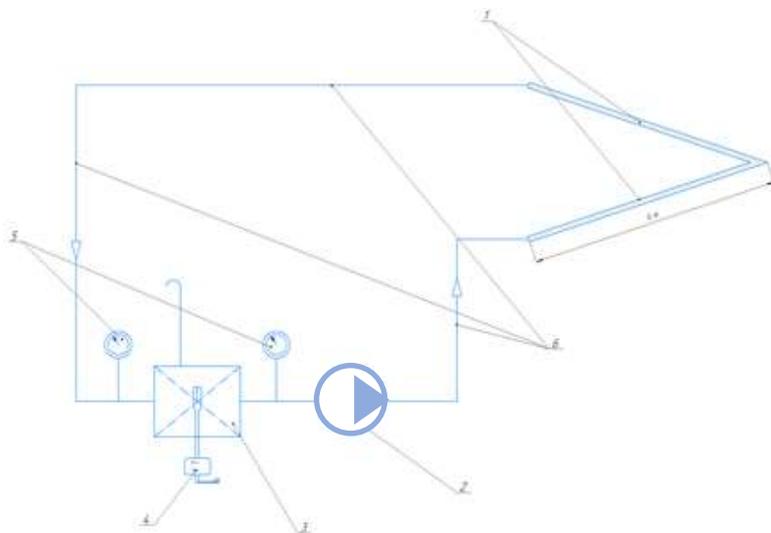


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

- 1 – имитационная труба-холодильник; 2 – циркуляционный насос; 3 – нагревательный бак;
- 4 –электронагреватель с системой терморегулирования; 5 – контрольно-измерительные приборы

Установка включает в себя имитационную трубу-холодильник 1, с помощью которой планируется оценивать эффективность теплообмена при различных условиях окружающей среды. Форма трубы также имитирует форму планширя судна.

Источником теплоты в имитационной установке служит нагревательный бак 3 с электронагревателем 4. Объем нагревательного бака соответствует объему охлаждающей жидкости в двигателе. Нагревательный элемент оснащен терморегулятором, который способен поддерживать максимальную и минимальную температуру как в судовом дизеле. Эти элементы в данной установке имитируют главный двигатель как источник теплоты.

Контрольно-измерительные приборы в составе данной установки должны обеспечивать как минимум измерение температуры и расхода циркулирующей среды на входе и выходе из системы.

Элемент 1 соответствует трубе-холодильнику. В данном случае он имеет длину, равную периметру носовой части судна проекта 376 «Ярославец». Подача насоса 2 определяется исходя из формулы (1), а диаметр труб 6 определяются по существующим на судне трубопроводам системы охлаждения.

В качестве циркулирующей среды в данном исследовании планируется рассмотреть, как воду, так и различные незамерзающие жидкости, так как последние имеют отличные от воды теплоемкость и другие свойства, влияющие на теплообмен.

Посредством теории подобия можно будет распространить результаты, полученные на данной экспериментальной установке на другие типы судов.

В настоящее время установка находится в процессе изготовления, в частности, подобраны составляющие аппараты установки, такие как бак-нагреватель и система терморегуляции, изготовлена имитационная труба-холодильник. Необходимо определить состав контрольно-измерительных приборов, осуществить сборку и наладочные испытания. Далее будет необходимо составить план проведения испытаний и выполнить прочие подготовительные работы, что является для авторов планом дальнейших работ по предлагаемому исследованию.

Заключение

Авторами предложена схема судовой системы охлаждения с отводом теплоты без использования забортной воды, что может быть полезно при работе судов в определенных в статье условиях эксплуатации.

Представленная в данной статье имитационная экспериментальная установка позволяет проводить испытания, имеющие целью определение эффективности применения одноконтурных систем охлаждения на судах прибрежного плавания типа буксиров в условиях северных морей, где средняя годовая температура ниже нуля градусов Цельсия.

Результаты проведенных исследований позволят принимать решение об актуальных параметрах трубы-холодильника, таких как её диаметр и число необходимых рядов таких труб при различных условиях внешней среды, а именно температуре и скорости ветра. Необходимо знать только периметр носовой части планширя.

Следует отметить, что на данной установке можно провести исследования с использованием разных типов теплоносителей, которые могут отличаться по физическим параметрам.

Список литературы

1. Андрущенко Р.С. Судовое вспомогательное энергетическое оборудование // Р.С. Андрущенко, В.Д. Шилов, Б.Г. Деметьев. – Л.: Судостроение, 1991. – 392 с.
2. Абрамова Л. С. Оптимизация инновационных решений в системах охлаждения судовых энергоустановок по показателю экономической эффективности / Л.С.

- Абрамова, К.Ю. Федоровский // Вестн. Севастопол. гос. техн. ун-та. 2001. Вып. 30: Механика, энергетика, экология. Ч. 3: Энергетика. С. 82 – 85.
3. Жуков В.А. Влияние охлаждающей жидкости на характеристики двигателей внутреннего сгорания / В.А. Жуков // Вестник машиностроения. – 2010. – Вып. 12. – С. 58 – 62.
 4. Сердюк О. Отказаться от охлаждения судовых двигателей забортной водой [Текст] / О. Сердюк // Морской флот. – 1991. – № 1. – С. 30.
 5. Федоровский, К.Ю. Замкнутые системы охлаждения судовых энергетических установок / К.Ю. Федоровский, Н.К. Федоровская. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 163 с.
 6. Федоровский, К.Ю., Гриненко, Н.К. Замкнутые системы охлаждения судовых энергоустановок с теплопроводом через судовую обшивку. Научные проблемы водного транспорта. – 2022 (70), 87 – 97.
 7. Александр М.Л. Система охлаждения энергетических установок ледоколов без приема воды из-за борта / М.Л. Александр, В.В. Климов. – Л.: Судостроение. – 1969. – № 1. – С. 31 – 45.
 8. Смирнов Е.Л. Речная справочная книжка корабельного инженера Е.Л. Смирнова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://russrivership.ru/ships/33> (дата обращения 27.10.2024)
 9. 236-3902150-Б РЭ Руководство по эксплуатации двигателя ЯМЗ-236М2 и ЯМЗ-238М2 ОАО «АВТОДИЗЕЛЬ» (Ярославский моторный завод)
 10. Кузнецов В.В. Эксплуатация судовых энергетических установок. Системы охлаждения судовых дизельных энергетических установок: учебное пособие / В.В. Кузнецов, С.В. Максимов, С.И. Толстой. – М.: ИНФРА-М, 2023. - 38 с.
 11. Тимофеев, В.Н. Обоснование выбора теплоносителя для систем жидкостного охлаждения судовых дизелей / В.Н. Тимофеев, О.А. Надеждина // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 100-5. – С. 48 – 52. – DOI 10.18411/trnio-08-2023-228. – EDN JQNAEO.
 12. Голубев Н.В. Основы проектирования судовых энергетических установок [Текст] / Н.В. Голубев, Н.М. Горбунов. – Л.: Судостроение, 1973. – 389 с.
 13. Артемов Г.А. Системы судовых энергетических установок [Текст] / Г.А. Артемов, В.П. Волошин. – Л.: Судостроение, 1980. – 319 с.
 14. ГОСТ 28084–89 Жидкости охлаждающие низкозамерзающие. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 15 с.
 15. Безюков О.К. Охлаждающие жидкости транспортных ДВС / О.К. Безюков, В.А. Жуков. – СПб.: СПГУВК, 2009. – 263 с.
 16. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей: Учебное пособие / А.С. Орлин, В.П. Алексеев – М.: Машиностроение, 1973. – 480 с.

References

1. Andryushchenko R.S. Sudovoe vspomogatel'noe energeticheskoe oborudovanie // R.S. Andryushchenko, V.D. Shilov, B.G. Dement'ev. – Л.: Судостроение, 1991. – 392 с.
2. Abramova L.S. Optimizatsiya innovatsionnykh resheniy v sistemakh okhlazhdeniya sudovykh energoustanovok po pokazatelyu ekonomicheskoy effektivnosti / L.S. Abramova, K.Yu. Fedorovskiy // Vestn. Sevastopol. gos. tekhn. un-ta. 2001. Vyp. 30: Mekhanika, energetika, ekologiya. Ch. 3: Energetika. S. 82–85.
3. Zhukov V.A Vliyaniye okhlazhdayushchey zhidkosti na kharakteristiki dvigateley vnutrennego sgoraniya / V.A. Zhukov // Vestnik mashinostroeniya. – 2010. – Vyp. 12. – S. 58 – 62.
4. Serdyuk O. Otkazat'sya ot okhlazhdeniya sudovykh dvigateley zabortnoy vodoy [Tekst] / O. Serdyuk // Morskoy flot. - 1991. - № 1. - S. 30.
5. Fedorovskiy, K. Yu. Zamknutyie sistemy okhlazhdeniya sudovykh energeticheskikh ustanovok / K. Yu. Fedorovskiy, N. K. Fedorovskaya. – М. : INFRA-M, 2017. – 163 s.
6. Fedorovskiy, K. Yu., & Grinenko, N. K. Zamknutyie sistemy okhlazhdeniya sudovykh energoustanovok s teplootvodom cherez sudovuyu obshivku. Nauchnye problemy vodnogo transporta. - 2022 (70), 87-97.

7. Aleksandr M.L. Sistema okhlazhdeniya energeticheskikh ustanovok ledokolov bez priema vody iz-za borta / M.L. Aleksandr, V.V. Klimov. – L.: Sudostroenie. – 1969. – № 1. – S. 31 – 45.
8. Smirnov E.L. Rechnaya spravochnaya knizhka korabel'nogo inzhenera E.L. Smirnova [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://russrivership.ru/ships/33> (data obrashcheniya 27.10.2024)
9. 236-3902150-B RE Rukovodstvo po ekspluatatsii dvigateli YaMZ-236M2 i YaMZ-238M2 OAO "AVTODIZEL" (Yaroslavskiy motornyy zavod)
10. Kuznetsov V. V. Ekspluatatsiya sudovykh energeticheskikh ustanovok. Sistemy okhlazhdeniya sudovykh dizel'nykh energeticheskikh ustanovok: uchebnoe posobie / V.V. Kuznetsov, S.V. Maksimov, S.I. Tolstoy. –Moskva: INFRA-M, 2023. - 38 s.
11. Timofeev, V. N. Obosnovanie vybora teplonositelya dlya sistem zhidkostnogo okhlazhdeniya sudovykh dizeley / V. N. Timofeev, O. A. Nadezhdina // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2023. – № 100-5. – S. 48-52. – DOI 10.18411/trnio-08-2023-228. – EDN JQHAEO.
12. Golubev N.V. Osnovy proektirovaniya sudovykh energeticheskikh ustanovok [Tekst] / N.V. Golubev, N.M. Gorbunov. - L.: Sudostroenie, 1973. - 389 s.
13. Artemov G.A. Sistemy sudovykh energeticheskikh ustanovok [Tekst] / G.A. Artemov, V.P. Voloshin. - L.: Sudostroenie, 1980. - 319 s.
14. GOST 28084-89 Zhidkosti okhlazhdayushchie nizkozamerzayushchie. Obshchie tekhnicheskie usloviya. – M.: Standartinform, 2007. – 15 s.
15. Bezyukov O.K. Okhlazhdayushchie zhidkosti transportnykh DVS / O.K. Bezyukov, V.A. Zhukov. – SPb.: SPGUVK, 2009. – 263 s.
16. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Sistemy porshnevnykh i kombinirovannykh dvigateley: Uchebnoe posobie / A.S. Orlin, V.P. Alekseev – M.: Mashinostroenie, 1973. – 480 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Слиман Саусан аспирант, аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники», Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16, e-mail: sawsansliman1993@gmail.com

Sawsan Sliman, the postgraduate student of Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering, Astrakhan State Technical University, 16, Tatischev st, Astrakhan, 414056,

Саламех Али, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Судомеханические дисциплины» Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген. адм. Ф. М. Апраксина, филиал ФГБОУ «ВГУВТ» 414000, Астрахань, ул. Никольская, 6, e-mail: a.salameh@mail.ru

Ali Salamekh— Ph.D. (Eng) assistant professor, Head of the Department of «Marine Mechanical Disciplines» Caspian Institute of Maritime and River Transport named after General Admiral F. M. Apraksin, branch "VSUVT" 414000, Astrakhan, Nikolskaya St., 6, e-mail: a.salameh@mail.ru

Каргин Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Общеинженерные дисциплины и наземный транспорт», Астраханский государственный технический университет, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1, e-mail: serjxxx@inbox.ru

Sergey A. Kargin — Ph.D. (Eng), assistant professor, Head of the Department of General Engineering Disciplines and Ground Transportation, Astrakhan technical state university, Tatischeva, 16/1, Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: serjxxx@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 05.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 05.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 621.436: 621.43.052
DOI: 10.37890/jwt.vi82.570

Квазизамкнутая математическая модель переходных режимов комбинированного дизеля и ее численная реализация

Д. В. Тимошенко¹
ORCID: 0009-0005-8410-0707

А. В. Пассар²
ORCID: 0000-0001-6113-0202

¹*Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия*

²*Вычислительный центр ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия*

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме повышения эффективности работы комбинированных дизелей на переходных и неустановившихся режимах. В настоящее время решение данной проблемы направлено на совершенствование системы газотурбинного наддува и проводится с широким использованием численного эксперимента, что подтверждается представленным обзором исследований. В статье рассмотрены основные положения и принципы численной реализации математической модели переходных режимов комбинированного дизеля, отличающейся расширенным математическим описанием термогазодинамических процессов в проточных частях радиально-осевой турбины и центробежного компрессора агрегата наддува, а также учитывающей волновой характер процессов в выпускном трубопроводе системы газотурбинного наддува. Центральными особенностями предлагаемой модели являются расчет тепловыделения в цилиндре в нуль-мерном приближении с учетом неполноты сгорания топлива при низких значениях коэффициента избытка воздуха, расчет процессов в неразветвленном выпускном трубопроводе в одномерном нестационарном приближении с использованием метода характеристик и граничными условиями у турбины, учитывающими переменность ее расходных и энергетических характеристик, непосредственный расчет характеристик турбины и компрессора по модели среднего радиуса меридионального сечения. Особенности численной реализации математической модели являются использование расчетной схемы «один цилиндр» и квазизамкнутое моделирование исходного установившегося режима работы комбинированного дизеля. В статье представлены основные результаты верификации и валидации предлагаемой математической модели.

Ключевые слова: дизельный двигатель, газотурбинный наддув, переходный режим, математическая модель, процесс сгорания, метод характеристик, выпускной трубопровод, турбокомпрессор, радиальная центробежная турбина, центробежный компрессор.

Quasi-closed mathematical model of transient modes of a combined diesel engine and its numerical implementation

Denis V. Timoshenko¹
ORCID: 0009-0005-8410-0707

Andrey V. Passar²
ORCID: 0000-0001-6113-0202

¹*Pacific State University, Khabarovsk, Russia*

²*Computer Center of Far East Branch of the Russian Academy of Science, Khabarovsk, Russia*

Abstract. The article is devoted to the urgent problem of increasing the efficiency of combined diesel engines in transient and unsteady modes. At present, the solution to this problem is aimed at improving the gas-turbine supercharging system and is carried out with the wide use of a numerical experiment, which is confirmed by the presented review of studies. The article considers the main provisions and principles of the numerical implementation of the mathematical model of transient modes of a combined diesel engine, which is distinguished by an extended mathematical description of thermo- and gas-dynamic processes in the flow parts of the radial-axial turbine and centrifugal compressor of the supercharging unit, and also takes into account the wave nature of the processes in the exhaust pipeline of the gas-turbine supercharging system. The central features of the proposed model are the calculation of heat release in the cylinder in the zero-dimensional approximation taking into account the incompleteness of fuel combustion at low values of the λ coefficient, the calculation of processes in an unbranched exhaust pipeline in a one-dimensional non-stationary approximation using the method of characteristics and boundary conditions at the turbine, taking into account the variability of its flow and energy characteristics, direct calculation of the turbine and compressor characteristics using the model of the average radius of the meridional section. The features of the numerical implementation of the mathematical model are the use of the «single cylinder» calculation scheme and quasi-closed modeling of the initial steady-state operating mode of the combined diesel engine. The article presents the main results of the verification and validation of the proposed mathematical model.

Keywords: diesel engine, turbocharging, transient mode, transient performance, mathematical model, combustion process, method of characteristics, exhaust pipeline, radial gas turbine, centrifugal compressor.

Введение

В реальной эксплуатации ДВС работают в условиях постоянного нерегулярного изменения внешней нагрузки, цикловой подачи, числа оборотов коленчатого вала, теплового состояния и ряда других параметров, то есть работают на неустановившихся режимах. В таких условиях эффективные параметры ДВС оказываются ниже возможных, определяемых статическими характеристиками, возрастает эмиссия вредных веществ, увеличивается тепловая и механическая напряженность, ведущая к снижению показателей ресурса и надежности. Для комбинированных дизелей (дизелей с газотурбинным наддувом) эта проблема становится еще более острой.

Исследования неустановившихся режимов ДВС затруднены сложностью их воспроизведения в условиях эксперимента и необходимостью привлечения статистических методов для оценки воздействия исследуемых факторов. Во многих случаях приемлем отказ от воспроизведения реальных (то есть случайных) внешних воздействий на исследуемый ДВС и переход к исследованию переходных режимов приема нагрузки и разгона под нагрузкой, являющихся частным случаем неустановившихся режимов.

У дизель-генераторов переменного тока, оснащенных комбинированными дизелями, переходные режимы приема нагрузки являются наиболее тяжелыми режимами работы. Низкое качество работы на неустановившихся режимах приводит к недопустимому снижению частоты вращения и увеличению длительности процесса приема нагрузки с соответствующим ухудшением качества вырабатываемой электроэнергии. Дополнительными эффектами являются повышенная дымность на выпуске, снижение топливной экономичности и экологических показателей.

Актуальность исследований по повышению качества работы комбинированных дизелей на неустановившихся и переходных режимах подтверждается рядом статей отечественных и за рубежных авторов. Активно исследуются вопросы повышения динамических показателей переходных режимов [1–4]. Не меньшее внимание уделяется проблеме снижения вредной эмиссии [5–9]. Основным объектом

воздействий является система газотурбинного наддува, использующая энергию отработавших газов поршневой части двигателя в агрегате наддува – турбокомпрессоре. Анализ выполненных работ показывает, что физический эксперимент в рассматриваемой области часто дополняется численным экспериментом, позволяющим проводить исследования в более широком диапазоне варьирования конструктивными и режимными параметрами.

К настоящему времени для комбинированных дизельных ДВС предложено значительное число математических моделей (ММ) переходных режимов, различающихся базовыми подходами и уровнем сложности. С некоторой долей условности эти модели можно разделить на две группы. В первую группу следует отнести так называемые квазилинейные модели. Во вторую – модели, базирующиеся на детальном численном моделировании рабочих процессов в поршневой части двигателя и связанных с ней системах.

Первая группа ММ включает работы [7,10,11], где комбинированный дизель представлен как набор отдельных элементов (таких как поршневая часть двигателя, турбокомпрессор, регулятор частоты вращения и другие), каждый из которых рассматривается как «чёрный ящик» с определёнными входными и выходными параметрами. Для элементов составляются линейные дифференциальные уравнения (ДУ) система которых описывает динамику двигателя в целом. Коэффициенты ДУ зависят от параметров рабочего процесса и чаще всего задаются полиномами второй или третьей степени. Для определения коэффициентов этих полиномов используются результаты испытаний ДВС на установившихся режимах по специальным методикам, что заметно ограничивает возможности ММ этой группы. Плюсом данных ММ является низкие затраты вычислительных ресурсов, что делает их идеальными для моделирования в реальном масштабе времени.

Вторая группа ММ активно развивается и в настоящее время представлена значительным числом работ [2,5,6,9,12–16]. Данные модели характеризуются общностью базовых подходов. В частности, для описания внутрицилиндровых процессов используется хорошо отработанная модель нулевой размерности, основанная на равновесном термодинамическом представлении данных процессов. Для расчета процесса сгорания чаще всего используется однозонная модель с определением количества выделяющейся теплоты по углу поворота коленчатого вала (обращает внимание широкое использование уравнения И. И. Вибе для расчета тепловыделения). В работе [6] реализована двухзонная модель сгорания, а в работе [15] трехзонная модель с элементами искусственной нейронной сети.

Впускной и выпускной трубопроводы рассматриваются в квазистационарной нуль-мерной постановке за исключением работы [16] где процесс в выпускном трубопроводе принимается одномерным нестационарным. Работа компрессора и газовой турбины агрегата наддува описывается экспериментальными статическими характеристиками (в разных работах изменяется только способ задания характеристик).

Результаты рассмотренных работ позволяют сделать следующие выводы. Модели второй группы дают наиболее детальное описание работы комбинированных дизелей на переходных режимах, однако требуют дальнейшего развития. Остается нерешенным ряд вопросов, касающихся точности моделирования процесса сгорания на начальных этапах переходного режима, непосредственного вычисления рабочих параметров турбины и компрессора по геометрии их проточных частей, а также определения параметров газа в выпускном и впускном трубопроводах с учетом волновых явлений. Необходимость дальнейшего совершенствования математического описания переходных режимов ДВС формирует цель данной работы.

Цель работы – разработка математической модели переходных режимов комбинированного дизельного двигателя, учитывающей волновой характер процессов в выпускном трубопроводе системы газотурбинного наддува, позволяющей

проводить прямое варьирование геометрических параметров проточной части турбокомпрессора.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- дать математическое описание термогазодинамических процессов, протекающих в цилиндре дизеля, выпускном трубопроводе и турбокомпрессоре;
- произвести выбор расчетной схемы и реализовать математическую модель выбранными программными средствами;
- подтвердить адекватность предлагаемой математической модели.

Математическая модель переходных режимов

Предлагаемая ММ переходных режимов комбинированного дизеля основана на следующих допущениях:

- процессы во впускной системе квазиустановившиеся;
- течение газа в выпускной системе одномерное нестационарное;
- процессы в топливоподающей аппаратуре, системе автоматического регулирования скорости и внешней нагрузке не рассматриваются;
- в течение одного рабочего цикла рабочие процессы во всех цилиндрах поршневой группы полностью одинаковы (схема «один цилиндр»).

Моделируемая термогазодинамическая система комбинированного дизеля представлена на рис. 1. Уравнения динамики поршневой части и турбокомпрессора устанавливают механические связи рассматриваемой системы. Прочие связи – потоки массы и переносимой ими энергии. Функциональные зависимости для момента внешней нагрузки и подачи топлива в переходном режиме устанавливаются на основе экспериментальных данных. Термогазодинамические параметры рассчитываются непосредственно в процессе моделирования.

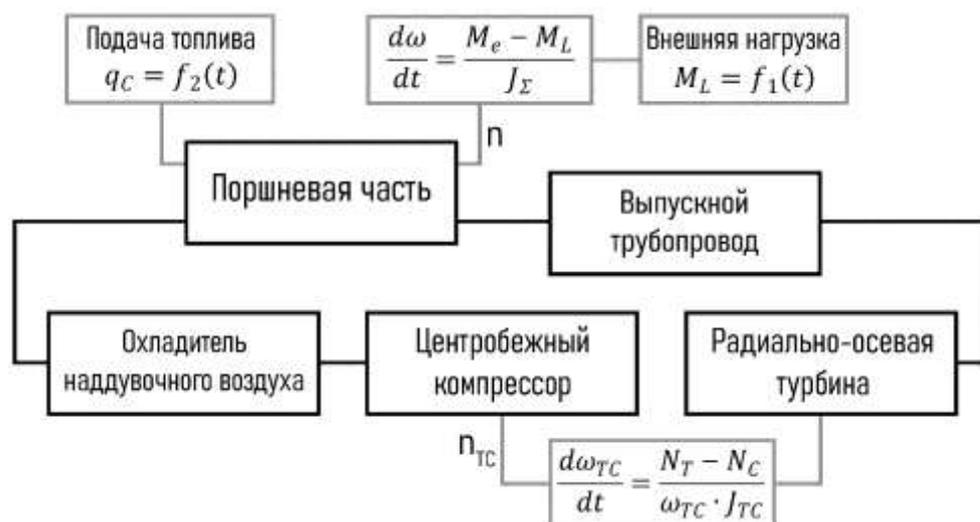


Рис. 1. Структурная схема термогазодинамической системы

Поршневая часть. Внутрицилиндровые процессы рассматриваются традиционно – в нуль-мерном равновесном термодинамическом приближении. Это позволяет описать их уравнением первого закона термодинамики для закрытых систем в дифференциальной форме и уравнением состояния идеального газа с привлечением алгебраических соотношений для расчета теплоемкости рабочего тела (рабочее тело

проставляется как смесь чистого воздуха и чистых продуктов сгорания переменного состава), коэффициента теплоотдачи в стенки цилиндропоршневой группы и количества выделяющейся теплоты. Уравнение первого закона термодинамики преобразуется в конечно-разностную форму, что позволяет провести решение методом последовательных приближений на каждом расчётном шаге i по углу поворота коленчатого вала. Алгоритм решения представлен на рис. 2.

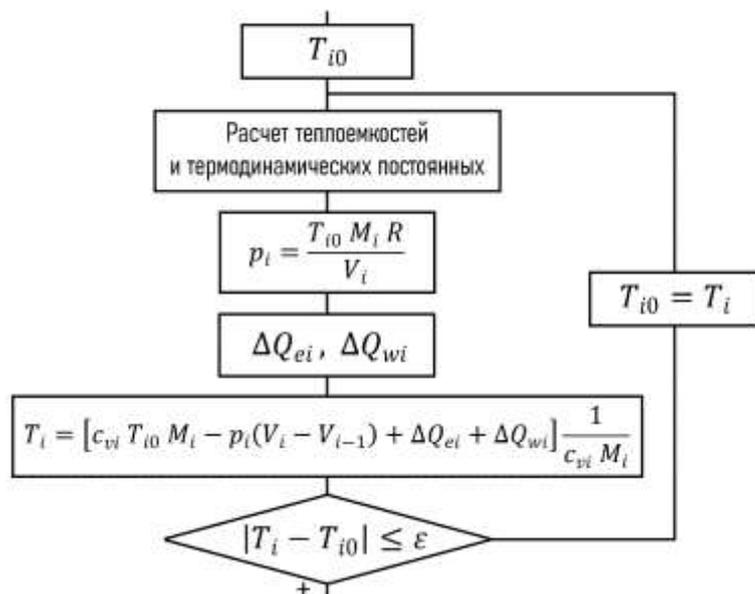


Рис. 2. Блок-схема расчета процесса в цилиндре:

c_{vi} – теплоемкость рабочего тела при постоянном объеме; M_i – масса рабочего тела в цилиндре;
 V_{i-1} и V_i – объемы цилиндра на предыдущем и текущем расчетном шаге соответственно;
 ΔQ_{ei} – теплота, выделяющаяся при сгорании топлива; ΔQ_{wi} – теплота, участвующая в теплообмене;
 T_{i0} и T_i – температура в цилиндре первого и второго приближения соответственно;
 ε – точность решения

Для периода газообмена система базовыми уравнениями становятся уравнение баланса энтальпий (первый закон термодинамики для открытых систем) и уравнение массового баланса. Количество рабочей среды, проходящей через органы газораспределения определяется с учетом режима течения и гидравлических потерь, учитываемых коэффициентом расхода впускного или выпускного канала соответственно.

Моделирование сгорания – наиболее проблемный вопрос. Поставленная цель и имеющиеся вычислительные средства исключает как прямое многомерное моделирование тепло- и массообмена в движущейся турбулентной многофазной системе при сгорании, так и более простую их интерпретацию – многозонные модели. Наиболее приемлемы нуль-мерные модели, в которых общий тепловой эффект сгорания определяется дифференциальной характеристики тепловыделения.

В рассматриваемой ММ дифференциальная характеристика тепловыделения рассчитывается по модели В. А. Петрова и В. А. Алексева для среднефорсированных дизелей с открытыми камерами сгорания [17]. Получаемая характеристика тепловыделения имеет два максимума, что отражает имеющиеся представления о фазах сгорания в дизелях

$$\frac{dx}{d\varphi} = \frac{2,5 x_1}{\varphi_1^{3,5}} \varphi^{2,5} \exp\left(-0,714 \left(\frac{\varphi}{\varphi_1}\right)^{3,5}\right) + \frac{0,5 x_1}{\varphi_2^{1,5}} \varphi^{0,5} \exp\left(-0,33 \left(\frac{\varphi}{\varphi_2}\right)^{3,5}\right).$$

Дополнительные соотношения модели позволяют рассчитать периоды от начала сгорания до первого и второго максимумов кривой скорости тепловыделения (φ_1 и φ_2), а также доли теплоты, выделившейся в первой и второй фазах сгорания (x_1 и x_2). Эти периоды и доли являются функциями отношения длительности периода задержки воспламенения к продолжительности топливоподачи.

Полнота сгорания топлива определяется текущим значением коэффициента избытка воздуха α и корректируется по следующей зависимости для относительного количества сгоревшего топлива η_u [11]

$$\eta_u = \begin{cases} \frac{\alpha}{1,45} + \left(1 - \frac{\alpha}{1,45}\right) \cdot \exp\left(3 - \frac{3\alpha}{1,45}\right), & \alpha < 1,45 \\ 1, & \alpha \geq 1,45 \end{cases}$$

Теплота, участвующая в теплообмене, для всех периодов определяется с привлечением коэффициента теплоотдачи от газов стенками цилиндра, рассчитываемого по уравнению G. Woschni.

Выпускной трубопровод. Поставленная цель требует привлечения системы ДУ в частных производных гиперболического типа для описания одномерного нестационарного течения газа, задания необходимых граничных условий (смешанная задача Коши) и выбора наиболее экономичного метода решения. Данная система включает в себя уравнения неразрывности, движения и энергии, записанные для идеального калорически совершенного газа, движущегося энергоизолированно по трубопроводу постоянного сечения

Метод характеристик, используемый в работе для решения описанной системы ДУ сочетает простоту численной реализации с удобством задания и реализации граничных условий. На предварительном этапе система ДУ преобразуется в две системы обыкновенных ДУ для прямой и обратной волн соответственно

$$\begin{cases} R = A + \frac{k-1}{2} U \\ \frac{dR}{dz} = -\frac{\lambda}{D} \frac{u|u|}{4} L_{тр} (k-1) \\ \frac{dX}{dz} = U + A \end{cases} \quad \begin{cases} Q = A - \frac{k-1}{2} U \\ \frac{dQ}{dz} = \frac{\lambda}{D} \frac{u|u|}{4} L_{тр} (k-1) \\ \frac{dZ}{dz} = U - A \end{cases} \quad (1)$$

где R, Q – инварианты Риммана для прямой и обратной волн; U, A – безразмерные скорости потока и звука в среде; X, Z – безразмерные координата и время; $D, L_{тр}$ – диаметр и длина трубопровода.

Для численного интегрирования системы уравнений (1) использован сеточный вариант метода Эйлера. Сетка фиксированная, с постоянными величинами шага по безразмерной координате и времени (ΔX и ΔZ соответственно). При выборе шага по времени учитывается условие устойчивости, задаваемое критерием Куранта. Реализована явная разностная схема с последовательным вычислением значений инвариантов R и Q в узлах сетки (прямой и обратный «прогон» соответственно) и интерполяцией по одному параметру – безразмерному времени (рис. 3).

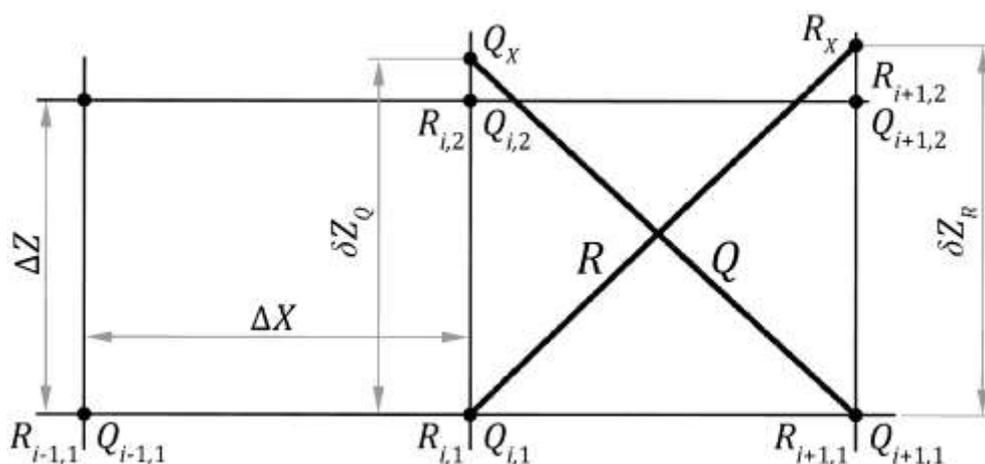


Рис. 3. Сеточная реализация метода характеристик

Единственность и точность решения смешанной задачи Коши для выпускного трубопровода определяется начальными и граничными условиями.

При установке начальных условий предполагается, что поток газа из цилиндра истекает в неподвижную термодинамическую среду с начальными давлением, температурой и составом, определяемыми в последовательных циклах квазизамкнутого моделирования.

Граничные условия. В качестве граничных условий на участках цилиндр – выпускной трубопровод, выпускной трубопровод – турбина турбокомпрессора выступает модель канала (эквивалентного сопла) течение, в котором принимается одномерным, изэнтропным и квазистационарным. Такое представление позволяет связать параметры газа в присоединенных объемах (цилиндр и выход из турбины) с параметрами газа во входном и выходном сечениях выпускного трубопровода через уравнения одномерной стационарной газодинамики. Эти уравнения решаются совместно с уравнениями прямой (для турбины) и обратной (для цилиндра) волн. Решение осуществляется модифицированным методом Ньютона.

Отличие между граничными условия заключается в следующем. Потери на участке цилиндр – выпускной трубопровод учитываются коэффициентом расхода выпускного канала и клапанной щели, задаваемым по экспериментальным данным в функции высоты подъема клапана. Канал (сопло) описывает всю турбину, а сечение сопла принимается равным эффективному проходному сечению турбины, которое определяется через расчет характеристик турбины на среднем радиусе меридионального контура.

Итерационный процесс расчета граничных условий у турбины:

- формируются необходимые исходные данные и задается первое приближение эффективного проходного сечения эквивалентного сопла ($\mu f_N = f_{TN}$, где f_{TN} – площадь сечения соплового аппарата турбины);
- для известного значения инварианты для прямой волны R и заданного значения μf_N решается система уравнений одномерной газодинамики и определяется давление на входе сопло (оно же давление на входе в турбину);
- формируются необходимые исходные данные (геометрические параметры проточной части турбины, параметры газа на входе в турбину и ряд других) и рассчитывается характеристики турбины в том числе расходная, определяемая величиной эффективного проходного сечения турбины μf_T ;

- производится сравнение значений μf_N и μf_T , если заданная точность не достигается, то присваивается новое значение $\mu f_N = \mu f_T$ и процедура повторяется;
- при достижении заданной точности рассчитывается значение инварианты для отраженной волны Q и ряд других параметров.

Турбокомпрессор и охладитель наддувочного воздуха. Математическое описание центробежного компрессора и радиально-осевой турбины основано на следующих допущениях. Рабочая среда – калорически совершенный газ. Течение среды квазистационарное, одномерное, энергоизолированное, параметры потока определяются на среднем радиусе меридионального контура проточной части.

Подобное течение описывается уравнениями одномерной газодинамики с привлечением уравнений теории лопаточных машин и тригонометрических соотношений для расчета треугольников скоростей в характерных сечениях проточной части, а также набора полуэмпирических уравнений для расчета потери энергии в элементах проточной части.

Для турбины рассчитываются потери с выходной скоростью, потери от утечек и раздельного подвода газа, потери в сопловом аппарате и рабочем колесе. Последние, в свою очередь включают в себя профильные и концевые потери, а также потери, связанные с нерасчетными углами входа (для рабочего колеса). В расчетах учитываются режимные параметры турбины и конструктивные параметры лопаточных решеток. Для компрессора используется другой подход – потери рассчитываются отдельно для каждого элемента проточной части. Из-за ограниченного объема статьи уравнения для расчета потерь не приводятся, подробно они представлены в [17]. Упрощенный алгоритм расчета турбины представлен на рис. 4.

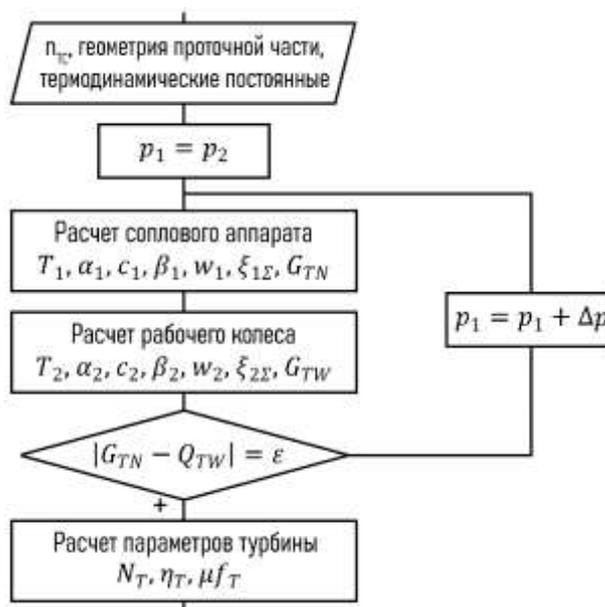


Рис. 4. Блок-схема расчета радиально-осевой турбины:
 p_1 – давление между сопловым аппаратом и рабочим колесом; p_2 – давление на выходе из турбины; G_{TN} и G_{TW} – массовые расходы газа через сопловой аппарат и рабочее колесо

Прямое моделирование охладителя наддувочного воздуха (ОНВ) на переходных режимах связано с решением задачи нестационарного теплообмена, что труднореализуемо даже в рамках квазистационарной постановки. По этой причине в ММ используются простые полуэмпирические зависимости, полученные аппроксимацией статической гидравлической характеристики ОНВ, позволяющие рассчитать снижение давления и температуры наддувочного воздуха

$$\Delta p = A_p \frac{G^2}{\rho} \left(\frac{G}{G_0} \right)^{-0,28}, \quad A_p = \Delta p_0 \frac{G_0^2}{\rho_0};$$
$$\Delta t = A_t (T - T_w) \left(\frac{G}{G_0} \right)^{-0,2}, \quad A_t = \frac{\Delta t_0}{T_0 - T_{w0}};$$

где ρ , T и G – плотность, температура и расход воздуха на выходе компрессора; T_w – температура охлаждающей жидкости (воды) на входе в ОНВ; индексом «0» обозначены параметры номинального режима.

Численная реализация математической модели

Как уже было отмечено в рассматриваемой ММ принимается допущение об идентичности рабочего процесса во всех цилиндрах в период одного рабочего цикла – схема «один цилиндр». Моделирование рабочего процесса в каждом цилиндре повышает точность и возможности модели, но из-за усложнения алгоритма и непропорционального увеличения машинного времени затрудняет замкнутое моделирование исходного установившегося режима, которое совершенно необходимо для согласования варьируемой геометрии проточной части турбокомпрессора с поршневой частью. Опыт численных исследований показывает, что использование схемы «один цилиндр» обеспечивает достаточную точность моделирования установившихся режимов при существенном выигрыше машинного времени. Реализация замкнутого принципа моделирования исходного установившегося режима, но с использованием схемы «один цилиндр», и позволяет называть предлагаемую модель квазизамкнутой.

Моделирование исследуемого переходного режима разбивается на два этапа. На первом этапе производится квазизамкнутое моделирование исходного установившегося режима двигателя с определением начального состояния термогазодинамической системы. На втором этапе моделируется последовательный ряд рабочих циклов двигателя, при этом параметры текущего цикла являются начальными для последующего. Для каждого нового цикла по заданным функциональным зависимостям рассчитываются величины моменты внешней нагрузки и цикловой подачи топлива. Расчет ведется по углу поворота коленчатого вала с заданным шагом.

Верификация и валидация математической модели

Задача верификации, рассмотренной ММ, частично решается использованием многократно апробированных подходов и методов математического описания и численного моделирования рабочих процессов комбинированных дизелей. Необходимые экспериментальные исследования были выполнены на среднеоборотном дизеле 6ЧН 18/22 ($p_{me} = 11$ бар, $n = 750$ мин⁻¹), являющимся приводным двигателем дизель-генератора ДГРА 200/750. Система наддува дизеля – двухтрубная импульсная с охлаждением наддувочного воздуха, агрегат наддува – турбокомпрессор ТКР–14С.26.

Вначале задача верификации и валидации решалась для основных элементов термогазодинамической системы двигателя: цилиндра, выпускного трубопровода и турбокомпрессора. В ходе этого этапа была выполнена настройка и оценена точность

математических моделей указанных элементов. Были получены следующие результаты (из-за ограниченного объема статьи более подробно они представлены в [17]).

Сравнение характеристик тепловыделения для номинального режима исследуемого дизеля подтверждает достаточную точность моделирования внутрицилиндровых процессов в период сгорания – рис. 5.

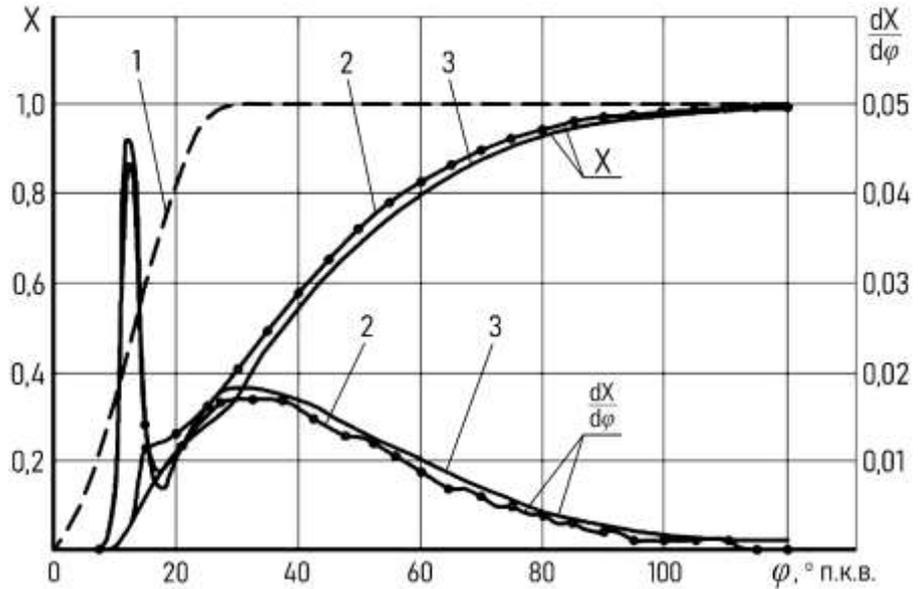


Рис. 5. Дифференциальная и интегральная характеристики тепловыделения:
1 – относительная топливоподача; 2 – эксперимент; 3 – расчет

Модель и принятая расчетная схема выпускного трубопровода описывают реальный процесс с достаточной точностью: экспериментальный и расчетный импульсы давления совпадают качественно, погрешность не превышает 3 % в среднем значении, наибольший фазовый сдвиг импульсов не превышает 10 градусов поворота коленвала и наблюдается в зоне максимума давлений (рис. 4).

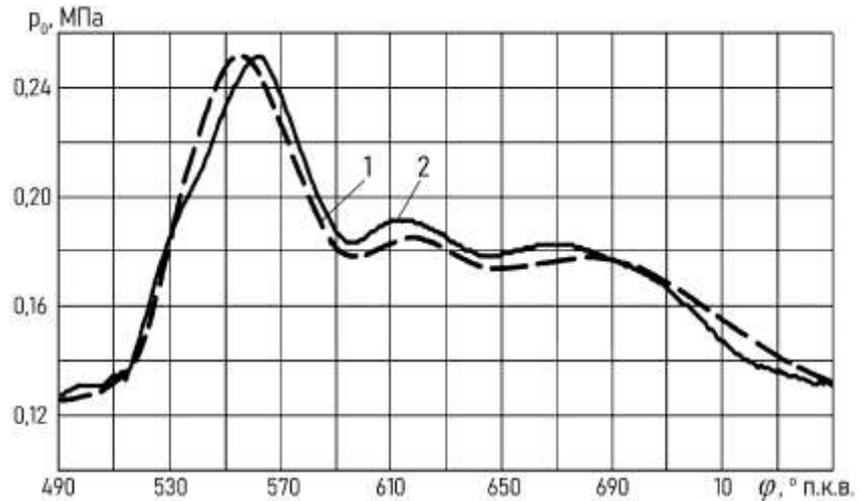


Рис. 6. Импульсы давления в выпускном трубопроводе перед турбиной:
1 – эксперимент; 2 – расчет

Расчетные характеристики радиально-осевой турбины и центробежного компрессора с безлопаточным диффузором хорошо согласуются с экспериментальными. Для турбины в области рабочих значений коэффициента напора (больше 1,7) максимальные отклонения не превышают 2,5 % как для КПД турбины, так и для эффективного проходного сечения. Для компрессора на номинальной частоте вращения погрешность по степени повышения давления составляет не более 1,5 %, при снижении или увеличении частоты вращения погрешность возрастает, не превышая при этом 2,5 % (рис. 7).

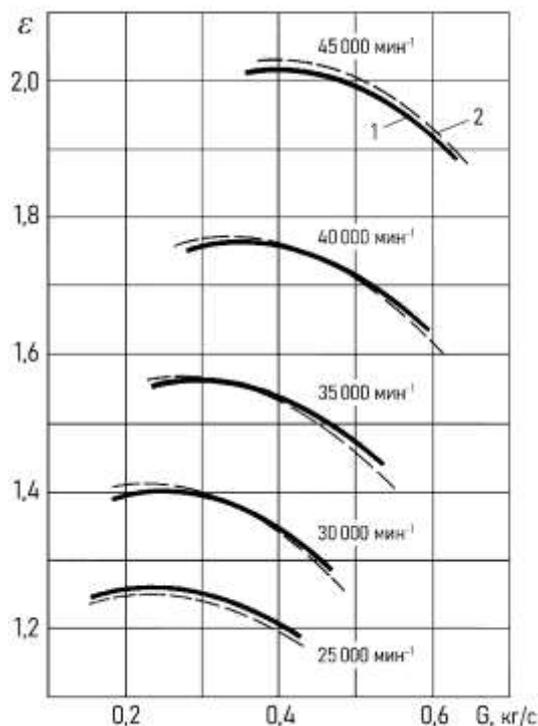


Рис. 7. Характеристика центробежного компрессора ТКР-14С.26:
1 – эксперимент; 2 – расчет

На последнем этапе оценивалась точность моделирования заданных режимов работы двигателя. Она была выполнена как для нескольких установившихся режимов по нагрузочной характеристике, так переходных режимов приема нагрузки различной интенсивности (переходный режим приема полной нагрузки представлен на рис. 8).

Для моделируемого переходного режима рассматриваемая ММ демонстрирует хорошее совпадение качественной картины изменения параметров при вполне приемлемой точности. Изменение частот вращения двигателя в переходном режиме рассчитывается с погрешностью, не превосходящей 5 %. Максимальное отклонение значений давления наддува p_b и частоты вращения ротора турбокомпрессора n_{tc} составляет около 6,5 % и наблюдается в конце первой фазы переходного режима (в области максимального снижения частоты вращения двигателя).

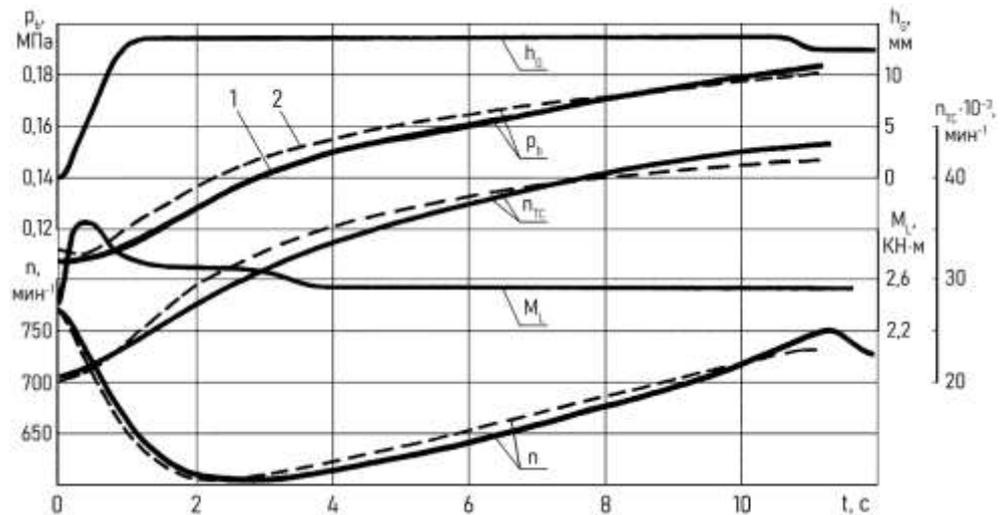


Рис. 8. Переходный режим дизеля при набросе нагрузки от 0 до 100 %:
 1 – эксперимент; 2 – расчет; h_G – перемещение рейки ТНВД; p_b – давление наддува;
 n_{TC} – частота вращения ротора турбокомпрессора; M_L – момент внешней нагрузки;
 n – частота вращения вала двигателя

Заключение

1. Обзор выполненных исследований подтверждает широкое использование математического моделирования в исследованиях переходных режимов комбинированных дизелей и необходимость дальнейшего развития данной области.

2. Верификация модели показала, что при расчете переходного режима наибольшее расхождение с экспериментом наблюдается в области максимального снижения частоты вращения двигателя, что объясняется недостаточной точностью расчета тепловыделения в цилиндре при малых значениях коэффициента избытка воздуха. Волновой характер процессов в выпускном трубопроводе системы газотурбинного наддува учитывается вполне удовлетворительно несмотря на применение схемы расчета «один цилиндр».

3. Удовлетворительное описание тепловыделения в условиях широкого изменения количества впрыскиваемого топлива и подаваемого воздуха в настоящее время возможно только с привлечением моделей, разработанных для некоторых частных случаев. Отсутствуют универсальные модели процесса сгорания доступные к применению при моделировании переходных и неустановившихся режимов.

4. Совместное использование нуль-мерной модели цилиндра, одномерной нестационарной модели неразветвленного выпускного трубопровода и одномерных моделей среднего радиуса радиально-осевой турбины и центробежного компрессора показывает удовлетворительный результат как для установившихся, так и для переходных режимов комбинированного дизеля. Это позволяет проводить прямое варьирование геометрических параметров проточной части турбокомпрессора и существенно расширяет возможности численного эксперимента.

Список литературы

1. Рослов С. В. Влияние динамических свойств дизеля на его эксплуатационные и технологические показатели / С. В. Рослов, А. П. Проговоров, А. Н. Щербо // Омский научный вестник. Сер. Технические науки. – 2015. – № 3(143). – С. 181–184.
2. Saad S. M. Performance of a heavy-duty turbocharged diesel engine under the effect of air injection at intake manifold during transient operations / S. M. Saad, R. Mishra // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2019. – Vol. 44. – Pp. 5863–5875. DOI: 10.1007/s13369-019-03758-1.
3. Peng H. Experimental Investigations on Control Strategy of Regulated Two-Stage Turbocharging System for Diesel Engine Under Transient Process / H. Peng, T. Wu, L. Shen, X. Miao // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – Pp. 104461–104471. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3210480.
4. Effects of control strategies of the electric supercharger on transient processes of a turbocharged diesel engine / Y. Liu [et al.] // Energy. – 2024. – Vol. 307. – Pp. 132427. DOI: 10.1016/j.energy.2024.132427.
5. Winkler N. Simulations and measurements of a two-stage turbocharged heavy-duty diesel engine including EGR in transient operation / N. Winkler, H. E. Angström // SAE Technical Paper, 2008. – 2008-01-0539. DOI: 10.4271/2008-01-0539.
6. Rakopoulos C. D. Exhaust emissions estimation during transient turbocharged diesel engine operation using a two-zone combustion model / C. D. Rakopoulos, A. M. Dimaratos, E. G. Giakoumis, D. C. Rakopoulos // International Journal of Vehicle Design. – 2009. – Vol. 49 (1). – Is. 1–3. – Pp. 125–149. DOI: 10.1504/IJVD.2009.024244.
7. Марков В. А. Выбор формы внешней скоростной характеристики транспортного дизеля / В. А. Марков, В. И. Шатров // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2012. – №. 02. – С. 47–75.
8. Rosero F. Real-world fuel efficiency and emissions from an urban diesel bus engine under transient operating conditions / F. Rosero, N. Fonseca, J. M. Lopez, J. Casanova // Applied Energy. – 2020. – Vol. 261. – Pp. 114442. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114442
9. Simulation study on transient performance of a marine engine matched with high-pressure SCR system / C. Xia [et al.] // International Journal of Engine Research. – 2023. – Vol. 24. – Is. 4. – Pp. 1327–1345. DOI: 10.1177/14680874221084052
10. Gambarotta A. Real-time modelling of transient operation of turbocharged diesel engines / A. Gambarotta, G. Lucchetti, I. Vaja // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. – 2011. – Vol. 225. – Is. 9. – Pp. 1186–1203. DOI: 10.1177/0954407011408943
11. Кузнецов А. Г. Исследование динамических свойств тепловозного дизеля при использовании регулируемого турбонаддува / А. Г. Кузнецов, С. В. Харитонов, В. А. Рыжов // Двигателестроение. – 2022. – № 1(287). – С. 76–83. – EDN: MQIMH.
12. Горб С. И. Моделирование динамики работы дизельных пропульсивных установок на ЭЦВМ / С. И. Горб. – М.: В/О Мортехинформреклама, 1986. – 48 с.
13. К расчету переходных процессов в комбинированном дизеле / Славцкий В. М. [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2004. – №. 3. – С. 46–52.
14. Taraza D. Complex diesel engine simulation with focus on transient operation / D. Taraza, N. A. Henein, R. Ceausu, W. Bryzik // Energy & fuels. – 2008. – Vol. 22. – Is. 3. – Pp. 1411–1417. DOI: 10.1021/ef700472x
15. Predicting transient performance of a heavy-duty gaseous-fuelled engine using combined phenomenological and machine learning models / N. Balazadeh [et al.] // International Journal of Engine Research. – 2024. – URL: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/14680874241305732> (дата обращения 20.01.2025).
16. Bozza F. Numerical analysis of the transient operation of a turbocharged diesel engine including the compressor surge / F. Bozza, V. De Bellis, L. Teodosio // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. – 2013. – Vol. 227. – Is. 11. – Pp. 1503–1517. DOI: 10.1177/0954407013501668
17. Тимошенко Д. В. Переходные режимы двигателей с газотурбинным наддувом / Д. В. Тимошенко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – 136 с.

References

1. Roslov S. V., Progovorov A. P., Shcherbo A. N. Vliyanie dinamicheskikh svoystv dizelya na ego ehkspluatatsionnye i tekhnologicheskie pokazateli [The influence of dynamic properties of diesel on its operational and technological performance]. *Omskii nauchnyi vestnik. Ser. Tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 3(143), pp. 181–184. (In Russ).
2. Saad S. M., Mishra R. Performance of a heavy-duty turbocharged diesel engine under the effect of air injection at intake manifold during transient operations. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2019, vol. 44, pp. 5863–5875. DOI: 10.1007/s13369-019-03758-1.
3. Peng H., Wu T., Shen L., Miao X. Experimental Investigations on Control Strategy of Regulated Two-Stage Turbocharging System for Diesel Engine Under Transient Process. *IEEE Access*, 2022, vol. 10, pp. 104461–104471. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3210480.
4. Liu Y. et al. Effects of control strategies of the electric supercharger on transient processes of a turbocharged diesel engine. *Energy*, 2024, vol. 307, pp. 132427. DOI: 10.1016/j.energy.2024.132427.
5. Winkler N., Angström H. E. Simulations and measurements of a two-stage turbocharged heavy-duty diesel engine including EGR in transient operation. *SAE Technical Paper*. 2008, 2008-01-0539. DOI: 10.4271/2008-01-0539.
6. Rakopoulos C. D., Dimaratos A. M., Giakoumis E. G., Rakopoulos D. C. Exhaust emissions estimation during transient turbocharged diesel engine operation using a two-zone combustion model. *International Journal of Vehicle Design*, 2009, vol. 49 (1)/1–3, pp. 125–149. DOI: 10.1504/IJVD.2009.024244.
7. Markov V. A., Shatrov V. I. Vybor formy vneshnei skorostnoi kharakteristiki transportnogo dizelya [Choosing the shape of the external speed characteristics of a transport diesel engine]. *Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii*, 2012, no. 02, pp. 47–75. (In Russ).
8. Rosero F., Fonseca N., Lopez J. M., Casanova J. Real-world fuel efficiency and emissions from an urban diesel bus engine under transient operating conditions. *Applied Energy*, 2020, vol. 261, pp. 114442. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114442
9. Xia C. et al. Simulation study on transient performance of a marine engine matched with high-pressure SCR system. *International Journal of Engine Research*, 2023, vol. 24(4), pp. 1327–1345. DOI: 10.1177/14680874221084052
10. Gambarotta A., Lucchetti G., Vaja I. Real-time modelling of transient operation of turbocharged diesel engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2011, vol. 225(9), pp. 1186–1203. DOI: 10.1177/0954407011408943
11. Kuznetsov A. G., Kharitonov S. V., Ryzhov V. A. Issledovanie dinamicheskikh svoystv teplovoznogo dizelya pri ispol'zovanii reguliruemogo turbonadduva [Investigation of the dynamic properties of diesel locomotives when using an adjustable turbocharger]. *Dvigatelistroenie*, 2022, no 1(287), pp. 76–83. EDN: MQIMIH. (In Russ).
12. Gorb S. I. *Modelirovanie dinamiki raboty dizel'nykh propul'sivnykh ustanovok na EHTSVM [Simulation of the dynamics of diesel propulsion systems on a computer]*. Moscow, V/O Mortekhinformreklama, 1986, 48 p.
13. Slavutskii V. M., Kurapin A. V., Lartsev A. M. K raschetu perekhodnykh protsessov v kombinirovannom dizele [Calculation of transient modes in a combined diesel engine]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy*, 2004, no. 3, pp. 46–52. (In Russ).
14. Taraza D., Henein N.A., Ceausu R., Bryzik W. Complex diesel engine simulation with focus on transient operation. *Energy & fuels*, 2008, vol. 22(3), pp. 1411–1417. DOI: 10.1021/ef700472x
15. Balazadeh N. et al. Predicting transient performance of a heavy-duty gaseous-fuelled engine using combined phenomenological and machine learning models. *International Journal of Engine Research*, 2024. Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/14680874241305732> (accessed 20.01.2025).
16. Bozza F., De Bellis V., Teodosio L. Numerical analysis of the transient operation of a turbocharged diesel engine including the compressor surge. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2013, vol. 227(11), pp. 1503–1517. DOI: 10.1177/0954407013501668

17. Timoshenko D. V. *Perekhodnye rezhimy dvigatelei s gazoturbinnym nadduvom* [Transient modes of turbocharged internal combustion engines]. Khabarovsk: Izd-vo Tikhookean. gos. un-ta, 2018, 136 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Тимошенко Денис Владимирович, к.т.н., доцент Высшей школы Промышленной инженерии ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ТОГУ»), 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская 136; 000595@togudv.ru

Denis V. Timoshenko, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of Graduate School of Industrial Engineering, Pacific State University, 136 Pacific Street, Khabarovsk, 680035, Russia; 000595@togudv.ru

Пассар Андрей Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Численные методы в математической физике» вычислительного центра ДВО РАН, Россия, 680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65, passar_av@mail.ru

Andrey V. Passar, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory «Numerical Methods in Mathematical Physics» of the Computing Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 65 Kim Yu-chen str., Khabarovsk, 680000, Russia, passar_av@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 07.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 629.5.036

DOI:10.37890/jwt.vi82.571

Результаты испытаний модели водометного движителя грузового катера

Е.С. Шишов

С.Н. Зеленов

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

Аннотация. В статье рассматриваются результаты испытаний самоходной масштабной модели водометного грузового катера КС-110.2-34. Цель: измерение и расчет основных характеристик элементов пропульсивного комплекса катера и, в частности, установленного водометного движителя, для их последующего сравнения с характеристиками других, вновь разрабатываемых водометных движителей. Результаты: спроектирована и изготовлена масштабная модель пропульсивного комплекса, состоящая из моделей корпуса и водометного движителя исходной конструкции, с установленным измерительным оборудованием и блоком записи показаний.

Предложены программа испытаний, методика обработки результатов измерений и выполнена проверка их достоверности.

Было установлено, что результаты испытаний, полученные на открытой воде, имеют малую повторяемость в силу их высокой зависимости от гидро- и метеорологических условий, а неправильное размещение датчиков давлений в проточной части водомета снижает точность выполненных измерений.

Для получения более достоверных и стабильных результатов сделан вывод о необходимости увеличения масштаба модели и скорости ее хода. Определено дальнейшее направления работ по совершенствованию приборно-измерительного комплекса.

Ключевые слова: водометные движители, пропульсивный комплекс, модельные испытания, параметры работы.

Test results of a model of a water-jet propulsion of a cargo boat

Egor S. Shishov

Sergey N. Zelenov

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses the test results of a self-propelled scale model of the KC-110.2-34 water-jet cargo boat. Purpose: to measure and calculate the main characteristics of the model of a water-jet propulsion system installed on a ship for their subsequent comparison with the characteristics of other newly developed water-jet propulsion systems. Results: a large-scale model of the propulsion system was designed and manufactured, consisting of models of a boat hull and a water-jet propulsion system of the original design, installed measuring equipment and a reading recording unit.

A test program and a methodology for processing measurement results are proposed and their reliability is verified. It was found that the test results obtained in open water have low repeatability due to their high dependence on hydro and meteorological conditions, and incorrect placement of pressure sensors in the flowing part of the water cannon reduces the accuracy of the measurements performed.

In order to obtain more reliable and stable results, it is concluded that it is necessary to increase the scale of the model and its speed. Further directions of work on improving the instrument and measuring complex have been determined.

Keywords: water-jet propellers, propulsive complex, model tests, operation parameters.

Введение

В работе [1] отмечается, что водометный движитель не сильно уступает по пропульсивным качествам гребным винтам, а в некоторых случаях превосходит их. Существует два основных фактора – кавитация и аэрация водометного движителя, которые отрицательно влияют на работу движителя. Для решения этих проблем принимают различные конструктивные изменения в устройстве водометного движителя.

Моделирование работы движителя с учетом возникновения кавитации и аэрации не представляется возможным аналитическим путем. Эмпирические модели, численное 3D-моделирование, решение сложных математических систем уравнений дают лишь приближенные результаты. Поэтому, обязательным этапом разработки водометных движителей являются испытания, проводящиеся в специальных опытовых бассейнах и кавитационных трубах и которые позволяют сравнить расчетные параметры с результатами физического эксперимента.

Однако испытания, проводимые в опытовых бассейнах и кавитационных трубах, являются достаточно технически сложными и финансово затратными. Потому, для упрощения проведения экспериментов с разрабатываемыми движителями была создана масштабная модель корпуса катера, изготовленная путем послойного наплавления пластика на FFF (Fused Filament Fabrication) 3D-принтере. Такая модель позволяет устанавливать конструктивно различные водометные движители в размерах одного корпуса и сравнивать основные параметры их работы. Очевидным недостатком этого решения является зависимость от погодных условий, так как испытания проводятся на открытых естественных акваториях, а также малый размер стенда, что приводит к необходимости учитывать масштабный фактор.

Методы

В качестве объекта исследования был выбран грузовой катер проекта КС-110.2-34 (рис. 1) производства АО «Костромской судомеханический завод». Главные размерения и основные характеристика катера приведены в табл. 1. Катер предназначен для перевозки грузов, обладает малой осадкой, оснащен водометным движителем, обладает хорошей маневренностью и не требует создания причальной инфраструктуры [2].



Рис. 1. Грузовой катер КС-110.2-34 [2]

Таблица 1

Главные размерения и основные характеристики катера [2]

$L_{гб}$, м	17	Длина габаритная
$B_{гб}$, м	3,12	Ширина габаритная
$T_{ср}$, м	0,5	Средняя осадка
$D_{гр}$, т	17	Водоизмещение в грузу
N_e , кВт	307	Эффективная мощность
v_x , км/ч	40	Скорость хода

На рис. 2 представлены трехмерные модели корпуса катера и нового, спроектированного по методике [3], водометного движителя выполненные в масштабе 1:15; на рис. 3 – внешний вид модели пропульсивного комплекса катера. На этом же рисунке также видно размещение датчиков давления измерительного комплекса.

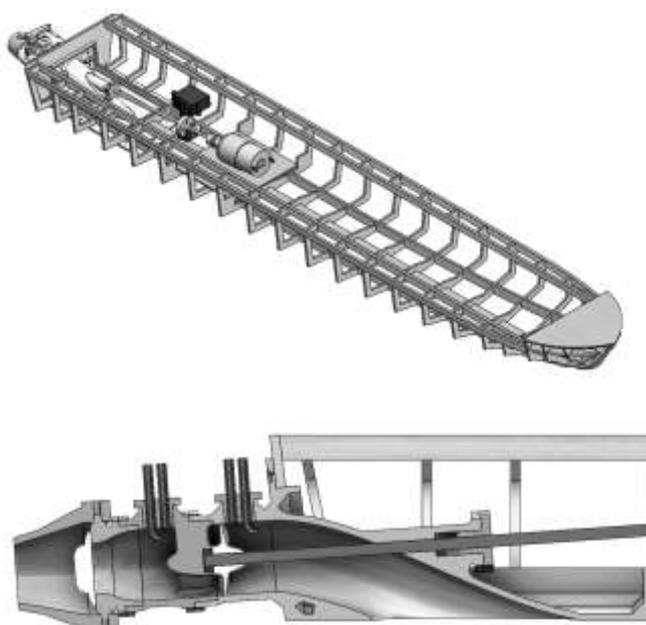


Рис. 2. Трехмерная модель корпуса и водометного движителя



Рис. 3. Внешний вид модели изготовленного пропульсивного комплекса с датчиками давления

В табл. 2, приведены основные геометрические характеристики отдельных частей испытываемой модели водометного движителя.

Испытательный комплекс представляет собой радиоуправляемый самоходный корпус катера с установленным блоком записи показаний и измерительным оборудованием и модель испытываемого водометного движителя с установленными измерительными трубками для измерения статического и динамического давления в характерных сечениях.

Таблица 2

Геометрические характеристики модели и натуре водометного движителя

Элемент водометного движителя	Размер модели	Размер натуре
Водозаборник		
Длина, мм	92,4	1386
Ширина, мм	23,1	346,5
Угол входа, °	20,0	20,0
Водовод		
Диаметр трубы, мм	30,8	462
Высота подъема, мм	28,0	420
Длина проточной части, мм	171,6	2574
Импеллер		
Профиль лопастей	параболический	параболический
Число лопастей, шт.	4	4
Диаметр импеллера, мм	30,6	460
Диаметр ступицы, мм	12,3	184
Шаговое отношение	0,987	0,987
Дисковое отношение	0,7	0,7
Относительная поступь	0,52	0,52
Пропульсивный КПД	0,51	0,51
Спрямяющий аппарат		
Число лопастей, шт.	5	5
Сопло		
Диаметр выходного сечения, мм	21,4	321,0
Длина, мм	20,48	307,2

В основе блока записи показаний используется микроконтроллер ATmega 328P, который по шине I²C принимает показания с пары 16-битных аналого-цифровых преобразователей ADS1115 и микросхемы измерения, потребляемой электродвигателем мощности INA226. Напрямую обрабатываются сигналы с датчика частоты вращения, на основе фотопрерывателя ИТР9608, при помощи аппаратных

прерываний микроконтроллера вычисляется частота вращения вала. По шине SPI производится запись данных с датчиков на microSD карту, которая после проведения замеров считывается при помощи персонального компьютера.

Основная задача разрабатываемого стенда заключается в определении зависимостей скорости хода модели V_x , создаваемой двигателем тяги P , потребляемой мощности N , расхода Q , напора (давления) H и КПД рабочего колеса $\eta_{рк}$ от частоты вращения вала электродвигателя. Скорость хода модели во время испытаний определяется при помощи замедленной съемки: подсчета количества кадров и за время прохождения контрольного участка, равного 1 м. Потребляемая мощность измеряется при помощи токоизмерительного шунта и вольтметра. Частота вращения – при помощи оптического датчика частоты вращения. Тяга, расход, напор и КПД определяются расчетом, на основе показаний датчиков давления.

Измерительный комплекс (рис. 4) позволяет измерить значения полного и статического давлений в трех характерных сечениях (перед рабочим колесом, после рабочего колеса, на срезе сопла). Используя измеренные значения давлений, рассчитываются указанные характеристики двигателя при различной частоте вращения рабочего колеса. Далее, используя найденные значения характеристик, производится сравнение эффективности работы различных моделей водометных двигателей.

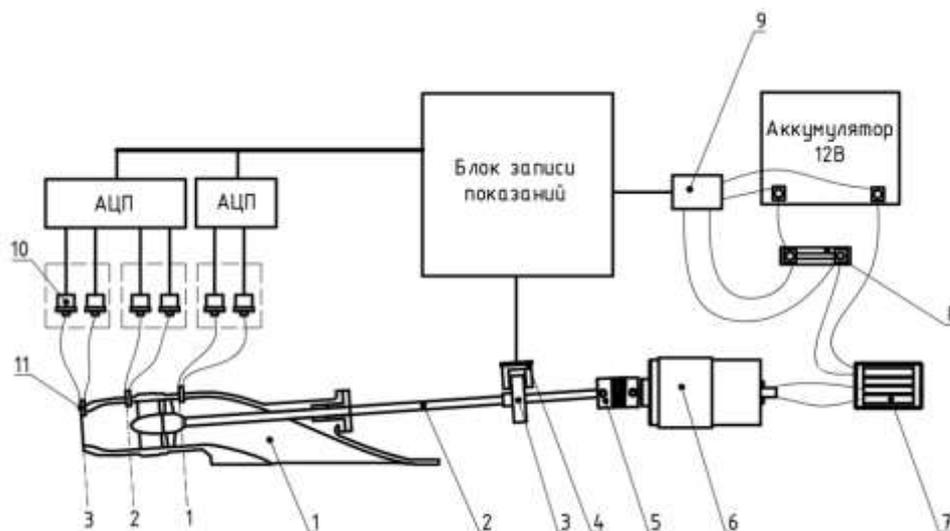


Рис. 4. Схема измерительного комплекса: 1 – водометный двигатель; 2 – валопровод; 3 – шелевой диск; 4 – оптический датчик частоты вращения; 5 – соединительная муфта; 6 – электродвигатель; 7 – регулятор мощности двигателя; 8 – токоизмерительный шунт; 9 – вольтамперметр; 10 – датчики давления; 11 – измерительные трубки

Ходовые испытания модели проводились в соответствии с составленной программой, которая предполагала их исполнение на открытой акватории р. Волга.

Прогонка модели проходила на мерном участке с соблюдением следующих условий:

- испытания проводятся на прямолинейном отрезке длиной 5 м в двух направлениях: против и по течению реки;
- длина контрольного участка (рис. 5) для измерения скорости равна 1 м;
- выполняется не менее 5 замеров в обе стороны движения. Запись показаний производится с интервалом 0,5 с.

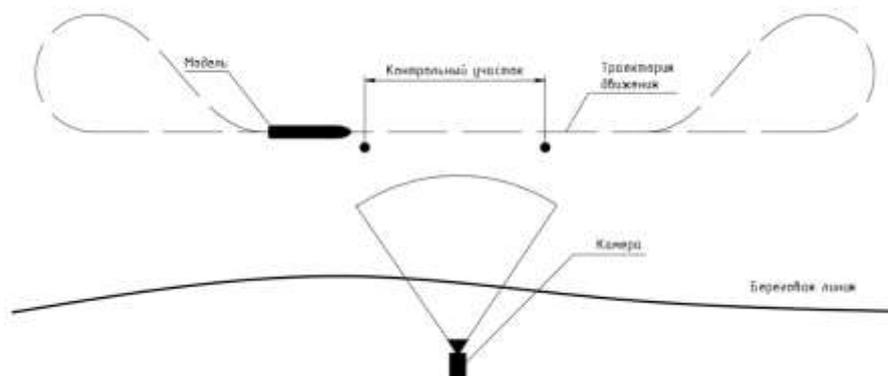


Рис. 5. Контрольный участок для измерения скорости хода модели

Скорость измерялась при помощи видеокамеры из расчета времени между началом и концом прохождения модели через мерный участок (рис. 6).

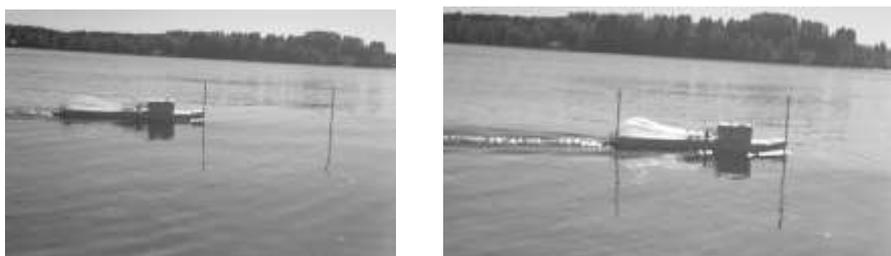


Рис. 6. Прохождение модели через мерный участок

Результаты и обсуждение

Результаты измерений сводятся в таблицы, а для исключения случайных погрешностей подвергаются статистической обработке. Для определения соответствия результатов выполненных экспериментов нормальному распределению был принят пакет программного обеспечения численного анализа Origin 2015, в частности, применен критерий Шапиро-Уилка, который равно эффективен как при малых, так и при больших объемах выборки. В нашем случае задавалось условие, что гипотеза о нормальности распределения справедлива при Р-значении большем 0,05. [4]

На рис. 7 представлены графики зависимости показаний измеряемых величин от номера измерения n для максимальной мощности электродвигателя 175 Вт при усредненной частоте вращения 10124 об/мин. Условия окружающей среды во время проведения измерений: атмосферное давление 100,6 кПа, температура воздуха +17 °С, средняя скорость ветра 3 м/с, температура воды +11 °С.

В табл. 3 приведены усредненные обработанные результаты измерений пяти режимов хода в зависимости от потребляемой мощности электродвигателя 100, 95, 70, 40, 30 % (округленно).

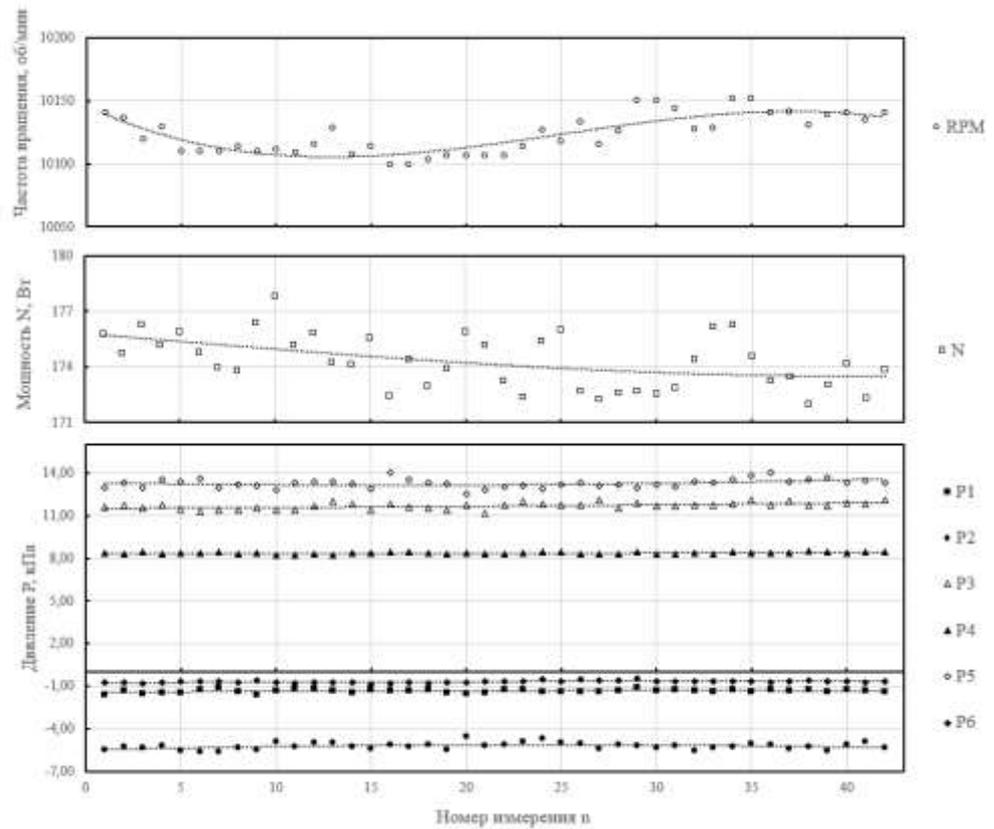


Рис. 7. Показания измерений при 10124 об/мин: P1 – полное давление перед рабочим колесом, P2 – статическое давление перед рабочим колесом, P3 – полное давление за рабочим колесом, P4 – статическое давление за рабочим колесом, P5 – полное давление на срезе сопла, P6 – статическое давление на срезе сопла, кПа, N – потребляемая электродвигателем мощность, Вт, RPM – частота вращения электродвигателя, об/мин.

Таблица 3

Усредненные результаты испытаний при различной потребляемой мощности

Мощность, %	Мощность, Вт	Частота вращения, об/мин	Показания датчиков давления, кПа					
			P1	P2	P3	P4	P5	P6
100	174,19	10124	-1,33	-5,20	11,67	8,36	13,25	-0,68
95	166,4	9715	-1,83	-8,19	10,56	8,44	13,63	-0,65
70	121,05	8006	-1,40	-4,39	8,03	5,81	9,90	-0,56
40	73,42	6198	-1,56	-5,39	3,54	2,98	5,47	-0,54
30	57,72	5674	-1,96	-5,25	1,49	1,73	3,58	-0,69

На основе полученных результатов производится расчет основных параметров работы водометного движителя для различных частот вращения (табл. 4) по формулам (1) – (6) из источников [5], [6] и [7].

$$H = \frac{P_1 - P_3}{g}, \tag{1}$$

где H – напор рабочего колеса, м; P_1 – полное давление перед рабочим колесом, кПа; P_3 – полное давление за рабочим колесом, кПа

$$v_4 = \sqrt{2(P_5 - P_6)}, \tag{2}$$

где v_4 – скорость на срезе сопла, м/с; P_5 – полное давление на срезе сопла, кПа; P_6 – статическое давление на срезе сопла, кПа.

$$Q = v_4 S_c, \tag{3}$$

где Q – расход через движитель, м³/с; $S_c = 0.000345$ м² площадь сечения срезе сопла.

$$P = \rho Q(v_4 - v_x), \tag{4}$$

где v_x – скорость хода, м/с.

$$N_{\Pi} = \eta_{\text{э}} \eta_{\text{вп}} N, \tag{5}$$

где N_{Π} – потребляемая мощность движителем, Вт; $\eta_{\text{э}} = 0,7$ – КПД электродвигателя; $\eta_{\text{вп}} = 0,95$ – КПД валопровода, N – мощности электродвигателем.

$$\eta_{\text{рк}} = 100 \frac{\rho g H Q}{N_{\Pi}} \tag{6}$$

где $\eta_{\text{рк}}$ – КПД рабочего колеса, %.

Таблица 4

Основные параметры водометного движителя в зависимости от частоты вращения

Частота вращения, об/мин	Скорость хода v_x , м/с	Скорость на срезе сопла v_4 , м/с	Расход через движитель Q , м ³ /с	Напор рабочего колеса H , м	Тяга движителя P , Н	Потребляемая мощность движителя N_{Π} , Вт	КПД рабочего колеса $\eta_{\text{рк}}$, %
10124	1,29	5,28	0,00182	1,32	7,26	115,8	20,4
9715	1,34	5,34	0,00182	1,26	7,38	110,7	20,6
8006	1,15	4,57	0,00158	0,96	5,4	80,5	18,5
6198	1,09	3,47	0,00120	0,52	2,84	48,8	12,5
5674	0,88	2,93	0,00101	0,35	2,06	38,4	9,1

На основании данных табл. 4 построены зависимости (рис. 8.) тяги P , расхода Q , напора H , КПД $\eta_{\text{рк}}$ от частоты вращения вала электродвигателя. Полученные зависимости отражают параметры работы модели водометного движителя. Из графиков видно, что при работе движителя при частоте вращения около 10000 об/мин начинается

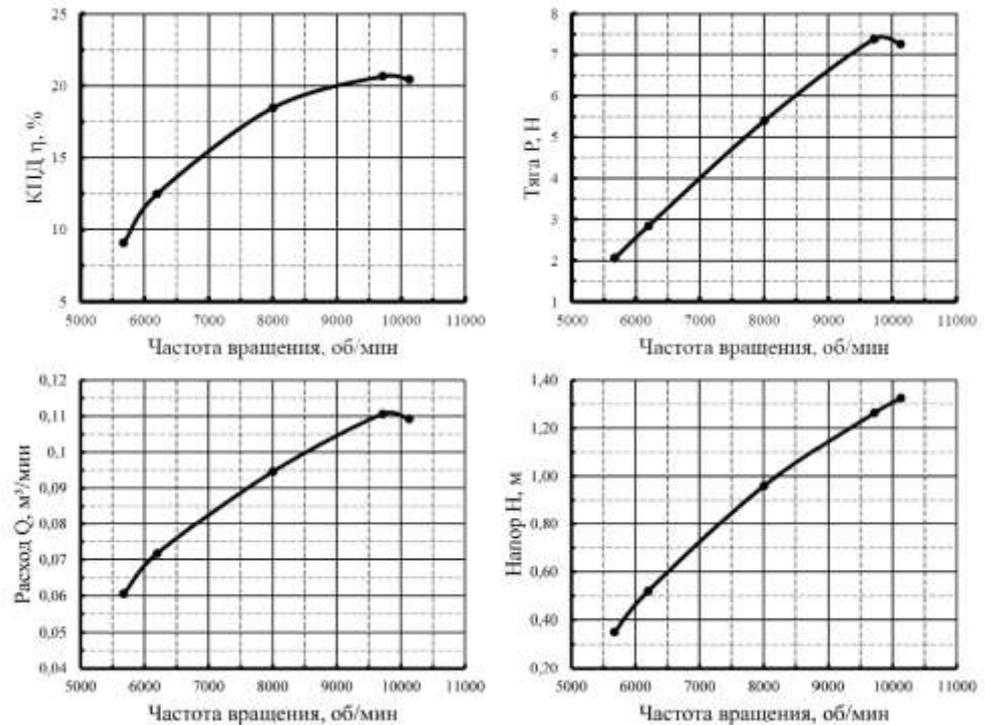


Рис. 8. Зависимости основных параметров работы водометного движителя от его частоты вращения

снижение создаваемой тяги и расхода через движитель, а также его КПД, что говорит о не эффективной работе данного рабочего колеса при более высокой частоте вращения. Таким образом строя аналогичные графики для рабочих колес с иным шагом, дисковым отношением, числом лопастей, для самих водометных движителей иной конструкции, можно в дальнейшем сравнивать между собой на основе полученных зависимостей и оптимального диапазона работы.

Выводы

Выполненные на специально созданном пропульсивном комплексе грузового катера КС-110.02-34 исследования, позволяют сделать следующие выводы.

1. В работе были определены только основные «внешние» характеристики проектируемого водометного движителя, что является лишь частью представления об эффективности его использования на катере. Для более полной оценки характеристик проектируемого водомета и путей их улучшения необходимы дополнительные исследования характера течения жидкости в насосной части водомета, момента возникновения кавитации, сопротивления в его характерных проточных частях, взаимодействия с корпусом и т.д., что определяет дальнейшее направление работ по совершенствованию измерительного комплекса. Например, выявленная некорректность показаний пары датчиков P1 и P2, была вызвана близким расположением измерительных трубок к всасывающей области рабочего колеса. Для уточнения показаний необходимо расположить измерительные трубки ближе к водозаборной части водомета.

2. Представленные графические зависимости параметров работы спроектированного водометного движителя, полученные на созданной экспериментальной модели катера, не противоречат уже известным практическим данным. В результате можно полагать, что разработанные пропульсивный и измерительный комплексы модели катера, позволяют достаточно достоверно определять основные параметры водометов на начальном этапе их проектирования. Как показывает практика, этих параметров достаточно для последующего предварительного сравнения моделей различных конструкций водометов, отличающихся геометрическими размерами, типом рабочего колеса, спрямляющими, сопловыми аппаратами, разными водозаборниками и т.д.

Список литературы

1. Зеленев С.Н., Шишов Е.С. Особенности выбора движительного комплекса речных судов // Сетевой научный журнал «Транспортные системы». Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2023. № 2(28). С. 40-49. URL: <https://transport-systems.ru/index.php/arkhiv/44-2023/46-2-2023-g/150-2023-02-4>
2. Катер КС-110.2-34 [Электронный ресурс] - <https://boat-ksmz.ru/katera/ks-110-2/ks-110-2-gruzovoy/> (дата обращения – 28.01.2024).
3. Хорхорин Е.Г. Стационарные водометы. Справочник. М.: «Издательский Дом Рученькиных», 2004. 160 с.
4. Никитин О.Р. Статистические методы обработки параметров радиосигналов. Учебное пособие. Владимир: ВлГУ, 2012. 143 с.
5. Папир А.Н. Водометные движители малых судов. Л.: Судостроение, 1970. 256 с.
6. Васильев В.Ф. Водометные движители: Учебное пособие. М.: МАДИ, 2006. 45 с.
7. Куликов С.В., Храшкин М.Ф. Водометные движители (теория и расчет) – 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1980. 312 с.

References

1. Zelenov S.N., Shishov E.S. Osobennosti vybora dvizhitel'nogo kompleksa rechnyh sudov [Features of choosing a propulsion system for river vessels]// Setevoy nauchnyj zhurnal «Transportnye sistemy». Nizhny Novgorod: NSTU n.a. R.E. Alekseev, 2023, no. 2(28). P. 40-49. URL: <https://transport-systems.ru/index.php/arkhiv/44-2023/46-2-2023-g/150-2023-02-4>
2. Kater KS-110.2-34 – Available online: <https://boat-ksmz.ru/katera/ks-110-2/ks-110-2-gruzovoy/> (date of access– 28.01.2024).
3. Horhorin E.G. Stacionarnye vodomety. Spravochnik. M.: «Izdatel'skij Dom Ruchen'kinyh», 2004. 160 s. (In Russ.).
4. Nikitin O.R. Statisticheskie metody obrabotki parametrov radiosignalov. Uchebnoe posobie. Vladimir: VIGU, 2012. 143 p. (In Russ.).
5. Papir A.N. Vodometnye dvizhiteli malyh sudov. L.: Sudostroenie, 1970. 256 p. (In Russ.).
6. Vasil'ev V.F. Vodometnye dvizhiteli: Uchebnoe posobie. M.: MADI, 2006. 45 p. (In Russ.).
7. Kulikov S.V., Hramkin M.F. Vodometnye dvizhiteli (teoriya i raschet) – 3-e izd., pererab. i dop. L.: Sudostroenie, 1980. 312 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шишов Егор Сергеевич, аспирант,
Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева
(ФГБОУ ВО НГТУ им. Р.Е. Алексеева),
603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24,
email: egor370mv@gmail.com

Egor S. Shishov, postgraduate student, Nizhny
Novgorod State Technical University n.a. R.E.
Alekseev (NSTU n.a. R.E. Alekseev), Minina,
24, Nizhny Novgorod, 603155, Russian
Federation, e-mail: egor370mv@gmail.com

Зеленов Сергей Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Энергетические установки и тепловые двигатели», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, email: zelenov.52@yandex.ru

Sergey N. Zelenov, Ph.D. (eng), Associate Professor of the Power Plants and Heat Engines, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NSTU n.a. R.E. Alekseev), Minina, 24, Nizhny Novgorod, 603155, Russian Federation, e-mail: zelenov.52@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.01.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 16.01.2025; published online 20.03.2025.

ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА ТРАНСПОРТЕ

ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT

УДК 656.07;332:012.2, 024.3, 055; 334.021.1; 338.264

DOI: 10.37890/jwt.vi82.566

Применение структурного моделирования для оценки типа развития общественного транспорта в городах и городских агломерациях

Т.М. Гайноченко

ORCID: 0000-0002-8907-3737

Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена выявлению типа развития общественного транспорта в экономическом пространстве городов и городских агломераций. На основе построения модели структурной динамики совокупного социально-экономического процесса обеспечения города или городской агломерации общественным транспортом формируется понимание о степени синхронизации управления общественным транспортом и субъектов его микро- и макро среды. Результативность использования потенциала общественного транспорта оценивалась за период с 2013 по 2022гг. на примере общественного транспорта Нижнего Новгорода. Построенные модели позволяют количественно и качественно измерить эффективность управления общественным транспортом и показать уровень объективной сложности гармонизации коллективных усилий ключевых стейкхолдеров при организации управления сложными социально-экономическими системами, которые представляют собой транспортные системы общественного транспорта в городах и городских агломерациях.

Полученные результаты представляют научно-практический интерес, так как, во-первых, могут служить объективной основой оценки согласованности действия ключевых стейкхолдеров как в процессах целеполагания, так и в процессах планирования, мониторинга, анализа и оценки эффективности их взаимодействия в экономическом пространстве городов и городских агломераций. Во-вторых, методология структурного моделирования применительно к оценке типологии развития общественного транспорта в транспортных системах городов и городских агломераций может быть основой для оценки направленности развития протекающих в них подпроцессов и соотнесения их вклада в достижение глобальных целей ООН в области устойчивого развития.

Ключевые слова: городская транспортная система, общественный транспорт, массовый пассажирский транспорт, город, городская агломерация, экономическое пространство, экономические процессы, структурное моделирование, тип развития.

Application of structural modeling to assess the type of public transport development in cities and urban agglomerations

Tatiana M. Gaynochenko

ORCID: 0000-0002-8907-3737

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract. The article is devoted to identifying the type of development of public transport in the economic space of cities and urban agglomerations. Based on the construction of a model of the structural dynamics of the cumulative socio-economic process of providing a city or urban agglomeration with public transport, an understanding is being formed about the degree of synchronization of public transport management and the subjects of its micro and macro environment. The effectiveness of using the potential of public transport was assessed for the period from 2013 to 2022 using the example of Nizhny Novgorod public transport. The constructed models make it possible to quantify and qualitatively measure the effectiveness of public transport management and show the level of objective complexity of harmonizing the collective efforts of key stakeholders in managing complex socio-economic systems, which are public transport systems in cities and urban agglomerations. The results obtained are of scientific and practical interest, since, firstly, they can serve as an objective basis for assessing the coherence of the actions of key stakeholders both in goal-setting processes and in planning, monitoring, analyzing and evaluating the effectiveness of their interaction in the economic space of cities and urban agglomerations. Secondly, the methodology of structural modeling applied to the assessment of the typology of public transport development in the transport systems of cities and urban agglomerations can be the basis for assessing the direction of development of the subprocesses occurring in them and correlating their contribution to the achievement of the UN global goals in the field of sustainable development.

Keywords: city transport system, mass transit, city, urban agglomeration, economic space, economic processes, structural modeling, development type.

Введение

Характеризуя задачу современного этапа развития российской экономики, видный российский ученый-экономист Б.Г.Клейнер следующим образом формулирует ее целевой вектор: «Экономика должна превратиться из архипелага слабо связанных между собой региональных, отраслевых и предметных островов (анклавов) в единый народохозяйственный комплекс взаимосвязанных полиструктурных систем, функционирующих на основе координации и саморегулирования. Экономика должна стать своего рода «системой систем». Сейчас же ее состояние можно охарактеризовать условно как «несистема несистем». Необходимо кардинальное повышение уровня связанности экономики, включая ее функциональную и институциональную составляющие в пространстве и во времени» [1, с.344-345]. Для того, чтобы понять каким образом можно достичь более высокого уровня системности экономики, необходимо найти способ оценить количественно и качественно глубину и масштаб проблемы.

Ключевым свойством в определении любой системы является способность объекта активно противодействовать разрушающему воздействию внешней среды с целью самосохранения [2-3]. Это приводит к различной по направленности и амплитуде динамике развития объекта как системы. В большинстве случаев темпы саморегуляции объекта не совпадают с темпами влияния факторов внешней среды. Более того, по мере роста структурной сложности объекта возникает дополнительная грань потери синхронности развития ее частей и сложности управления. В случаях децентрализованного управления частями объекта мы имеем еще одну дополнительную грань потери синхронности управления частями объекта. Следовательно, действие организационного закона итерации должно быть скомпенсировано с учетом действия другого закона организации – композиции. Это должно на практике реализовываться за счет грамотного целеполагания и стратегического структурирования целей.

На глобальном уровне организационный закон композиции получил свое практическое воплощение в разработке глобальных целей ООН в области устойчивого развития. Общественный транспорт отвечает многим глобальным целям ООН. Следовательно, изучение структуры и динамики, а также скоординированности

подпроцессов обеспечения городов и городских агломераций общественным транспортом представляет собой актуальную научно-практическую задачу. Следует отметить, что общественный транспорт, как и транспортная отрасль в целом, относится к экономической инфраструктуре общества. Экономическое пространство населенных пунктов исторически формировалось на основе естественных путей сообщения и экономическая деятельность субъектов транспорта способствовала росту и развитию экономического пространства городов. Она играла и играет активную роль в ускорении или замедлении урбанистических процессов в экономическом пространстве регионов и страны в целом [4-8].

Этапность формирования транспортной системы городов условно фиксируется ее структурой, что влияет на адаптационные возможности экономического пространства территорий и скорость протекания процессов самоорганизации. Накопленный практический и теоретический опыт в организации и управлении общественным транспортом в городах свидетельствует о наличии трех уровней самоорганизации: уровень транспортного планирования, организации транспортных процессов и транспортных и пешеходных потоков. Каждый из данных уровней имеет свой период и скорость самоорганизации, в котором участвуют разные виды стейкхолдеров. Они либо адаптируются к изменениям, либо оказывают влияние на пути развития городской транспортной системы. В обоих случаях происходит изменение количественных и качественных характеристик ее функционирования: надежности и потенциала.

Между процессами самоорганизации городской транспортной системы и потребностями его устойчивого развития отсутствует прямая зависимость. Так, например, наиболее медленные процессы протекают на уровне транспортных связей - корреспонденций - между местами приложения труда, жилых районов и объектов транспортного притяжения в городе. Мониторинг, разработка и планирование изменений на данном уровне относятся к компетенции транспортного планирования и осуществляются на основе учета времени и комфортности поездок. Наиболее быстрые процессы протекают на уровне транспортных и пешеходных потоков. Увеличение загрузки элементов транспортной системы снижает ее адаптационные возможности и является признаком насыщения. Если органы управления не могут своевременно внести необходимые изменения пропускной или провозной способности, то начинаются процессы рассогласования, снижается устойчивость и надежность функционирования городской инфраструктуры. Данные взаимозависимости хорошо изучены в теории транспортных систем и процессов [9].

Таким образом, общественный транспорт как одна из универсальных форм организации перемещения в городах и городских агломерациях выступает не только инструментом повышения детерминированности функционирования транспортной системы города, но и инструментом повышения потенциала экономического пространства города за счет снижения затрат на поддержание требуемого уровня мобильности и транспортной доступности в городе.

Так как на каждом из выделенных уровней устойчивости и самоорганизации транспортная система, как и любая экономическая система, характеризуется собственным набором существенных параметров, по которым происходит адаптация субъектов системы, то возникает проблема их содержательной группировки и организации управления их динамикой.

В работе [10] авторами было определено первое и главное условие успешности всех ведущихся сегодня разработок в транспортной отрасли. Им является необходимость очертить границы проектов и программ развития транспорта, определить средства, методы и возможности их реализации. Развитие общественного транспорта как *совокупности гетерогенных элементов и связей* технического, технологического, организационного, экономического, социального, правового и культурного характера происходит в экономическом пространстве городов и

городских агломераций. Следовательно, моделирование и оценку уровня синхронизации проектов и программ развития общественного транспорта было бы неверно выполнять без учета основных характеристик подсистем, которые осуществляют по отношению к общественному транспорту вспомогательные и поддерживающие функции, а также ограничивают его развитие. Поэтому в данном исследовании ставится задача моделирования структуры совокупного экономического процесса обеспечения города или городской агломерации общественным транспортом, так как при решении определенных задач управления результат может быть достигнут только при комплексном рассмотрении нескольких систем и их постоянной координации и взаимодействии. Как было убедительно доказано д.э.н., проф. Бияковым О.А. [11], в реальности эта координация усложняется выбором критериев работы отдельных систем, которые слабо увязаны с результатами функционирования смежных систем. В нашем исследовании мы попытаемся задать такие критерии и определить динамический порядок их изменения для того, чтобы можно было оперативно отслеживать и оценивать эффективность взаимодействия различных подсистем экономического пространства города и их влияние на устойчивость развития общественного транспорта.

Методы

Данное исследование выполнено на основе универсального инструментария структурного моделирования, разработанного д.э.н., проф. Бияковым О.А. [11]. Он систематизировал достоинства и недостатки методов моделирования на основе производственных функций и как и многие ученые-транспортники, подход которых можно охарактеризовать как системный [4-8], также пришел к выводу ограниченности их потенциала для изучения процессов, протекающих в различного уровня экономических пространствах. В частности, таких предпосылок как наличие совершенной конкуренции; рациональности действий субъектов и нахождении рынка в состоянии устойчивого равновесия. Открытость как свойство систем диктует острую необходимость разработки применения такого инструментария, который бы позволил учесть процессы микро- и макро среды системы, а также их разнородность и различие временных циклов развития.

Для целей данного исследования наиболее адекватным инструментарием является построение моделей, в основе которых лежит анализ структуры экономического объекта. В отличие от моделей, анализирующих динамику показателей и строящих прогнозы на основе экстраполяции трендов прошедших периодов, структурное моделирование через декомпозицию совокупного экономического процесса позволяет выявить динамику подпроцессов. При этом не нарушается целостность анализа объекта как системы, а также учитывается влияние факторов микро-и макросреды.

Балансовые методы, которые широко применялись в транспортном планировании, не могут адекватно описывать нестационарные процессы, характерные для функционирования социально-экономических объектов. Структурное моделирование лишено этого недостатка. Следовательно, возможно проследить изменение структуры подпроцессов общественного транспорта и с помощью стратегического целеполагания разработать единый критерий для оценки результативности фактического режима функционирования общественного транспорта в городе или городской агломерации.

Используемая в данном исследовании модель основывается на универсальном подходе к анализу динамических организаций, то есть - анализируется структура совокупного экономического процесса обеспечения города или городской агломерации общественным транспортом (R-процесс). Она включает в себя четыре группы подпроцессов: основные, вспомогательные и жизнеобеспечивающие подпроцессы, а также подпроцессы, препятствующие развитию общественного транспорта в городе или городской агломерации.

Каждый из выделенных подпроцессов измерялся с помощью доступных для статистического анализа индикаторами. Так, для изучения основных процессов были отобраны три индикатора: количество перевезенных пассажиров (M1), пассажирооборот (M2) и протяженность маршрутов общественного транспорта (M3). Вспомогательные подпроцессы изучались с помощью таких индикаторов, как средний возраст парка подвижного состава, используемый на маршрутах (S1), численность занятых на общественном транспорте (S2) и уровень финансовой поддержки развития общественного транспорта за счет бюджетных средств (S3). Подпроцессы жизнеобеспечения измерялись численностью населения города (LS1), реальным уровнем заработной платы в соответствующем регионе (LS2), а также размером потребительской корзины (LS3). Из индикаторов, характеризующих препятствующие развитию подпроцессы, были отобраны следующие: количество частных легковых автомобилей на 1000 населения города (P1), уровень инфляции в регионе (P2) и стоимость электроэнергии для промышленного сектора потребителей (P3).

Сопоставление разнородных по единицам измерения показателей решалась в несколько этапов. Сначала в ходе первичной обработки статистической информации по всем показателям проводилась процедура медианного сглаживания временных рядов. Тем самым снижалась погрешность преобразования данных для целей дальнейшего анализа и смещение по локальным экстремумам. После процедуры медианного сглаживания проводился расчет ускорений движения показателей, вошедших в описание структуры подпроцессов совокупного экономического процесса. Построение структурной модели осуществлялось на основе ранжирования движения показателей по убыванию величины ускорения их движения, а для оценки близости фактического и нормативного порядков использовались коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (по отклонениям) и Кендела (по инверсиям). Нормативный порядок показателей формировался экспертным путем, а весовые коэффициенты для величин ускорения по каждому показателю определялись на основе экспоненциальной зависимости от числа, обратного порядковому номеру показателя в группе.

Движение показателей фиксировалось годовым интервалом. Период наблюдения за совокупным экономическим процессом обеспечения города или городской агломерации общественным транспортом составил с 2013 по 2022 гг.

Результаты

В таблицах 1 и 2 представлены нормированные значения индикаторов, характеризующие совокупный экономический процесс на общественном транспорте Нижнего Новгорода, и расчетные значения ускорений (торможений) его компонентов для оценки результативности использования его потенциала и моделирования динамической структуры экономических процессов.

Таблица 1

Нормированные значения индикаторов совокупного экономического процесса на общественном транспорте Нижнего Новгорода

Структура совокупного экономического процесса		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Основные подпроцессы	M1	0,990	0,998	1,002	0,901	0,915	0,891	-0,862	1,336	1,663	1,862
	M2	0,330	0,330	0,329	0,327	0,328	0,328	0,327	0,330	0,331	0,332
	M3	0,323	0,324	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,324	0,324	0,324
Вспомогательные подпроцессы	S1	0,322	0,322	0,322	0,322	0,322	0,322	0,322	0,322	0,322	0,322
	S2	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321
	S3	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,324	0,323	0,323	0,323	0,323
Жизнеобеспечивающие подпроцессы	LS1	17,486	17,373	17,242	17,109	17,007	16,840	16,657	16,539	16,150	16,096
	LS2	0,632	0,625	0,640	0,660	0,653	0,703	0,724	0,759	0,840	0,935
	LS3	0,374	0,377	0,381	0,388	0,392	0,394	0,400	0,402	0,406	0,415
Подпроцессы, препятствующие развитию	P1	0,325	0,327	0,328	0,328	0,329	0,330	-0,350	-0,331	0,332	0,332
	P2	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321
	P3	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321

Источник: рассчитано автором

Нормированные значения индикаторов по группам подпроцессов служат основой для расчета динамики каждого индикатора, включенного в модель, и помогают сопоставлять разнородные процессы друг с другом.

Таблица 2

Расчетные значения ускорений (торможений) компонентов совокупного экономического процесса на общественном транспорте Нижнего Новгорода

Структура совокупного экономического процесса		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Основные подпроцессы	M1	-7,7	-8,0	13,4	-4,9	-0,7	69,1	-38,1	-14,2
	M2	-48,8	-40,6	127,7	-20,8	-89,0	841,1	-719,8	-46,8
	M3	-190,2	-32,5	45,6	714,3	-432,6	-246,8	14,5	-35,2
Вспомогательные подпроцессы	S1	250,0	-400,0	25,0	246,4	8,6	-80,0	100,0	-133,3
	S2	7,5	-5,2	-10,1	0,0	13,6	4,6	-10,4	-4,9
	S3	10,4	10,1	-29,9	-3,5	9,3	14,1	-6,6	4,0
Жизнеобеспечивающие подпроцессы	LS1	0,2	-1,5	-3,9	4,2	-0,3	-5,2	14,7	-19,4
	LS2	0,2	1,7	-9,4	19,7	-11,3	9,1	-0,8	5,5
	LS3	-0,3	-7,4	5,2	3,9	-9,5	8,3	-4,6	-21,9
Подпроцессы, препятствующие развитию	P1	8,4	2,1	-7,8	-6,6	17,4	-13,3	1,8	6,5
	P2	445,0	-459,9	17,8	-111,2	-25,8	-66,4	44,0	461,5
	P3	12,9	7,3	-5,9	-11,1	10,1	-1,0	2,0	-27,4

Источник: рассчитано автором

Так, например, в 2020 г. в Нижнем Новгороде наблюдалось резкое ускорение процесса перевозок общественным транспортом пассажиров на более длинные дистанции, резкий рост количества которых пришелся на 2018г.

Фактическое и целевое ранжирование подпроцессов совокупного экономического процесса на общественном транспорте Нижнего Новгорода представлено в табл. 3

Таблица 3

Фактическое и целевое ранжирование подпроцессов совокупного экономического процесса на общественном транспорте Нижнего Новгорода

Структура совокупного экономического процесса		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Целевое ранжирование
Основные подпроцессы	M1	12	12	1	12	11	1	12	12	5
	M2	11	11	2	8	9	3	10	11	6
	M3	10	5	5	2	2	11	3	10	4
Вспомогательные подпроцессы	S1	4	4	9	4	7	7	8	8	8
	S2	5	6	8	7	5	8	6	7	9
	S3	2	3	10	5	3	6	7	4	7
Жизнеобеспечивающие подпроцессы	LS1	8	8	4	10	8	4	11	2	1
	LS2	1	2	12	1	12	2	2	1	2
	LS3	7	1	11	11	1	12	1	3	3
Подпроцессы, препятствующие развитию	P1	9	10	3	3	10	5	9	9	12
	P2	3	9	6	9	4	10	4	5	11
	P3	6	7	7	6	6	9	5	6	10

Источник: рассчитано автором

На рис.1 представлены результаты количественной оценки синхронности изменения подпроцессов развития общественного транспорта Нижнего Новгорода. Она получена на основе сопоставления фактической структуры движения показателей, отобранных для моделирования совокупного экономического процесса на общественном транспорте Нижнего Новгорода, и целевой с применением двух коэффициентов ранговой корреляции Спирмена и Кендела. Целевая структура индикаторов отражает желаемые изменения в приросте численности населения города и улучшении качества жизни в городе. Индикаторы жизнеобеспечивающих процессов получили приоритет в целевой структуре – 1-3 ранги. Индикаторы основных подпроцессов отражают желаемый приоритет в развитии общественного транспорта города и увеличении его доли в транспортной системе: протяженность маршрутов общественного транспорта на 4 месте, а количество перевезенных пассажиров и пассажирооборот соответственно получили в целевом ранжировании 5 и 6 ранги. Учитывая ограниченные финансовые возможности как операторов общественного транспорта, так и населения, в группе вспомогательных подпроцессов приоритет получил индикатор, отражающий уровень финансовой поддержки развития общественного транспорта за счет бюджетных средств. Далее идут средний возраст парка подвижного состава, используемый на маршрутах и численность занятых на общественном транспорте. Общественный транспорт в городе конкурирует с частными автомобилями и средствами индивидуальной мобильности. Статистический учет объема транспортной работы, выполненной с применением средств индивидуальной мобильности, в настоящее время не ведется, поэтому был выбран индикатор - количество частных легковых автомобилей на 1000 населения города и ему присвоен последний 12-й ранг. Повышение скорости передвижения и снижение уровня загрязненности воздуха, шума и дорожно-транспортных происшествий возможно за счет приоритетного развития е-мобильности. В целевом ранжировании, в группе индикаторов, отражающих ограничения в развитии общественного транспорта, приоритетным является снижение стоимости электроэнергии для промышленного сектора потребителей и уровня инфляции в регионе. Данные индикаторы получили в целевом ранжировании 10 и 11 ранги.

Учитывая логику целевого ранжирования и фактическую структуру динамики индикаторов за период наблюдения с 2013 по 2022гг., эффективность принимаемых решений в соответствии с приоритетом целей составила в среднем за период менее трети от потенциально возможного уровня (0,302). Диапазон изменения этого показателя от 0 до +1. Следовательно, согласованность подпроцессов в совокупном экономическом процессе развития общественного транспорта не высокая. Однако, наблюдается тенденция к росту уровня согласованности принимаемых решений и результатов их реализации на общественном транспорте Нижнего Новгорода. За пять лет, с 2017г. по 2022г. результативность использования потенциала общественного транспорта с позиции согласованности взаимодействия подпроцессов, составляющих совокупный экономический процесс развития общественного транспорта в Нижнем Новгороде улучшилась и составила к концу наблюдаемого периода 0,418. Несмотря на продолжающийся рост уровня автомобилизации, принятые меры по упорядочению работы операторов регулярных перевозок на общественном транспорте Нижнего Новгорода и усилению контроля, привели к преломлению ситуации в пассажирском сегменте транспортной системы города. Многие эксперты отмечают положительный эффект от централизации городских пассажирских перевозок общественным транспортом [13]. Эффект масштаба также может быть реализован за счет улучшения соответствия между размером пассажиропотоков на маршрутах и грамотным подбором вместимости подвижного состава, работающего на данных маршрутах.



Рис.1. Результативность использования потенциала общественного транспорта в Нижнем Новгороде
Источник: смоделировано автором

На рис. 2 представлена модель динамической структуры экономических подпроцессов на общественном транспорте Нижнего Новгорода. Она позволяет на основе анализа ускорения или торможения движения показателей по каждому из подпроцессов сделать вывод о типе развития общественного транспорта и результативности режима его функционирования в каждом году исследуемого периода (табл.4).

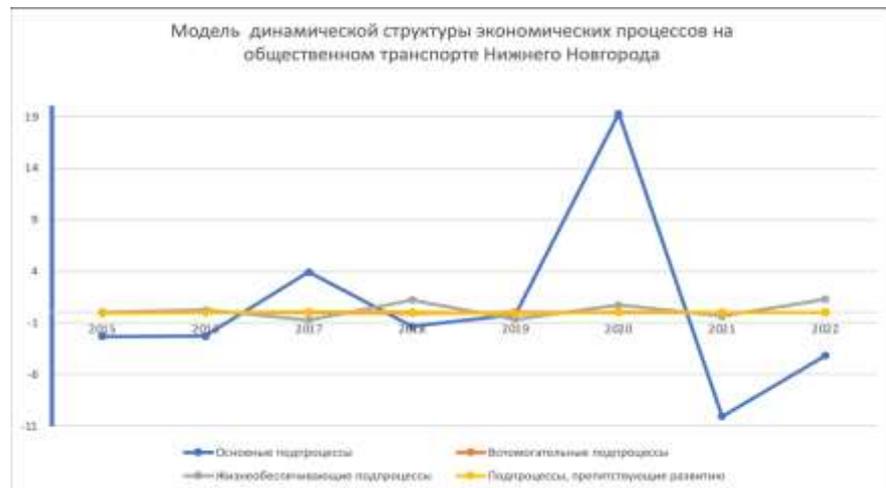


Рис. 2. Модель динамической структуры экономических подпроцессов на общественном транспорте Нижнего Новгорода
Источник: смоделировано автором

Таблица 4

Качественная оценка совокупного экономического процесса на общественном транспорте Нижнего Новгорода

Ускорение (+) / торможение (-) подпроцессов	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Основные подпроцессы	-2,320	-2,296	3,906	-1,345	-0,198	19,282	-10,093	-4,186
Вспомогательные подпроцессы	0,007	-0,005	0,004	-0,023	0,013	0,003	0,004	0,009
Жизнеобеспечивающие подпроцессы	-0,004	0,254	-0,725	1,207	-0,654	0,695	-0,358	1,271
Подпроцессы, препятствующие развитию	-0,102	-0,041	0,075	0,036	-0,134	0,081	-0,018	-0,039
Динамическая структура экономических процессов	LS>P>MS	LS>P>MS	MS>P>LS	LS>P>MS	P>MS>LS	MS>LS>P	P>LS>MS	LS>P>MS
Тип развития	Неустойчивый спад	Неустойчивый спад	Неустойчивый рост	Неустойчивый спад	Неустойчивый спад	Устойчивый рост	Устойчивый спад	Неустойчивый спад
Тип совокупного экономического процесса	Нерезультативный с улучшением уровня развития	Нерезультативный с улучшением уровня развития	Результативный с сохранением уровня развития	Нерезультативный с улучшением уровня развития	Нерезультативный с сохранением уровня развития	Результативный с улучшением уровня развития	Нерезультативный с ухудшением уровня развития	Нерезультативный с улучшением уровня развития

Источник: рассчитано автором

Анализ динамической структуры экономических подпроцессов показал, что совокупный экономический процесс на общественном транспорте Нижнего Новгорода в основном показывает неустойчивый спад с преобладанием нерезультативного типа с колебаниями между ухудшением, сохранением и улучшением уровня развития. Согласно рейтингу качества обслуживания населения общественным транспортом в городах [12], Нижний Новгород занимал в 2022 году 6-е место (65,8 балла) и в 2023 году - 4-е место (71,8 баллов из 100). Обращает на себя внимание, что оценки, полученные по данной методике и методике, применяемой экспертами Ассоциации транспортных инженеров и коллектива компании SIMETRA, по группе показателей устойчивость развития и безопасность дают одинаковые результаты. Как отмечалось ранее, результативность использования потенциала общественного транспорта с позиции согласованности взаимодействия подпроцессов, составляющих совокупный экономический процесс развития общественного транспорта в Нижнем Новгороде составила 0,418 в 2022 году. В соответствии с данными компании SIMETRA устойчивость развития и безопасность общественного транспорта в Нижнем Новгороде – (48¹ – 44²). Более высокий вклад внесли группы показателей: физическая (80 - 78) и ценовая (64 - 94) доступность, функциональность транспортной сети (63 - 60), комфорт и удобство (71 - 85). Эти аспекты качества общественного транспорта Нижнего Новгорода непосредственно не были включены в модель динамической структуры экономических подпроцессов на общественном транспорте Нижнего Новгорода, но при накоплении достаточного по количеству наблюдений массива данных из рейтинга качества общественного транспорта в городах компании SIMETRA для применения метода структурного моделирования можно ожидать лучшей степени отображения моделью реальных свойств объекта изучения.

Обсуждение

Значительным преимуществом методологии измерений в экономическом пространстве является единство и комплексность получаемой оценки. Данная методология помогает рассмотреть любой социально-экономический объект как динамическую организацию, в которой постоянно протекают процессы, изменяющие соотношения между элементами. Следовательно, формируется возможность изучить не только текущее состояние, но и оценить величину динамических резервов, которыми обладает социально-экономическая система, выбрать точку приложения, интенсивность и продолжительность усилий по переводу ее в желаемое состояние, синхронизировать темпы внутренних процессов с темпами изменения факторов

¹ Данные рейтинга за 2022 г.[12]

² Данные рейтинга за III квартал 2023 г.[12]

внешней среды. Так, например, в данном исследовании включение в модель не только основных и вспомогательных подпроцессов, но и подпроцессов, которые обеспечивают жизнедеятельность и ограничивают развитие общественного транспорта в городах и городских агломерациях, формируют более достоверную итоговую оценку достигнутого уровня его организации за счет использования рангов, отражающих динамику показателей данных подпроцессов и их взаимовлияние.

Сфера применения структурного моделирования может быть достаточно широка, так как носит универсальный характер и отражает современное представление о динамических организациях.

Наиболее узким местом данной методологии измерений является набор индикаторов, с помощью которых описывается функционирование социально-экономической организации, в частности общественного транспорта в городах и городских агломерациях. Набор показателей, характеризующих подпроцессы развития общественного транспорта должен отражать не только количественные, но и качественные показатели. Эту проблему следует решать в госпрограмме «Цифровые данные», которая предполагает существенную реформу организации статистической отчетности, запланированную на ближайшие три года.

Следует отметить, что научный задел в изучении сложных пространственно-распределенных систем общественного транспорта был заложен на кафедре «Управление пассажирскими перевозками» Государственного университета управления под руководством доктора экономических наук, профессора В.А. Персианова при активном взаимодействии с Институтом комплексных транспортных проблем в конце XX века. Как отмечалось ранее, компания SIMETRA и эксперты Ассоциации транспортных инженеров совместно с ПАО «ВЭБ» проводят значительную методологическую работу по формированию рейтинга качества общественного транспорта в городах России и накоплению статистической базы данных, включающей показатели, которые не отражаются в полной мере существующей системой статистического учета, особенно на уровне городов и городских агломераций. В докладе авторского коллектива НИУ ВШЭ [13] представлена методика расчета производительности системы массового пассажирского транспорта по предложению, которая восполняет серьезный пробел в организации учетно-статистической работы в разрезе городов. Авторы отмечают публичную закрытость данного рода информации [13 с.24], что что снижает эффективность принимаемых градостроительных и транспортных решений в городах. Вместе с тем они вносят конкретные предложения по включению в статистический учет транспортных и транспортно-градостроительных показателей. Важно вести учет по следующим транспортным показателям: удельный объем предложения всеми видами массового пассажирского транспорта³ на 1 тыс. населения; средняя задублированность интегральной маршрутной сети (число маршрутов через одну остановку); соотношение средней вместимости парка массового пассажирского транспорта и объема перевезенных пассажиров в пиковый период (8:15 – 9:15); возрастная структура всех видов массового пассажирского транспорта; протяженность графа сети трамваев и безрельсового массового пассажирского транспорта; топологию сети по классу сложности и числу циклических элементов. Причем обе исследовательские группы сходятся во мнении о необходимости выделять отдельно электротранспорт и протяженность выделенных полос по категориям. В целях учета градостроительных особенностей авторы рекомендуют иметь данные о доле застроенной территории от площади городского округа с распределением населения по типу жилья – многоквартирные дома и индивидуальное жилищное строительство; плотность населения в пределах застроенной территории;

³ Авторы считают, что термин «массовый пассажирский транспорт» или «Mass Transit» наиболее точно соотносится с зарубежными определениями и отражает две ключевые специфики: надтерриториальность обслуживания (агломерации) и функциональность

отношение застроенной территории к уровню обслуженной массовым пассажирским транспортом населения; численность населения в зонах пешеходной доступности остановок.

Безусловно, наличие и доступность предложенных показателей могла бы существенно обогатить описание совокупного экономического процесса на общественном транспорте в городах и городских агломерациях и способствовало бы более тонкой настройке методологии структурного моделирования при оценке согласованности действия ключевых стейкхолдеров как в процессах целеполагания, так и в процессах планирования, мониторинга, анализа и оценки эффективности их взаимодействия в экономическом пространстве городов и городских агломераций. Принимая во внимание значимость общественного транспорта в достижении глобальных целей ООН в области устойчивого развития, совершенствование статистики общественного транспорта позволит перевести субъективные оценочные мнения об устойчивом развитии общественного транспорта из интуитивно-описательной плоскости в объективно-аналитическую.

Заключение

Современный этап развития российской экономики и, в частности, экономического пространства городов и городских агломераций характеризуется как этап формирования взаимосвязанных полиструктурных систем, функционирующих на основе координации и саморегулирования. Городские транспортные системы и их подсистемы – общественный транспорт или массовый пассажирский транспорт – это форма отношений между экономическими подпроцессами социально-экономических субъектов в экономическом пространстве города или городской агломерации, которая имеет целесообразно построенную структуру и возможностями ее самоподдержания. Целесообразность построения его структуры и самоподдержание устойчивости функционирования могут характеризоваться различной временной стабильностью или устойчивостью. Следовательно, периодически возникает потребность в количественном и качественном измерении величины и направления рассогласования составляющих совокупного экономического процесса развития любого системного объекта.

Анализ методологии и методов, позволяющих с макроэкономических позиций рассматривать процессы, происходящие в экономическом пространстве, позволяет представить городской пассажирский транспорт как социально-экономическую систему, в которой протекает одновременно четыре вида подпроцессов: основные, вспомогательные, жизнеобеспечивающие и препятствующие развитию. Результативность режима функционирования общественного транспорта может быть оценена с помощью динамического порядка показателей, характеризующих каждый вид подпроцесса. Величина результативности показывает, насколько фактический режим функционирования общественного транспорта в городах и городских агломерациях соответствует целевому порядку показателей.

В работе была сформирована система из 12 показателей для характеристики подпроцессов на общественном транспорте Нижнего Новгорода и построена модель их динамической структуры за период с 2013 по 2023гг. На основании проведенных расчетов сделан вывод, о том, что результативность использования потенциала общественного транспорта относительно целевой динамики показателей оставалась относительно не высокой. Тип развития общественного транспорта в Нижнем Новгороде нельзя считать устойчивым, несмотря на наметившиеся отдельные улучшения в его функционировании. Это уловила методика ранжирования качества работы общественного транспорта в городах РФ компании SIMETRA, расположив общественный транспорт Нижнего Новгорода на 4-м месте. Вместе с тем, согласно методике расчета производительности системы массового пассажирского транспорта

по предложению, отмечается избыточность мощностей по отдельным его видам и направлениям и высокая задублированность интегрированной маршрутной сети.

Совершенствование статистики общественного транспорта с учетом усложнения городских транспортных систем и их взаимоотношений с ключевыми стейкхолдерами в экономических пространствах городов и городских агломераций в рамках национального проекта «Цифровые данные» позволит разработать инструментарий, позволяющий перевести субъективные оценочные мнения об устойчивом развитии общественного транспорта из интуитивно-описательной плоскости в объективно-аналитическую.

Благодарности

Автор благодарит профессорско-преподавательский состав школы системного транспортного менеджмента Государственного университета управления, системного анализа в экономике и общего и проектного менеджмента Финансового университета при Правительстве РФ, а также руководство Транспортной секции Центрального дома ученых РАН за возможность плодотворной дискуссии и развития компетенций сложносистемного мышления.

Список литературы

1. Клейнер Б.Г. Системная экономика: шаги развития: Монография / Г.Б. Клейнер. Предисловие академика В.Л. Макарова. – Издательский дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2021. - 746с.
2. Козлов, П. А. О системах и системности на транспорте / П. А. Козлов // Транспорт Урала. 2016. № 2(49). С. 3-8. DOI 10.20291/1815-9400-2016-2-3-8
3. Козлов, П. А. Системные исследования - новый подход / П. А. Козлов // Наука и техника транспорта. 2014. № 1. С. 46-50
4. Научная мысль в развитии транспорта России: историческая ретроспектива, проблемные вопросы и стратегические ориентиры: Коллективная монография / В. С. Горин, В. А. Персианов, А. А. Степанов [и др.]; Коллектив авторов. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «ТРАНСЛИТ», 2019. 496 с. – ISBN 978-5-94976-130-8
5. Персианов, В. А. Особенности управления городским транспортом за рубежом / В. А. Персианов, А. В. Курбатова, Е. С. Курбатова // Актуальные проблемы управления - 2018 : материалы 23-й Международной научно-практической конференции, Москва, 14–15 ноября 2018 года / Государственный университет управления. Том Выпуск 2. – Москва: Государственный университет управления, 2019. С. 87-89
6. Горин, В. С. Пассажирский транспорт как фактор повышения эффективности миграционных процессов / В. С. Горин, В. А. Персианов, А. В. Курбатова // Общество. Доверие. Риски: Доверие к миграционным процессам. Риски нового общества: Материалы Международного форума, Москва, 02 октября 2019 года / Под общей редакцией П.В. Терелянского. Том Выпуск 2. – Москва: Государственный университет управления, 2019. С. 151-153.
7. Актуализация транспортной стратегии России как необходимое условие обеспечения экономического прорыва и национальной безопасности страны на этапах геополитического противостояния: Коллективная монография: в 2-х частях / З. Б. Амирова, Л. Б. Аристова, Ю. М. Баженов [и др.]. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. 482 с. – ISBN 978-5-901722-79-4
8. Актуализация транспортной стратегии России как необходимое условие обеспечения экономического прорыва и национальной безопасности страны на этапах геополитического противостояния: Коллективная монография: в 2-х частях / З. Б. Амирова, Л. Б. Аристова, Ю. М. Баженов [и др.]. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. 336 с. – ISBN 978-5-901722-83-1
9. Управление транспортными потоками в городах: Монография / Е. А. Андреева, К. Беттгер, Е. В. Белкова [и др.]; Под общей редакцией А.Н. Бурмистрова, А.И.

- Солодкого. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 207 с. – (Научная мысль). – ISBN 978-5-16-014845-8. – DOI 10.12737/monography_5c934bfb92895.69806950
10. Персианов, В. А. Проблемные вопросы методологии исследований и управления транспортом России на завершающем этапе реструктуризации отрасли / В. А. Персианов, А. А. Степанов, Т. М. Гайноченко // Управление. 2017. Т. 5, № 3. С. 11-16.
 11. Бияков, О. А. Теория экономического пространства: методологический и региональный аспекты / О. А. Бияков; Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева. – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2004. 151 с. – ISBN 5-7511-1832-4
 12. Рейтинг городов России по качеству общественного транспорта, 2023. URL: <https://publictransport.simetragegroup.ru/rating> (дата обращения: 15.01.2025)
 13. Зюзин, П. В. Транспортные системы городов России: современное состояние и перспективы развития : докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2022 г. ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. 80 с. - ISBN 978-5-7598-2651-4 (в обл.). — ISBN 978-5-7598-2461-9 (e-book). [https://www.hse.ru/data/2024/03/01/2082501800/Транспортные системы городов России-доклад.pdf](https://www.hse.ru/data/2024/03/01/2082501800/Транспортные%20системы%20городов%20России-доклад.pdf) (дата обращения. 16.01.2025)

References

1. Kleiner B.G. Systemic economics: development steps / G.B. Kleiner. Preface by the academician V.L. Makarov. – Publishing house «NAUCHNAYA BIBLIOTEKA», 2021. 746p. (in Russ.)
2. Kozlov, P. A. About systems and system of transport / P. A. Kozlov // Transport Urala. 2016. № 2(49). P. 3-8. – DOI 10.20291/1815-9400-2016-2-3-8 (in Russ.)
3. Kozlov, P. A. Systemic research – new approach / P. A. Kozlov // Nauka i tekhnika transporta. 2014. № 1. P. 46-50 (in Russ.)
4. Scientific thought in the development of Russian transport: a historical retrospective, problematic issues and strategic guidelines: A collective monograph / V. S. Gorin, V. A. Persianov, A. A. Stepanov [et al.]; Collective of authors. – Moscow: TRANSLIT Limited Liability Company, 2019. 496 p. – ISBN 978-5-94976-130-8 (in Russ.)
5. Persianov, V. A. Features of urban transport management abroad / V. A. Persianov, A.V. Kurbatova, E. S. Kurbatova // Actual Problems of Management - 2018: proceedings of the 23rd International Scientific and Practical Conference, Moscow, November 14-15, 2018 / State University of Management. Volume Issue 2. Moscow: State University of Management, 2019. pp. 87-89 (in Russ.)
6. Gorin, V. S. Passenger transport as a factor in increasing the efficiency of migration processes / V. S. Gorin, V. A. Persianov, A.V. Kurbatova // Society. Trust. Risks: Trust in migration processes. Risks of the New Society: Proceedings of the International Forum, Moscow, October 02, 2019 / Under the general editorship of P.V. Terelyansky. Volume Issue 2. Moscow: State University of Management, 2019. pp. 151-153 (in Russ.)
7. Updating Russia's transport strategy as a necessary condition for ensuring an economic breakthrough and national security of the country at the stages of geopolitical confrontation: A collective monograph: in 2 parts / Z. B. Amirova, L. B. Aristova, Yu. M. Bazhenov [et al.]. - Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2023. 482 p. – ISBN 978-5-901722-79-4 (in Russ.)
8. Updating Russia's transport strategy as a necessary condition for ensuring an economic breakthrough and national security of the country at the stages of geopolitical confrontation: A collective monograph: in 2 parts / Z. B. Amirova, L. B. Aristova, Yu. M. Bazhenov [et al.]. - Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2023. 336 p. – ISBN 978-5-901722-83-1 (in Russ.)
9. Traffic flow management in cities: A monograph / E. A. Andreeva, K. Bettger, E. V. Belkova [et al.]; Under the general editorship of A.N. Burmistrov, A.I. Solodky. – Moscow: Limited Liability Company "Scientific Publishing Center INFRA-M", 2019. – 207 p. – (Scientific thought). – ISBN 978-5-16-014845-8. – DOI 10.12737/monography_5c934bfb92895.69806950 (in Russ.)

10. Persianov V. A., Stepanov A. A., Gainochenko T. M. Problematic issues of research methodology and management of transport in Russia at the final stage of industry restructuring // Management. 2017. Vol. 5, No. 3. pp. 11-16 (in Russ.)
11. Biyakov, O. A. Theory of economic space: methodological and regional aspects / O. A. Biyakov; Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev. Tomsk: National Research Tomsk State University, 2004. 151 p. ISBN 5-7511-1832-4 (in Russ.)
12. Rating of Russian cities on the quality of public transport, 2023. URL: <https://publictransport.simetracgroup.ru/rating> (date of request: 15.01.2025) (in Russ.)
13. Zyuzin, P. V. Transport systems of Russian cities: Current state and development prospects: proceedings of the XXIII Yasinskaya (April) International Scientific Conference on Problems of Economic and Social Development, Moscow, 2022; National research. University of Higher School of Economics. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2022. 80 p. - ISBN 978-5-7598-2651-4 (in the region). — ISBN 978-5-7598-2461-9 (e-book). [https://www.hse.ru/data/2024/03/01/2082501800/Transport systems of Russian cities-report.pdf](https://www.hse.ru/data/2024/03/01/2082501800/Transport%20systems%20of%20Russian%20cities-report.pdf) (accessed. 16.01.2025) Scientific thought in the development of Russian transport: Collective monograph/ V. S. Gorin, V. A. Persianov, A. A. Stepanov [i dr.] ; Kollektiv avtorov. – : Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu «TRANSLIT», 2019. 496 s. – ISBN 978-5-94976-130-8 (in Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ/INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Гайноченко Татьяна Михайловна, кандидат экономических наук, доцент кафедры общего и проектного менеджмента Факультета «Высшая школа экономики» Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, 125167, Москва, Ленинградский проспект, д.49/2, e-mail:TMGajnochenko@fa.ru

Tatiana M. Gainochenko, Ph.D. in Economics, Associate professor of the Department for General and Project Management, Faculty of Higher School of Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, e-mail:TMGajnochenko@fa.ru

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 331.1

DOI: 10.37890/jwt.vi82.573

Проблемы управления интенсивностью труда работников водного транспорта

Р.И. Каравашкина

ORCID: 0000-0002-7263-9001

Ю.Р. Гуро-Фролова

ORCID: 0000-0002-6048-8576

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

Аннотация. С ростом применения информационных технологий, усложнением всех производственных процессов и построением цифровой модели экономики актуальным вопросом является совершенствование организации труда рабочей силы и выбор методов определения такого важного социально-экономического явления как интенсивность труда. Снижение чрезмерной интенсивности труда, повышение недостаточной интенсивности труда как на отдельных рабочих местах, так и в целых производственных подразделениях или даже отраслях также представляется важным. Управление интенсивностью труда рабочей силы связано не только с ее измерением или оценкой. Возникает основная теоретическая и практическая задача – разработка комплекса мероприятий по обеспечению нормальной интенсивности труда, с учетом базовых экономических, организационных, психофизиологических и социальных факторов. Делается акцент на внедрении новых технологий, в том числе в рамках создания цифровой модели экономики, что может привести к качественным изменениям в условиях труда, степени его интенсивности, использованию гибких графиков работы, сокращению продолжительности рабочего дня и появлению новых форм занятости.

Ключевые слова: интенсивность труда, производительность труда, факторы интенсивности труда, повышение уровня организации труда.

Problems of labor intensity management considering water transport workers

Renata I. Karavashkina

ORCID: 0000-0002-7263-9001

Yulya R. Guro-Frolova

ORCID: 0000-0002-6048-8576

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Due to the growing usage of information technology, complication of all production processes and digital economy model development, an urgent issue is the improvement of labor organization and considering methods for determining such an important socio-economic phenomenon as labor intensity. Excessive labor intensity reduction and insufficient labor intensity increase considering individual workplaces and the entire production units or even industries are important. Labor intensity management is associated not only with labor workforce measurement or assessment. The main theoretical and practical task is the strategy development to ensure optimal labor intensity, considering basic economic, organizational, psychophysiological and social factors. New technologies' introduction is focused on, including digital economy model development, leading to qualitative changes in working conditions, labor intensity degree, flexible working schedules usage, working day reduction and new employment forms emergence.

Keywords: labor intensity, labor productivity, labor intensity factors, labor organization level increase.

Введение

Вопросы изучения и оптимизации интенсивности труда теоретически связаны с необходимостью контроля за мерой труда. При этом задача повышения экономической эффективности общественного производства связана с полным и рациональным использованием производственных ресурсов: рабочего времени, оборудования, предметов труда.

Управление интенсивностью труда связано не только с ее измерением или оценкой. Важным представляется процесс формирования и интеграции в производственную деятельность организаций комплекса мероприятий, включающих не только экономический аспект, но также мероприятий, связанных с решением социальных, психологических и физиологических задач, направленных на оптимизацию условий труда. Как показывает практический опыт, данный комплекс, входящий в краткосрочные и долгосрочные планы развития предприятия, оказывает положительное влияние на эффективность деятельности как отдельного работника, так и предприятия в целом [1].

Методы

Современная экономика труда рассматривает понятие интенсивности как сложную экономическую категорию. Понимание ее сущности необходимо для задействования в деятельности предприятия ранее неосвоенных резервов эффективности труда. Кроме того, следует помнить, что труд неотделим от работника, а значит вопросы интенсивности труда неразрывно связаны с социальной стороной трудовой деятельности [2].

В широком смысле под интенсивностью труда понимают степень напряженности работника в процессе труда. Факторами, определяющими степень интенсивности труда, являются: климат, пол, состояние здоровья, отношение работника к труду, состояние рабочего места, уровень организации труда на рабочем месте, в отделе, производственном участке или на предприятии, качество психологического климата в трудовом коллективе и некоторые другие.

Сложность данной социально-экономической категории состоит в необходимости оценки совокупности израсходованных физических усилий, опыта, профессиональных навыков, умений, творческих возможностей и нервных затрат. Экономическая наука в настоящее время измеряет интенсивность труда как отношение затрат труда к затратам рабочего времени. Сложность состоит в том, каким именно образом можно измерить «затраты труда», а также какие именно затраты времени использовать в расчете [3].

«Затраты труда» можно рассматривать как результирующий показатель, например, фактическую трудоёмкость или выработку. Под затратами рабочего времени можно понимать месячный фонд рабочего времени из расчета, к примеру, 40-часовой рабочей недели, или эффективный фонд времени работы. $Ит = Зт / Зрв$, где $Ит$ – коэффициент интенсивности труда, $Зт$ - затраты труда, чел.-час; $Зрв$ - затраты рабочего времени, чел.-час.

Существует мнение, что интенсивность труда выступает в качестве степени загруженности работника, степени «усталости или утомленности» последнего. Мы позиционируем это неверным. Регулярные задержки по окончании рабочего дня на рабочем месте, изможденность, а также интенсивная работа на износ не могут являться высокой степенью интенсивности труда работника. По нашему мнению, следует рассматривать интенсивность труда как одну из характеристик эффективности труда, его продуктивности или производительности. Интенсивный

труд характеризуется результативностью работника, показывает его фактические достижения, полученные за нормативную продолжительность рабочего времени. При этом, интенсивность труда не является равнозначным по смыслу понятием показателю выполнения норм [4].

Интенсивность труда зависит от действия множества экономических и социальных факторов, представленных на рисунке 1: условия труда, характер труда, уровень организации труда, уровень физического состояния работника и его специфические физиологические особенности в процессе трудовой деятельности, психологический климат в коллективе и психологическое состояние работника, отношение работника к труду, мотивация трудовой деятельности, в том числе нематериальная, дисциплинированность работника.



Рис.1. Факторы интенсивности труда

Результаты

В современном мире организация труда работников, как система по установлению благоприятных условий в целом имеет конечной целью повышение эффективности работника и предприятий в целом [5]. При этом, итоговой целью этого процесса выступает комплексная реализация отдельных задач:

а) экономических, связанных с повышением эффективности труда работников, проявляющейся в росте качественных характеристик труда и росте его интенсивности;

б) психологических, которые коррелируют с усовершенствованием и оптимизацией условий труда кадрового состава организаций, при этом фокус задачи - поддержание психолого-физиологического здоровья работников в целях поддержания высокой работоспособности последних;

в) социальных, делающих упор на расширение трудового потенциала как работников, так и организации, а также на интенсификацию мотивационной трудовой активности,

г) психологических, которые взаимосвязаны с улучшением условий труда и выполняют задачу сохранения физического и психологического здоровья, а также поддержание интенсивной работоспособности.

В научной литературе [6, 7, 8, 9 и др.] представлены, а авторами статьи обобщены импонирующие им положения, представленные на рисунке 2, касательно организации эффективной трудовой деятельности работников организации при этом эффективность напрямую связана с корректно выстроенным трудовым процессом в соответствии с определенными правилами, в частности:

1. Распределение работ в соответствии с квалификацией работника с учетом последующего взаимодействия групп работников.
2. Безопасность и комфортные условия трудовой деятельности, социальная защита работников организации.
3. Соблюдение трудовой дисциплины, а также осуществление разумного контроля над ее соблюдением.
4. Формирование и поддержание мотивации трудовой деятельности в рамках системы оплаты труда, а также посредством нематериальных стимулов.
5. Организация повышения квалификации работников.
6. Разработка и внедрение в организации системы выявления уровня производительности труда и реализация мероприятий по повышению ее производительности.
7. Элиминация нерациональных затрат рабочего времени за счет оптимизации трудовых процессов в организации.
8. Совершенствование условий труда работников, включая оснащение рабочего места всем необходимым оборудованием.



Рис. 2. Комплекс составляющих эффективной трудовой деятельности

Как показывает практика, интенсификация трудовой деятельности без учета и проработки указанных выше факторов, сопровождается активизацией отрицательных психофизиологических последствий, что снижает производительность труда не только в краткосрочном, но и более длительном периодах [10].

К перегрузке и истощению нервной системы, нарушениям функциональных состояний работника может привести такое оснащение и организация рабочего места, в которой работник подвергается воздействию негативных факторов рабочей среды, а именно воздействию температуры воздуха, шума, освещения и т.п. Снижение работоспособности и ухудшение самочувствия работника вследствие его нервного и физического перенапряжения может повлечь за собой и нерациональная организация труда, предполагающая несистематическую по интенсивности работу, сочетающую длительные интервалы простоя, бездействия с периодами гиперактивности.

Не менее значим для эффективной трудовой деятельности психологический климат в коллективе работников, как результат комплексного воздействия, взаимодействия и сочетаемости личностных характеристик, а также индивидуального менеджмент-стиля руководителя. При этом одним из ключевых факторов оптимизации психологического климата в коллективе работников, к примеру, по мнению исследователя Н.Н. Ахмедовой, с которым солидарны авторы статьи, является снижение уровня конфликтности [11].

Не менее значимо формирование условий, элиминирующих возникновение конфликтных ситуаций в трудовом коллективе, которые носят деструктивный характер и отрицательным образом сказываются на эффективности трудовой деятельности. По этой причине обучение, как минимум руководителей структурных подразделений, продуктивным приемам конфликт-менеджмента, с точки зрения авторов статьи, может положительным образом повлиять на последующую оптимизацию трудовой деятельности организации в целом.

Авторы статьи склонны полагать, что отношение работника к исполнению собственных индивидуальных трудовых обязанностей оказывает непосредственное влияние на продуктивность его трудовой деятельности, при этом отношение к последней, с позиции авторов, предстает в качестве комплексной социально-психологической трех компонентной системы, представляющей единство а) мотивов реализации трудовой деятельности, б) оценивания трудовой ситуации и в) фактического трудового поведения. С первым элементом (а) связаны социально-психологические побудители трудовой деятельности. Второй элемент (б) коррелирует с внутренним, субъективным оцениванием трудовой деятельности работником. Трудовая активность работника организации в рамках имплементации первых двух элементов (мотив и оценивание) фокусируется в третьем элементе (в), при этом качественным образом меняется выполнение работы, инициативность работника и его дисциплинированность.

Можно проследить и обозначить типовые факторы, влияющие на отношение работника к трудовой деятельности в организациях различного профиля, в том числе и организациях водного транспорта, к которым можно отнести: уровень оплаты труда, уровень организации рабочего места, заработную плату; техническую оснащенность выделенного рабочего места сотрудника; условия труда, психологический климат в коллективе, стиль руководства. При этом, важной компонентой процесса генерации благоприятного психологического климата с позиции исследователя Грибовой Я.В. [12] выступает удовлетворенность работника трудовой деятельностью, которая имеет multifunctional характер, складываясь из сочетания элементов, представленных на рисунке 3.

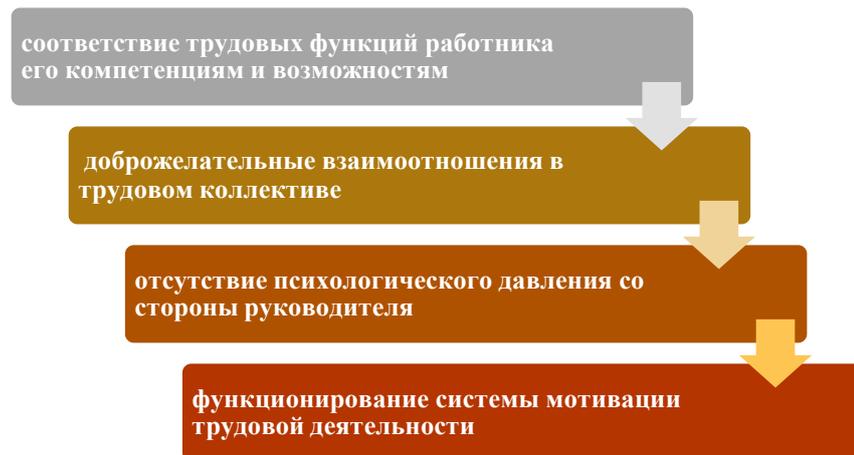


Рис. 3. Составляющие удовлетворенности трудовой деятельностью

Касательно последнего компонента составляющих удовлетворенности трудовой деятельности – трудовой мотивации – мы можем оттолкнуться от собственного определения понятия мотивации деятельности как внутриспсихологической, динамической системы, генерирующей человеческую активность; системы, представляющей собой совокупность мотивов, образующихся из потребностей, где мотив является опредмеченной потребностью [13]. При этом, в качестве мотивации трудовой деятельности мы можем рассматривать совокупность мотивов – опредмеченных потребностей, которые удовлетворяются посредством трудовой деятельности.

Обсуждение

В современных отечественных организациях, в том числе и сферы водного транспорта, система мотивации трудовой деятельности в большей степени связана с фондом оплаты труда и всевозможными дополнительными выплатами по результатам личной деятельности работника или деятельности организации в целом за определенный период, при этом нематериальные формы мотивации трудовой деятельности работников набирают популярность. К примеру, к нематериальным формам мотивации работников водного транспорта авторы относят разного рода льготы на приобретение услуг или продукции организаций (скидки на обучение работников, в том числе для членов семьи работника, в образовательных учреждениях Федерального агентства морского и речного транспорта (далее по тексту – ФАМРТ), скидка на покупку билетов на пассажирские суда и туристических продуктов, подарки с символикой ФАМРТ, организация летнего отдыха работников и их семей и т.д.

В ряде стран мира в целях создания благоприятных условий труда и повышения продуктивности трудовой деятельности своих работников организации внедряют сокращенную рабочую неделю с одновременным удлинением продолжительности работы в рамках рабочего дня. Такое изменение в графике работы сопровождается ростом интенсивности труда.

В нашей стране подобные предложения, предполагающие увеличение продолжительности трудового дня до 10 часов, вместо стандартных 8, но сокращение рабочей недели до 4 дней (модель «4 на 10»), появляются регулярно, порождая

множество споров, однако, широкомасштабное внедрение модели на данный момент не реализовано.

Современная действительность такова, что можно определить следующие положительные, повышающие производительность труда работника аспекты модели «4 на 10», представленные на рисунке 4, к которым мы относим:

1. Элиминация или снижение уровня стресса у работника, что положительным образом сказывается на общих показателях психологического и физиологического здоровья и общего самочувствия.
2. Возможность самореализации в дополнительное высвободившееся у работника время (дополнительное образование, путешествия, новое хобби и т.п.).
3. Интервальная смена нескольких видов деятельности (основная работа – хобби – дополнительное образование) при наличии трех выходных дней благоприятным образом сказывается на снижении уровня профессионального эмоционального выгорания.
4. Сокращение затрат организации на коммунальные услуги.
5. Снижение негативного влияния деятельности человека на экологическую обстановку и окружающую среду за счет сокращения количества поездок работников организаций посредством общественного и личного транспорта.

К недостаткам четырехдневной рабочей недели можно отнести следующие факторы:

1. Возможное снижение зарплат, сокращение премий и прочих выплат при увеличении штата сотрудников и количества смен.
2. Доработка в выходные дни и свое личное время без соответствующих компенсаций от работодателя при нехватке времени на выполнение своих основных трудовых обязанностей.
3. Невозможность перехода на четырехдневную рабочую неделю для некоторых организаций и ряда отраслей, к которым относятся организации сферы услуг, строительство, грузоперевозки, в том числе и водным транспортом, сельское хозяйство, здравоохранение и т.п.

Принимая во внимание положительные и отрицательные аспекты модели трудовой деятельности «4 на 10», мы склонны полагать, что необходим комплексный эксперимент по ее внедрению в организации разных сфер деятельности для того, чтобы сделать окончательный вывод. Сокращение числа рабочих дней, при удлинении продолжительности рабочего дня, означает при этом, что общее количество рабочих часов остается неизменным. Увеличение продолжительности рабочего дня имеет свои положительные и отрицательные стороны. Такая форма организации труда должна оцениваться с точки зрения учета значительного количества факторов. Например, удалённости места работы сотрудника, характера технологического процесса, режима труда и отдыха и др.



Рис. 4. Положительные аспекты внедрения сокращенной рабочей недели с увеличением продолжительности рабочего дня

При изменении интенсивности труда работников требуется определение чётких границ интенсивности труда, критериев их различия, измерение ее величины. Практическая значимость данной задачи велика. Апробация мероприятий по совершенствованию организации труда, сопровождающихся изменениями в его интенсивности связана с оценкой степени или вида интенсивности труда чрезвычайно важна.

Принято различать следующие виды интенсивности труда: нормальную, чрезмерную и недостаточную.

Нормальная интенсивность труда определяется сложностью используемых в производственно-хозяйственной деятельности технологий и уровнем развития производительных сил. Она изменяется по мере развития общества и экономических систем. Нормальная интенсивность труда означает применение рациональных приемов и методов труда, нормального темпа выполнения работы. Рабочее время используется полностью и без потерь, условия труда благоприятны, реализуется социальная, творческая, гармонизирующая и гуманизационная функции труда. Такая организация труда гармонично вписана в высокоэффективную, соответствующую последним требованиям систему организации производства и не требует от работников чрезмерных усилий. Она способствует гармонизации труда и росту степени удовлетворенности трудом.

К нормальной интенсивности труда должен приводить любой комплекс обоснованных мероприятий, направленных на совершенствование трудовой деятельности работников предприятий.

Чрезмерная интенсивность труда нежелательна. Она означает, выполнение работы за пределами возможностей работников. Такая работа сопровождается усталостью, повышенным риском травматизации, выполнения брака, ростом числа конфликтов в коллективе, в целом способна привести к быстрому выгоранию работника.

Такой вид интенсивности труда не допустим. При наличии обоснованных оргтех мероприятий необходимо провести профессиональную переподготовку сотрудников или изменить структуру кадров, привлекая более высококвалифицированных

работников. В других случаях, требуется проведение пересмотра норм комплекса мероприятий.

Также нежелательна *недостаточная* интенсивность труда. Она сопровождается потерями рабочего времени или неполным использованием фонда рабочего времени. Такая интенсивность труда сопровождается низким темпом работы, неэффективностью использования кадров, перерасходом затрат на оплату труда и общим снижением эффективности хозяйственной деятельности. В конечном итоге это приводит и к снижению доходов работников, замедлению экономического роста и снижению уровня жизни.

В практической деятельности для определения интенсивности часто используется коэффициент использования сменного времени: $K_{см} = (T_{см} - T_{пот}) / T_{см}$, где $K_{см}$ – коэффициент использования сменного времени, $T_{см}$ – продолжительность смены, $T_{пот}$ – потери рабочего времени (за смену).

При значениях $K_{см}$ менее 0,6 интенсивность труда может быть признана как недостаточная, при значениях до 0,8 – нормальная, свыше 0,8 – большая интенсивность.

Заключение

Недостаточная и излишняя интенсивность недопустимы в практической деятельности. При этом интенсификация труда возможна в условиях увеличения темпов работы, коэффициента времени занятости, принимая во внимание элиминацию непроизводительных временных затрат. Сокращение сверх интенсификации следует осуществлять посредством рациональной организации труда. Заметим, что интенсивность труда и темп работы непосредственно коррелируют с оптимизацией численности сотрудников организации.

Таким образом, внедрение новых технологий, в том числе в рамках создания цифровой модели экономики, может привести к новым, не имевшим места ранее изменениям в условиях труда, степени интенсивности, использованию гибких графиков работы, сокращения продолжительности рабочего дня, новых форм занятости [14].

Например, невзирая на отраслевую принадлежность, актуальная в современном обществе, особенно применительно к интеллектуальным профессиям, дистанционная форма работы, может успешно интегрироваться в работу отечественных организаций, при этом дистанционная работа за пределами производственных помещений позиционируется в настоящее время как следствие пандемии, а также четвертой промышленной революции. Специалисты настаивают [15] на том, что дистанционная занятость представляет собой одну из форм цифровой занятости. В любом случае активно реализуемая цифровизация всех процессов требует адаптацию методов и подходов оценки интенсивности труда.

Список литературы

1. Гастев А. К. Как надо работать. — М.: Экономика, 1972.
2. Горелов Н.А., Никитина В.В. Интенсивность и производительность труда в контексте сокращения рабочей недели в России // Экономика труда. – 2019. – Том 6. – № 4. – С. 1285-1298. doi: 10.18334/et.6.4.41341
3. Темницкий А.Л. Мотивация интенсивного труда рабочих промышленного предприятия // Социологические исследования. – 2008. – №11. – С. 13-23
4. Кувшинова Е.А., Чернева Р.И. Установление равнонапряженных норм как условие роста производительности труда на предприятиях (транспорта)/ В сборнике: Великие реки - 2020. Труды 22-го международного научно-промышленного форума. 2020. С. 141.
5. Грачева О В Производительность труда: драйверы роста и опыт компаний // Повышение производительности труда на транспорте – источник развития и

- конкурентоспособности национальной экономики: Труды Национальной научно-практической конференции – М: МИИТ, 2017 – 216 с.
6. Richard, B. Freeman, James L. Medoff. Nber working paper series. Trade unions and productivity some new evidence on an old issue// URL: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w1249/w1249.pdf (дата обращения 08.05.2024).
 7. Ланкина М.П. Роль организации труда сотрудников на предприятии и его влияние на производительность и эффективность труда // Современная наука в условиях модернизационных процессов: проблемы, реалии, перспективы. Уфа, 2020.- Стр. 118-122.
 8. Каравашкина Р.И., Гуро-Фролова Ю.Р., Киселёва Е.В. Заработная плата и благоприятные условия труда как факторы совершенствования труда интеллектуальных работников (на примере преподавателей вуза) // Экономика труда. – 2022. – Том 9. – № 10. – doi: 10.18334/et.9.10.116260.
 9. Wichert, I. (2002). Job insecurity and work intensification: The effects on health and Wellbeing. Schultz, D.P., Schultz, S.E. (2005). Theories of Personality (8th ed.). Wadsworth: Thomson.
 10. Гершанок А.А. Организация труда в реализации задач повышения эффективности производства, ускорения роста производительности труда // Экономика и бизнес: теория и практика, 2019. №3-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-truda-v-realizatsii-zadach-povysheniya-effektivnosti-proizvodstva-uskoreniya-rosta-proizvoditel'nosti-truda> (дата обращения: 08.05.2024) DOI:10.24411/2411-0450-2019-10401.
 11. Ахмедова Н.Н. Разрешение конфликтов как основа создания благоприятного психологического климата в коллективе // Обмен знаниями в образовательном процессе. сборник научных трудов. Казань. — 2021. — С. 170–174.
 12. Грибова Я.В. Изучение удовлетворенности трудом и трудовой мотивации фармацевтических специалистов / Я.В. Грибова, М.С. Лошкарева // Современная организация лекарственного обеспечения. — 2021. — Т. 8. — № 1. — С. 88–91.
 13. Кручинин В.А., Гуро-Фролова Ю.Р. Психолого-педагогические условия формирования мотивации изучения иностранного языка у студентов лингвистического вуза Нижегород. Гос. архитектур. -строит. Ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. – 165 с.
 14. Тонких Н.В., Квашнина К.В., Катаев В.А. Цифровизация занятости и организации труда: оценка интенсивности // Экономика труда. – 2022. – Том 9. – № 7. – С. 1167–1180. doi: 10.18334/et.9.7.114974
 15. Терёшина Н.П., Подсорин В.А., Данилина М.Г. Глобализация и производительность труда в транспортном комплексе. Мир транспорта. 2019;17(2):118-129. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-118-129><https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-118-129>

References

1. Gastev A. K. Kak nado rabotat'. — М.: Экономика, 1972.
2. Gorelov N.A., Nikitina V.V. Intensivnost' i proizvoditel'nost' truda v kontekste sokrashcheniya rabochej nedeli v Rossii // Экономика труда. – 2019. – Том 6. – № 4. – С. 1285-1298. doi: 10.18334/et.6.4.41341
3. Temnickij A.L. Motivaciya intensivnogo truda rabochih promyshlennogo predpriyatiya / A.L. Temnickij, O.N. Maksimova // Sociologicheskie issledovaniya. – 2008. – №11. – С. 13-23
4. Kuvshinova E.A., Cherneva R.I. Ustanovlenie ravnonapryazhennyh norm kak uslovie rosta proizvoditel'nosti truda na predpriyatiyah (transporta)/ V sbornike: Velikie reki - 2020. Trudy 22-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma. 2020. S. 141.
5. Gracheva O V Proizvoditel'nost' truda: drayvery rosta i opyt kompanij // Povyshenie proizvoditel'nosti truda na transporte – istochnik razvitiya i konkurentosposobnosti nacional'noj ekonomiki: Trudy Nacional'noj nauchno-prakt konferencii – М: МИИТ, 2017 – 216 с.
6. Richard, B. Freeman, James L. Medoff. Nber working paper series. Trade unions and productivity some new evidence on an old issue// URL:

- https://www.nber.org/system/files/working_papers/w1249/w1249.pdf (data obrashcheniya 08.05.2024).
7. Lankina M.P. Rol' organizatsii truda sotrudnikov na predpriyatii i ego vliyanie na proizvoditel'nost' i effektivnost' truda // *Sovremennaya nauka v usloviyah modernizatsionnykh processov: problemy, realii, perspektivy*. Ufa, 2020.- Str. 118-122.
 8. Karavashkina R.I., Guro-Frolova Yu.R., Kiseleva E.V. Zarabotnaya plata i blagopriyatnye usloviya truda kak faktory sovershenstvovaniya truda intellektual'nykh rabotnikov (na primere prepodavatelej vuza) // *Ekonomika truda*. – 2022. – Tom 9. – № 10. – doi: 10.18334/et.9.10.116260.
 9. Wichert, I. (2002). *Job insecurity and work intensification: The effects on health and Wellbeing*. Schultz, D.P., Schultz, S.E. (2005). *Theories of Personality* (8th ed.). Wadsworth: Thomson.
 10. Gershanok A.A. Organizatsiya truda v realizatsii zadach povysheniya effektivnosti proizvodstva, uskoreniya rosta proizvoditel'nosti truda // *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 2019. №3-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-truda-v-realizatsii-zadach-povysheniya-effektivnosti-proizvodstva-uskoreniya-rosta-proizvoditel'nosti-truda> (data obrashcheniya: 08.05.2024) DOI:10.24411/2411-0450-2019-10401.
 11. Ahmedova N.N. Razreshenie konfliktov kak osnova sozdaniya blagopriyatnogo psihologicheskogo klimata v kollektive / N.N. Ahmedova // *Obmen znaniyami v obrazovatel'nom processe. sbornik nauchnykh trudov*. Kazan'. — 2021. — S. 170–174.
 12. Gribova Ya.V. Izuchenie udovletvorennosti trudom i trudovoj motivatsii farmacevticheskikh specialistov / Ya.V. Gribova, M.S. Loshkareva // *Sovremennaya organizatsiya lekarstvennogo obespecheniya*. — 2021. — T. 8. — № 1. — S. 88–91.
 13. Kruchinin V.A., Guro-Frolova Yu.R. Psihologo-pedagogicheskie usloviya formirovaniya motivatsii izucheniya inostrannogo yazyka u studentov nelingvisticheskogo vuza Nizhegor. Gos. arhitekt. -stroit. Un-t. – N. Novgorod: NNGASU, 2012. – 165 s.
 14. Tonkih N.V., Kvashnina K.V., Kataev V.A. Cifrovizatsiya zanyatosti i organizatsii truda: ocenka intensivnosti // *Ekonomika truda*. – 2022. – Tom 9. – № 7. – S. 1167–1180. doi: 10.18334/et.9.7.114974
 15. Teryoshina N.P., Podsorin V.A., Danilina M.G. Globalizatsiya i proizvoditel'nost' truda v transportnom komplekse. *Mir transporta*. 2019;17(2):118-129. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-118-129><https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-118-129>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Каравашкина Рената Ивановна, к.э.н., доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: ren3004@mail.ru

Renata I. Karavashkina, Ph.D. in Economics, Associate Professor of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov str., Nizhny Novgorod, 603951

Гуро-Фролова Юлия Романовна, к.психол.н., доцент, заведующий кафедрой иностранных языков и конвенционной подготовки, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: business_box_2@mail.ru

Yulya R. Guro-Frolova, Ph.D. in Psychology, Head of the Chair of Foreign Languages and Conventional Training, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov str., Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 29.01.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 29.01.2025; published online 20.03.2025.

УДК: 658.7

DOI: 10.37890/jwt.vi82.574

Роль ERP-систем в оптимизации складской логистики Казахстана

Ж.К. Кегенбеков

ORCID: 0000-0001-8175-7440

Е.А. Бубенко

Д.П. Макеров

УО «Казахстанско-немецкий университет», г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Исследование направлено на изучение возможностей улучшения складской логистики в Казахстане посредством внедрения ERP-систем и совместных моделей цепочки поставок. Основное внимание уделено анализу роли современных информационных систем в оптимизации процессов управления запасами и повышении взаимодействия между участниками цепочки поставок. Используя интегрированный подход смешанных методов, исследование проводит сравнительный анализ и использует теорию игр для оценки эффективности систем планирования ресурсов предприятия (ERP) в оптимизации логистики. Анализ основан на обзоре существующей литературы и тематическом исследовании производственной системы Toyota для определения стратегий повышения операционной эффективности, снижения затрат и оптимизации складской логистики. Исследование подчеркивает решающую роль ERP-систем в поддержке сотрудничества в цепочках поставок. Анализ внедрения Toyota ERP-систем свидетельствует о значительном повышении эффективности складской логистики. Используя теоретические основы и практические примеры, исследование демонстрирует ключевые преимущества ERP-систем, таких как 1С:ERP, SAP и Oracle, и их адаптацию к специфическим потребностям логистического сектора Казахстана. Работа содержит рекомендации по внедрению интегрированных решений и представлению долгосрочных стратегий для компаний, стремящихся повысить свою конкурентоспособность. Научный и инновационный вклад исследования заключается в изучении внедрения ERP-системы и стратегических рекомендациях по оптимизации складской логистики Казахстана и интеграции глобальной цепочки поставок.

Ключевые слова: складская логистика, ERP-система, эффективность, цепочка поставок, оптимизация, интеграция технологий, Казахстан, совместные модели

The role of ERP-systems in optimizing warehouse logistics in Kazakhstan

Z.K. Kegenbekov

ORCID: 0000-0001-8175-7440

E.A. Bubenko

D.P. Makerov

Kazakhstan-Germany University, Almaty city, Kazakhstan

Abstract. The research on exploring opportunities for improving warehouse logistics in Kazakhstan through the implementation of ERP-systems and collaborative supply chain models. The primary emphasis is placed on analyzing the role of modern information systems in optimizing inventory management processes and enhancing collaboration among supply chain participants. Using an integrated mixed-methods approach, the research conducts a comparative analysis and applies game theory to evaluate the effectiveness of Enterprise Resource Planning (ERP) systems in logistics optimization. The study is based on a review of existing literature and a case study of Toyota's production system to identify strategies for enhancing operational efficiency, reducing costs, and optimizing warehouse

logistics. The research highlights the critical role of ERP-systems in supporting collaboration within supply chains. An analysis of Toyota's ERP-system implementation demonstrates significant improvements in warehouse logistics efficiency. By leveraging theoretical foundations and practical examples, the study showcases key advantages of ERP-systems, such as 1C:ERP, SAP, and Oracle, and their adaptation to the specific needs of Kazakhstan's logistics sector. The work provides recommendations for implementing integrated solutions and long-term strategies for companies aiming to enhance their competitiveness. The scientific and innovative contribution of this research lies in the study of ERP-system implementation and strategic recommendations for optimizing warehouse logistics in Kazakhstan and integrating it into the global supply chain.

Keywords: warehouse logistics, ERP system, efficiency, supply chain, optimization, technology integration, Kazakhstan, joint models

Введение

На рынке транспортных перевозок Казахстана наблюдается существенная восходящая тенденция, о чем свидетельствует рост объемов грузоперевозок всеми видами транспорта на 4,4% в 2023 г. до 980,7 млн тонн. Этот рост не только подчеркивает стратегическое географическое влияние Казахстана, но и усиливает значение складской логистики как важнейшего компонента для поддержания и повышения эффективности цепочек поставок на этой обширной территории. Несмотря на многообещающий рост транзитных перевозок, который в 2023 г. вырос на 21% и достиг 29 млн тонн, развитие складской логистики в Казахстане сталкивается с серьезными проблемами, которые препятствуют ее потенциалу в полной мере воспользоваться стратегическим положением страны.

Текущее состояние складской логистики в Казахстане демонстрирует серьезный пробел, особенно в обеспечении складами класса А, которые испытывают острую нехватку. Этот дефицит усугубляется ограниченной мощностью существующих складов для удовлетворения потребностей как внутренних, так и международных цепочек поставок, а также нехваткой сторонних логистических операторов (3PL), особенно в северных регионах.

Поэтому компании, работающие в Казахстане, из-за высокой потребности в складских помещениях, сталкиваются с их дефицитом. В этом контексте актуальность исследования современных информационных систем в оптимизации процессов управления запасами в складской логистике Казахстана становится очевидной, в первую очередь для казахстанских компаний. Модели сотрудничества открывают многообещающие возможности для повышения операционной эффективности, снижения затрат, снижения потребности в складских помещениях и улучшения качества услуг в секторе логистики. Несмотря на стратегический потенциал Казахстана как глобального транзитного узла, неразвитость использования информационных платформ в складской логистике ограничивает возможности страны по оптимизации своего сектора логистики и складирования.

Данное исследование направлено на изучение потенциала ERP-систем в улучшении складской логистики, уделяя особое внимание их роли в оптимизации внутренних процессов и повышении взаимодействия между различными участниками цепочки поставок. Изучая успешные примеры внедрения ERP-систем и практику сотрудничества между участниками цепочки поставок, исследование направлено на определение стратегий, направленных на смягчение проблем неэффективного управления запасами и нехватки складских площадей через интеграцию цифровых решений.

В качестве задач исследования определены: изучение текущего состояния складской логистики в Казахстане с акцентом на выявление ключевых проблем, таких как нехватка складских площадей, неэффективное управление запасами и ограниченное использование цифровых технологий, а также определение

существующих возможностей для их решения посредством внедрения этих систем; анализ роли ERP-систем в оптимизации логистических операций путем автоматизации управления запасами, улучшения контроля складских процессов и интеграции всех участников цепочки поставок; изучение лучших мировых практик внедрения ERP-систем в управлении складскими операциями с их последующей адаптацией к специфическим условиям Казахстана; разработка методологической основы для внедрения ERP-систем в секторе складской логистики, что позволит оптимизировать управление логистическими процессами в секторе складской логистики страны.

Решая эти задачи, исследование призвано внести вклад в развитие логистической инфраструктуры компаний Казахстана путем интеграции передовых цифровых технологий, что позволит повысить их конкурентоспособность в глобальной цепочке поставок и поддержать устойчивый экономический рост страны.

Методы

В исследовании использовался комплексный подход, сочетающий смешанные методы, для изучения потенциала внедрения ERP-систем в улучшении складской логистики в Казахстане. В ходе исследования проведен обширный обзор существующей литературы по моделям сотрудничества в цепочке поставок, с упором на внедрение и использование компаниями ERP-систем. Сотрудничество и совместные модели цепочки поставок, а также их роль в повышении эффективности и оптимизации складской логистики исследованы в работах Ачеведо-Уркиага А. Дж., Саблон-Коссио Н., Ачеведо-Суарес Дж. А., Уркиага-Родригес А. Дж. [1], Адлер Н., Бруднер А., Прюст С. [2], Ануп Г. [4], Чаттерджи С., Муди Г., Лоури П. Б., Чакраборти С., Хардин А. [5], Грин К., Инман Р., Сауэр В., Зельбст П. [8], Квак Д-В., Сео Й-Дж., Мейсон Р. [13], Нимми Дж., Арджун К., Мадхусуданан П. [14], Фан А., Нгуен Х., Нгуен К., Ле А., Мацуй Ю. [15], Поттер А., Вильгельм М. [16], Шоу Ю., Ли Ю., Пак Й., Канг М. [18], Таннус К., Юн С. [20], Сяо Ц., Ванг Х. [22], Сюй С., Чой Т-М., Чунг С-Х., Го С. [23].

ERP-системы, их роль и эффективность описываются в работах Айни С., Лубис М., Витьяксоно Р. В., Ханифатуль Азиза А. [3], Демьянова О. [6], Джинно Х., Абэ Х., Ийдзука К. [10], Кенге Р., Хан З. [11], Рейес-Абанто Н., Медина-Перес Х., Запата-Паулини Дж., Кабанильяс-Карбонель М. [17], Свенссон А., Тосс А. [19], Уолтон С., Уилер П., Чжан Ю. [21]. Несмотря на большое количество публикаций по смежным темам, вопрос роли совместных моделей цепочки поставок в оптимизации складской логистики и перспектив получения от этого преимуществ казахстанскими компаниями недостаточно изучен и решен в современной науке.

В статье используются методы сравнительного анализа и теория игр. Производственная система компании Toyota была рассмотрена в качестве основного тематического исследования для понимания эффективности использования ERP-систем в повышении операционной эффективности, сокращении затрат и повышении качества обслуживания [16]. Далее было проанализировано внедрение и влияние ERP и CRM-систем в различных отраслях и проведено сравнение и определение оптимального варианта. Для этого используется теория игр — метод, основанный на исследовании операций, используемый для определения наилучшего возможного результата для всех сторон, участвующих в сценарии конфликта. Это достигается за счет использования строгих количественных методов, предназначенных для оптимизации распределения ресурсов. [2].

Была проанализирована ситуация в логистическом секторе Казахстана. Результаты, полученные в Казахстане, сравнивались с передовой мировой практикой для выявления пробелов, возможностей и стратегий, применимых к логистическому сектору Казахстана [7-12].

На основе анализа была предложена структура для реализации внедрения ERP-систем для казахстанских компаний в секторе складской логистики. Эта структура включала шаги по созданию сети сотрудничества, интеграции технологий, оптимизации управления складами и запасами, а также цифровизации процессов совместного планирования и прогнозирования.

Этот методологический подход позволил всесторонне изучить текущее состояние складской логистики в Казахстане, роль ERP-систем в оптимизации складской логистики компании и разработать действенные стратегии для улучшения сектора.

Результаты

Несмотря на то, что ERP-системы не являются исключительно моделями цепочки поставок для совместной работы, они представляют собой основополагающую технологию, которая поддерживает сотрудничество путем интеграции внутренних процессов и предоставления платформы для обмена данными и общения.

В качестве лучшей практики использования данного варианта совместных моделей цепочки поставок из глобального контекста стоит рассмотреть опыт компании Toyota. Данная компания – мировой лидер автомобилестроения, уже давно славится своими инновационными подходами к управлению цепочками поставок и складской логистике. Внедрение компанией совместных моделей цепочки поставок, в частности производственной системы Toyota (TPS), существенно повлияло на ее эффективность и процессы оптимизации. Эта система служит краеугольным камнем совместных усилий Toyota с поставщиками и партнерами по логистике, направленных на оптимизацию операций, сокращение отходов и повышение производительности.

Сотрудничество компании с поставщиками выходит за рамки просто оперативной практики; Toyota и ее поставщики обмениваются информацией и прогнозами, чтобы лучше согласовывать производственные графики и потребности в запасах. Такому обмену информацией способствуют передовые ИТ-системы, обеспечивающие видимость всей цепочки поставок в режиме реального времени.

Более того, акцент Toyota на контроле качества посредством «Jidoka» привел к уменьшению количества дефектов и переделок, оптимизации потока товаров через склады и снижению потребности в дополнительных складских помещениях для дефектной или избыточной продукции. Такое внимание к качеству также повысило удовлетворенность клиентов, поскольку конечная продукция имеет более высокое качество и доставляется вовремя.

Перечисленные преимущества являются результатом внедрения и активного использования компанией ERP и CRM системы, в частности Odoo, разработанной бельгийской компанией Odoo S.A. в 2004 г. Система ERP в Toyota состоит из компонентов финансового управления, бизнес-аналитики, управления человеческими ресурсами, производственных операций. Toyota получила огромную выгоду от использования ERP, и благодаря этому теперь не страдает от потерь времени, связанных с передачей файлов. Рабочий процесс улучшился, а вместе с ним и эффективность внутри фирмы. Она также не сталкивается с трудностями, связанными с нехваткой товарных запасов и складских площадей. Это преимущество достигается за счет возможностей отслеживания, планирования и прогнозирования.

Таким образом, на примере Toyota стало очевидно, что синхронизация информации, бизнес-аналитика и устранение избыточности запасов позволяют компаниям достигать высокой производительности, и как следствие, оптимизировать складскую логистику. Проблемы, которые можно решить с помощью ERP, включают проблемы с запасами, сбои в закупках, прогнозирование, а также проблемы с конвейером. Toyota также реализовала свою стратегию бережливого производства с помощью ERP. Это сделало завод конкурентоспособным и чрезвычайно успешным.

Обращая внимание на опыт Казахстана, следует отметить невысокий уровень использования ERP и CRM систем, несмотря на имеющийся большой выбор данных

систем на рынке. Одно из предложений включает систему ERP SAP R/3 от компании SAP, которая поддерживает более 1000 различных бизнес-процессов. На сегодняшний день существует более 50 версий, доступных на 28 различных языках. R/3 универсален для различных секторов, предоставляя экономичные, легко развертываемые решения, адаптированные к потребностям малых и средних предприятий.

Oracle также представляет конкурентоспособный продукт в виде программного обеспечения Oracle Applications, включающего 55 взаимосвязанных модулей. Кроме того, Oracle предлагает ряд решений CRM, предназначенных для улучшения взаимодействия с клиентами на предприятии путем обеспечения плавной связи между фронт-офисом, работающим с клиентами, и внутренними процессами ERP-системы.

На казахстанском рынке еще одним заметным конкурентом является платформа 1С: ERP компании «1С». Будучи известной фирмой-разработчиком программного обеспечения в России, «1С» особенно зарекомендовала себя в Восточной Европе и странах СНГ, включая Казахстан. Ключевой особенностью 1С: ERP является ее разработка с учетом местного законодательства в области бухгалтерского учета и налогообложения, что делает ее особенно выгодным выбором для предприятий в этих регионах.

На казахстанском рынке каждая из упомянутых ERP-систем обслуживает отдельные отрасли. Решения SAP и Oracle широко распространены в крупных промышленных фирмах, финансовых учреждениях, телекоммуникационных компаниях и других предприятиях, обрабатывающих огромный объем транзакций. Хотя эти системы технически способны поддерживать небольшие компании, их относительно высокая стоимость часто делает их менее распространенным выбором для таких организаций. Среди обсуждаемых систем наиболее распространенной в этом сегменте является 1С: ERP.

Ниже приведено сравнение представленных систем исходя из количественных характеристик: стоимость лицензии, внедрения, обслуживания, общая стоимость владения и срок окупаемости (Таблица 1). Это позволит сделать обоснованный выбор в пользу одной из систем. В качестве примера компании для внедрения системы была выбрана казахстанская компания ТОО ИЛК (Интернешнл Лоджистикс Консалтинг). Сумма среднемесячной прибыли взята из финансовых результатов, размещенных на сайте компании и составляет 3,5 млн тенге [9]. Стоимость лицензии SAP R/3 за одно место составляет 6000 долларов США, Oracle E-Business Suite – 5000 долларов США, 1С:ERP – 4900 долларов США. Для удобства расчетов указанные суммы необходимо перевести в тенге по курсу 1 доллар США = 450 тенге.

Таблица 1

Сравнение ERP-систем по количественным показателям

ERP-система	Общая стоимость лицензии, тенге	Стоимость внедрения, тенге	Стоимость обслуживания, тенге	Общая стоимость владения, тенге	Срок окупаемости, мес
SAP R/3	16200000	16200000	4860000	49980000	14,3
Oracle E-Business Suite	13500000	17550000	4050000	43200000	12,3
1С:ERP	13230000	13230000	5292000	42336000	12,1

Источник составлено авторами на основе данных Детуанова, О. [6]

Так, в результате расчетов программа 1С: ERP является наиболее бюджетной и как следствие имеет ниже срок окупаемости. Однако помимо количественных показателей, данная система имеет преимущества в качественных показателях для использования в Казахстане.

Во-первых, 1С: ERP хорошо подходит для казахстанского рынка, поскольку разработана с учетом местных стандартов бухгалтерского учета, налогового законодательства и требований к отчетности. Это гарантирует, что предприятия могут управлять своими финансами и операциями в соответствии с национальными законами и правилами, что значительно снижает риск возникновения проблем с соблюдением требований.

Во-вторых, программное обеспечение поддерживает русский язык, на котором широко говорят в Казахстане, что делает его доступным для широкого круга пользователей. Интерфейс, документация и услуги поддержки доступны на языках, которые обычно используются в Казахстане, что повышает удобство использования и удовлетворенность пользователей.

В-третьих, в Казахстане существует мощная сеть партнеров и консультантов 1С: ERP. Эти местные эксперты обеспечивают поддержку внедрения, услуги по настройке, обучение и постоянное обслуживание, гарантируя, что предприятия смогут эффективно развертывать и использовать систему.

Таким образом несмотря на то, что казахстанский рынок развивается и лидеры бизнеса в настоящее время имеют доступ к широкому спектру ERP-систем, внедрение этих систем остается ограниченным. В связи с этим предлагается модель, адаптированная для компаний в Казахстане, построенная на принципах эффективности Toyota и практике сотрудничества, а также учитывающая уникальные проблемы, стоящие перед страной, которая включает в себя следующие этапы.

Этап 1: Формирование технологической платформы. Для успешного внедрения ERP-систем необходимо создать единое цифровое пространство, обеспечивающее интеграцию всех участников цепочки поставок. В Казахстане это требует адаптации локализованных решений, таких как 1С:ERP, которая уже зарекомендовала себя как оптимальная платформа благодаря соответствию местным требованиям учета и налогообложения. Для крупных промышленных компаний могут быть предложены такие решения, как SAP и Oracle, которые обеспечивают управление сложными операциями.

Этап 2: Технологическая интеграция и масштабируемость систем. Одним из ключевых факторов успеха является поэтапное и гибкое внедрение ERP систем с возможностью их масштабирования в зависимости от роста бизнеса. Это особенно актуально для малого и среднего бизнеса в Казахстане, где ограниченные ресурсы требуют упрощенных, но функциональных решений. Интеграция данных из различных подразделений, от закупок до производства и сбыта, позволяет компаниям координировать свои действия, повышая эффективность всей цепочки поставок.

Этап 3: Оптимизация склада и запасов. Важно продвигать методы бережливого управления запасами, основанные на подходе «точно в срок» (JIT). Это поможет снизить зависимость от больших складских площадей за счет тесного согласования производственных графиков с прогнозами спроса. Также изучить возможность создания общих складских помещений для компаний одной отрасли или географического региона. Это могло бы смягчить дефицит складских площадей класса А и снизить затраты участников.

Этап 4: Цифровизация процессов совместного планирования и прогнозирования. ERP-системы позволяют наладить процесс обмена данными между участниками цепочки поставок, что обеспечивает более точное планирование производства и поставок. Использование инструментов бизнес-аналитики и расширенных алгоритмов прогнозирования спроса позволяет компаниям адаптироваться к изменениям рыночных условий и минимизировать риски, связанные с колебаниями спроса.

Поскольку экономика Казахстана быстро растет, организации, занимающиеся внедрением ERP-систем, могут иметь прочную основу для будущего роста. Анализ внедрения этих систем (1С:ERP, SAP, Oracle) подтверждает их важную роль в оптимизации взаимодействия между участниками цепочки поставок за счет

автоматизации процессов управления запасами и прогнозирования спроса. Пример компании Toyota показывает, что благодаря активному использованию ERP-систем удалось снизить избыточные запасы на 25%, улучшить синхронизацию поставок и сократить время задержек в производственном процессе. Применение адаптированной модели в казахстанских компаниях позволило бы добиться аналогичных результатов при условии развития соответствующей цифровой инфраструктуры.

Заключение

Таким образом, на примере компании Toyota было выяснено, что внедрение ERP и CRM систем является мощным инструментом для оптимизации складской логистики и всей цепочки поставок в целом. И помимо выявленных преимуществ данные цифровые решения являются инструментом оптимизации складской логистики компании, и как следствие, сектора в целом. Основываясь на данном выводе, была предложена адаптированная модель для Казахстана с акцентом на использование ERP-систем как основного драйвера цифровизации логистического сектора. Основываясь на анализ существующих практик внедрения ERP-систем, этот шаг может привести к снижению избыточных запасов на 15-30%, улучшению синхронизации поставок, что сократит задержки в производственных процессах на 20-25%, и оптимизации использования складских мощностей, что позволит высвободить до 20% существующих складских площадей для новых товаров или внешнего хранения.

Адаптация моделей совместной цепочки поставок Toyota к контексту Казахстана, особенно с учетом проблем низкой прозрачности и взаимодействия между участниками цепочки поставок и нехватки складских площадей требовала стратегического подхода. В результате была предложена модель, состоящая из четырех этапов: формирование технологической платформы; технологическая интеграция и масштабируемость систем; оптимизация склада и запасов; цифровизация процессов совместного планирования и прогнозирования.

Таким образом, внедрение ERP-систем открывает новые возможности для оптимизации складской логистики и повышения конкурентоспособности компаний в Казахстане. Опыт компании Toyota показывает, что автоматизация процессов управления запасами, оптимизация производственных графиков и совместное планирование могут значительно снизить операционные затраты и повысить гибкость управления. Адаптация этой модели к казахстанским условиям позволит компаниям сократить издержки, повысить производительность и обеспечить долгосрочную устойчивость цепочки поставок. Прогнозируемое сокращение операционных издержек на 15-25% станет важным фактором повышения конкурентоспособности местного бизнеса на международной арене.

Список литературы

1. Ачеведо-Уркиага А. Дж., Саблон-Коссио Н., Ачеведо-Суарес Дж. А., Уркиага-Родригес А. Дж. Модель с совместным подходом к оперативному управлению цепочкой поставок. *Международный журнал промышленного инжиниринга и менеджмента*, 2021, т. 12, № 1, с. 49–62. DOI: 10.24867/IJEM-2020-1-276
2. Адлер Н., Бруднер А., Прюэт С. Обзор моделирования транспортных рынков с использованием принципов теории игр. *Европейский журнал исследований операций*, 2021, т. 291, № 3, с. 808–829. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.11.020
3. Айни С., Лубис М., Витьяксоно Р. В., Ханифатуль Азиза А. Анализ критических факторов успеха при внедрении ERP-системы в РТ. Toyota Astra Motor с использованием расширенной модели успеха информационных систем. *MECnIT 2020, Международная конференция по машиностроению, электронике, компьютерным и промышленным технологиям*, с. 370–375. DOI: 10.1109/MECnIT48290.2020.9166653

4. Ануф Г. Краткий обзор системы производства Toyota (TPS). Международный журнал исследований в прикладных науках и инженерных технологиях, 2020, т. 8, № 5, с. 2505–2509. DOI: 10.22214/ijraset.2020.5415
5. Чаттерджи С., Муди Г., Лоури П. Б., Чакраборти С., Хардин А. Информационные технологии и организационные инновации: Гармонизация возможностей информационных технологий и реализации на основе смелости. Журнал стратегических информационных систем, 2020, т. 29, № 1, ст. 101596. DOI: 10.1016/j.jsis.2020.101596
6. Демьянова О. Оценка эффективности внедрения информационных систем в организации (на примере ERP-систем). Журнал физики: Серия конференций, 2018, т. 1015, № 4, с. 1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/4/042009
7. Габдуллина Л., Кирдасинова К., Аманбаева А., Глесова Е., Азылканова С. Транспортные и логистические инновации в управлении цепочками поставок: опыт Казахстана. Управление неопределенностью в цепочках поставок, 2020, т. 8, № 2, с. 255–266. DOI: 10.5267/j.uscm.2020.1.002
8. Грин К., Инман Р., Саур В., Зельбст П. Комплексная модель управления цепочкой поставок. Управление цепочками поставок, 2019, т. 24, № 5, с. 590–603. DOI: 10.1108/SCM-12-2018-0441
9. ILC LLP. Алматы – 2024. Доступно по адресу: <https://interlogcon.kz/компания> (дата обращения: 11.03.2024).
10. Джинно Х., Абэ Х., Иидзука К. Оценка эффективности ERP: с точки зрения политики внедрения и операционной эффективности. Информация, 2017, т. 8, № 14, с. 3–11. DOI: 10.3390/info8010014
11. Кенге Р., Хан З. Исследование внедрения ERP-систем и текущих тенденций в ERP. Международный журнал управления Shanlax, 2020, т. 8, № 2, с. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.34293/management.v8i2.3395>
12. Кот С., Оньюшева И., Грондыс К. Управление цепочками поставок в малых и средних предприятиях: опыт Польши и Казахстана. Инженерное управление в производственных услугах, 2018, т. 10, № 3, с. 23–36. DOI: 10.2478/emj-2018-0014
13. Квак Д.-В., Сео Й.-Дж., Мейсон Р. Исследование связи между инновациями в цепочках поставок, возможностями управления рисками и конкурентным преимуществом в глобальных цепочках поставок. Международный журнал управления операциями и производством, 2018, т. 38, № 1, с. 2–21. DOI: 10.1108/IJOPM-06-2015-0390
14. Нимми Дж., Арджун К., Мадхусуданан П. Обзор литературы по сотрудничеству в цепочке поставок: сравнение различных методов сотрудничества. Журнал исследований в управлении, 2019, т. 16, № 4, с. 537–562. DOI: 10.1108/JAMR-10-2018-0087
15. Фан А., Нгуен Х., Нгуен К., Ле А., Мацуй Ю. Взаимосвязь между сотрудничеством с клиентами в управлении цепочкой поставок и операционными показателями производственных компаний. Международный журнал управления продуктивностью и качеством, 2020, т. 29, № 3, с. 372–396. DOI: 10.1504/IJPM.2020.106009
16. Поттер А., Вильгельм М. Предпосылки и последствия инноваций, поддерживаемых сетью поставок: на примере компании Toyota. Материалы заседаний Академии управления, 2019, т. 2019, № 1. DOI: 10.5465/AMBPP.2019.232
17. Рейес-Абанто Н., Медина-Перес Х., Запата-Паулини Дж., Кабанильяс-Карбонель М. Внедрение ERP-системы для улучшения логистического процесса в малом и среднем бизнесе. Лекции по сетям и системам, 2024, т. 695, с. 387–398. DOI: 10.1007/978-981-99-3043-2_30
18. Шоу Ю., Ли Ю., Пак Й., Канг М. Интеграция цепочки поставок и операционная эффективность: условные эффекты производственных систем. Журнал управления закупками и поставками, 2018, т. 24, № 4, с. 352–360. DOI: 10.1016/j.pursup.2017.11.004
19. Свенссон А., Тосс А. Факторы риска при внедрении ERP-систем в малых компаниях. Информация, 2021, т. 12, № 11, ст. 478. DOI: 10.3390/info12110478
20. Таннус К., Юн С. Обзор рисков, устойчивости и сотрудничества в глобальном управлении цепочкой поставок. Международный журнал управления поставками и операциями, 2018, т. 5, № 2, с. 192–196. Доступно по: <https://www.scopus.com> (дата обращения: 11.03.2024).

21. Уолтон С., Уилер П., Чжан Ю. Намеренные и непреднамеренные последствия внедрения ERP-систем. *Горизонты бухгалтерского учета*, 2023, т. 37, № 4, с. 177–205. DOI: 10.2308/HORIZONS-2020-192
22. Сяо Ц., Ванг Х. Модели и методы оценки степени координации цепочки поставок автомобилестроения на основе совместной энтропии. *Журнал систем обработки информации*, 2022, т. 18, № 2, с. 208–222. DOI: 10.3745/JIPS.04.0238
23. Сюй С., Чой Т.-М., Чунг С.-Х., Го С. Совместная коммерция в цепочках поставок: обзор и классификация аналитических моделей. *Международный журнал экономики производства*, 2023, т. 263

References

1. Acevedo-Urquiaga, A.J., Sablón-Cossío N., Acevedo-Suárez J.A., Urquiaga-Rodríguez A.J. (2021). A model with a collaborative approach for the operational management of the supply chain. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(1), 49–62. DOI: 10.24867/IJEM-2020-1-276
2. Adler, N., Brudner, A., Proost, S. (2021). A review of transport market modeling using game-theoretic principles. *European Journal of Operational Research*, 291(3), 808–829. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.11.020
3. Aini, S., Lubis, M., Witjaksono, R. W., Hanifatul Azizah, A. (2020). Analysis of Critical Success Factors on ERP Implementation in PT. Toyota Astra Motor Using Extended Information System Success Model. *MECnIT 2020 - International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology*, 370–375. DOI: 10.1109/MECnIT48290.2020.9166653
4. Anoop, G. (2020). A Brief Overview on Toyota Production System (TPS). *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(5), 2505–2509. DOI: 10.22214/ijraset.2020.5415.
5. Chatterjee, S., Moody, G., Lowry, P. B., Chakraborty, S., Hardin, A. (2020). Information Technology and organizational innovation: Harmonious information technology affordance and courage-based actualization. *Journal of Strategic Information Systems*, 29(1), 101596. DOI: 10.1016/j.jsis.2020.101596
6. Demyanova, O. (2018). Evaluation of effectiveness of information systems implementation in organization (by example of ERP-systems). *Journal of Physics: Conference Series*, 1015(4), 1-5. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/4/042009
7. Gabdullina, L., Kirdasinova, K., Amanbayeva, A., Tlessova, E., Azykanova, S. (2020). Transport and logistics innovations in supply chain management: Evidence from Kazakhstan. *Uncertain Supply Chain Management*, 8(2), 255-266. DOI: 10.5267/j.uscm.2020.1.002
8. Green, K., Inman, R., Sower, V., Zelbst, P. (2019). Comprehensive supply chain management model. *Supply Chain Management*, 24(5), 590-603. DOI: 10.1108/SCM-12-2018-0441
9. ILC LLP (2024). Almaty – 2024. URL: <https://interlogcon.kz/kompaniya> (data accessed: 11.03.2024).
10. Jinno, H., Abe, H., & Iizuka, K. (2017). Consideration of ERP Effectiveness: From the Perspective of ERP Implementation Policy and Operational Effectiveness. *Information*, 8(14), 3-11. DOI: 10.3390/info8010014
11. Kenge, R., Khan, Z. (2020). A research study on the ERP system implementation and current trends in ERP. *Shanlax International Journal of Management*, 8(2), 34–39. DOI: <https://doi.org/10.34293/management.v8i2.3395>
12. Kot, S., Onyusheva, I., Grondys, K. (2018). Supply Chain Management in SMEs: Evidence from Poland and Kazakhstan. *Engineering Management in Production and Services*, 10(3), 23-36. DOI: 10.2478/emj-2018-0014
13. Kwak, D-W., Seo, Y-J., Mason, R. (2018). Investigating the relationship between supply chain innovation, risk management capabilities and competitive advantage in global supply chains. *International Journal of Operations and Production Management*, 38(1), 2–21. DOI: 10.1108/IJOPM-06-2015-0390
14. Nimmy, J., Arjun, C., Madhusudanan, P. (2019). Literature review on supply chain collaboration: comparison of various collaborative techniques. *Journal of Advances in Management Research*, 16(4), 537–562. DOI: 10.1108/JAMR-10-2018-0087

15. Phan, A., Nguyen, H., Nguyen, K., Le, A., Matsui, Y. (2020). Relationship between customer collaboration in supply chain management and operational performance of manufacturing companies. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 29(3), 372–396. DOI: 10.1504/IJPQM.2020.106009
16. Potter, A., Wilhelm, M. (2019). Antecedents and Consequences of Supply Network Enabled Innovation: Evidence from Toyota. *Academy of Management Proceedings*, 2019(1). DOI: //doi.org/10.5465/AMBPP.2019.232.
17. Reyes-Abanto, N., Medina-Perez, J., Zapata-Paulini, J., Cabanillas-Carbonell, M. (2024). Implementation of an ERP System for the Improvement of the Logistics Process in an SME. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 695 LNNS, 387-398. DOI: 10.1007/978-981-99-3043-2_30
18. Shou, Y., Li, Y., Park, Y., Kang, M. (2018). Supply chain integration and operational performance: The contingency effects of production systems. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 24(4), 352-360. DOI: 10.1016/j.pursup.2017.11.004
19. Svensson, A., Thoss, A. (2021). Risk Factors When Implementing ERP Systems in Small Companies. *Information*, 12(11), 478. DOI://doi.org/10.3390/info12110478
20. Tannous, K., Yoon, S. (2018). Summarizing risk, sustainability and collaboration in global supply chain management. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(2), 192-196. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85060131126&partnerID=40&md5=4159a1fd9c941fd024b41b7c5c964ffb> (Accessed 11 March 2024)
21. Walton, S., Wheeler, P., Zhang, Y. (2023). Intended and Unintended Consequences of ERP System Implementation. *Accounting Horizons*, 37(4), 177-205. DOI: 10.2308/HORIZONS-2020-192
22. Xiao, Q., Wang, H. (2022). Models and Methods for the Evaluation of Automobile Manufacturing Supply Chain Coordination Degree Based on Collaborative Entropy. *Journal of Information Processing Systems*, 18(2), 208–222. DOI: 10.3745/JIPS.04.0238
23. Xu, X., Choi, T-M., Chung, S-H., Guo, S. (2023). Collaborative-commerce in supply chains: A review and classification of analytical models. *International Journal of Production Economics*, 263, 108922. DOI: 10.1016/j.ijpe.2023.108922

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кегенбеков Жандос Кадырахнович, к.т.н., профессор, декан факультета “Инжиниринга и информационных технологий” Казахстанско-немецкого университета г. Алматы, Медеуский район, улица Пушкина, дом 111/15, e-mail: kegenbekov@dku.kz

Zhandos K. Kegenbekov, Ph.D. in Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of “Engineering and Information Technologies” at the Kazakh-German University, Almaty, Medeu District, Pushkin Street, Building 111/15, e-mail: kegenbekov@dku.kz

Бубенко Елизавета Анатольевна, магистрант 2 курса Казахстанско-немецкого университета, факультета “Инжиниринга и информационных технологий” специальности “Логистика”, г. Алматы, Медеуский район, улица Пушкина, дом 111/15, e-mail: student.bubenko@dku.kz

Elizaveta A. Bubenko, 2nd-year Master's Student at the Kazakh-German University, Faculty of “Engineering and Information Technologies,” specializing in “Logistics,” Almaty, Medeu District, Pushkin Street, Building 111/15, e-mail: student.bubenko@dku.kz

Макиров Дмитрий Павлович, магистрант 2 курса Казахстанско-немецкого университета, факультета “Инжиниринга и информационных технологий” специальности “Логистика”, г. Алматы, Медеуский район, улица Пушкина, дом 111/15, e-mail: student.makerov@dku.kz

Dmitry P. Makerov, 2nd-year Master's Student at the Kazakh-German University, Faculty of “Engineering and Information Technologies,” specializing in “Logistics,” Almaty, Medeu District, Pushkin Street, Building 111/15, e-mail: student.makerov@dku.kz

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК: 656.025.2

DOI: 10.37890/jwt.vi82.575

Перспективы развития скоростных пассажирских перевозок в рамках масштабирования проекта «Речные магистрали»

Д.А. Коршунов

ORCID: 0000-0002-9908-4026

Д.В. Дрейбанд

ORCID 0000-0003-0136-2495

Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация: В настоящей статье дается авторский анализ задач и направлений развития маршрутной сети скоростных пассажирских перевозок по внутренним водным путям с учетом опыта реализации первого этапа проекта «Речные магистрали». Во введении обосновывается актуальность, предпосылки и перспективы развития скоростных пассажирских перевозок на межрегиональных речных маршрутах страны, ставится цель и формулируются научные задачи для её достижения. В методах проведен анализа реализованного этапа проекта «Речные магистрали» и предлагаются дальнейшие этапы и мероприятия для дальнейшего развития и масштабирования данного проекта на другие регионы России, а также предложена связанная с этим тематика научно-методических и практических исследований. В результате настоящего исследования авторами сформирован подход к организационно-экономической модели развития существующих межрегиональных скоростных маршрутов по внутренним водным путям и дальнейшему масштабированию положительных практик на другие приречные регионы страны. Обсуждение касается перспективной научной тематики по обоснованию эффективных маршрутов, проработка которой существенно ускорит процесс масштабирования, реализуемого Минтрансом РФ проекта. В заключении даются рекомендации по ключевым параметрам системы речных скоростных пассажирских перевозок.

Ключевые слова: речные магистрали, пассажирские перевозки, скоростные перевозки, маршруты, организационно-экономическая модель социальных пассажирских перевозок, условия субсидирования

Prospects for the development of high-speed passenger transportation within the framework of scaling up the River Highways project

Dmitry A. Korshunov

ORCID: 0000-0002-9908-4026

Dmitry V. Dreiband

ORCID 0000-0003-0136-2495

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract: This study is related to the need to rethink transport systems in the context of modern infrastructure development and increased passenger flows. In recent years, there has been a tendency to increase interest in rapid river passenger transportation, which is a consequence of both social factors and economic conditions. The methods analyze the features of the first stage of the project for the development of rapid river passenger transportation and provide organizational recommendations and propose measures for the further development and scaling of this project to other regions of Russia, as well as increasing the attractiveness of inland waterways as an alternative mode of transport. The methods analyze the implemented stage of the River Highways project and propose further

stages and activities for further development and scaling of this project to other regions of Russia, as well as propose related topics of scientific, methodological and practical research. As a result of this study, the authors have developed an approach to the organizational and economic model for the development of existing interregional high-speed routes along inland waterways and further scaling of positive practices to other riverine regions of the country. The discussion concerns promising scientific topics on the justification of effective routes for riverine regions joining the project. As a conclusion, the authors of the article provide recommendations on key scientific aspects and parameters of the river high-speed passenger transportation system that contribute to their sustainable development.

Keywords: river highways, passenger transportation, high-speed transportation, routes, organizational and economic model of social passenger transportation, subsidy conditions

Введение

В 2024 году Минтранс РФ принято решение развивать межрегиональные скоростные пассажирские перевозки по внутренним водным путям, а накопленный опыт может быть применен для совершенствования и развития систем социально-значимых пассажирских перевозок многими регионами страны, обладающими приречными территориями с потенциалом использования скоростных судов.

Объясняется это высоким спросом разных слоев и социальных групп населения на скоростные речные перевозки, зарекомендовавшие себя как актуальные, востребованные и перспективные для отдельных регионов пилотного проекта. Так наблюдается устойчивый рост пассажиропотока на существующих межрегиональных речных скоростных маршрутах (далее - МРСМ) – рис.1.



Рис. 1. Маршруты межрегиональных речных скоростных пассажирских перевозок на примере СК ООО «Водолёт»

Востребованность этого вида сообщения обусловлена 3 факторами: удобством такого сообщения для населения при заторах и увеличившимся временем в пути на аналогичных сухопутных маршрутах; относительным комфортом перемещения на скоростных судах; возможностью комбинации нескольких видов транспорта для перемещения по принципу «от двери до двери», пользуясь исключительно общественным транспортом.

Авторами исследования проанализированы проблемы функционирования действующих МРСМ пассажирских перевозок, и они схожие для участвующих судоходных компаний и регионов их присутствия:

- инфраструктурные ограничения (отсутствие причальной инфраструктуры или её непригодность для приема скоростного флота, замедление темпов строительства инновационного флота в связи со сложностями снабжения импортными комплектующими из-за санкционного давления, ограниченные гарантированные глубины и сложная путевая обстановка для работы СПК);
- различия экономических возможностей регионов по созданию и развитию речных скоростных систем;
- низкая экономическая эффективность речных скоростных перевозок в связи с повышенными эксплуатационными затратами и наличием конкурирующих видов транспорта в сочетании с развитыми программами их субсидирования;
- сезонность.

Таким образом, научная проработка дальнейших этапов и связанных с ними задач развития «Речных магистралей» является важной и определяет актуальность данного исследования.

Целью данного исследования авторы определяют анализ современного состояния и перспектив развития скоростных пассажирских перевозок на внутренних водных путях РФ.

Научными задачами при этом являются:

- анализ подходов к организации скоростных пассажирских перевозок на ВВП;
- анализ существующих правил субсидирования социально значимых маршрутов пассажирских перевозок на ВВП;
- разработка подхода к модели развития скоростных пассажирских перевозок на внутреннем водном транспорте;
- определение тематики научных исследований для обоснования подхода к финансово-экономической модели развития скоростных пассажирских перевозок.

Методы

На основе авторского анализа основных принципов и подходов к масштабированию транспортных проектов предлагается воспользоваться следующими из них в рамках настоящего научного исследования:

- Пространственный подход к планированию развития транспортной сети агломерации в сочетании со сбалансированным использованием территориальных ресурсов [1].
- Развитие транспортной сети в соответствии с формируемым спросом на перевозки, что требует комплексного подхода к обоснованию моделей развития скоростных пассажирских перевозок, основанного на анализе текущих и предсказываемых тенденций пассажиродвижения [1].
- Использование средств моделирования для прогнозирования развития транспортной сети, обоснования эффективности проекта, снижения затрат ресурсов.
- Учёт синергетического эффекта. Реализация портфеля взаимосвязанных проектов может дать больший суммарный эффект, чем реализация нескольких независимых проектов, например, развитие комбинированных и мультимодальных сообщений, взаимодействие с турагентствами при продаже и бронировании билетов.

- Соответствие общего числа маршрутов в системе количеству и характеристикам транспортных средств.

Далее авторы статьи применяя методы группировки и сравнения, факторного анализа и табличного отражения сформировали поэтапную модель развития скоростных пассажирских перевозок по ВВП, которая отражает стадии формирования и развития проекта «Речные магистрали» - рис.2.



Рис. 2. Этапы и задачи развития скоростных речных пассажирских перевозок

Решение задач третьего этапа развития скоростных речных пассажирских перевозок по сути является отправной точкой для выработки перспективных скоростных маршрутов на ВВП в других приречные регионы страны, в настоящее время не располагающих скоростными судами, но обладающих другими

необходимыми условиями: наличие населенных пунктов на берегу рек, параллельность водных и сухопутных путей сообщения, отсутствие альтернатив речному сообщению, возможность существенно сократить время в пути при функционировании альтернативного водного маршрута и т.п.

Результаты

Между тем в отдельных регионах применяются самостоятельно разработанные положения о субсидировании речных пассажирских перевозок, которые при общей схожести обладают значимыми отличиями. Результаты анализа авторами этих документов [2-6] показали следующие особенности региональных подходов – табл.1. [7]

Таблица 1

Анализ особенностей и правил субсидирования в регионах

Ключевые характеристики	Особенности подхода к субсидированию скоростных речных пассажирских перевозок			
	ХМАО	Нижегородская область	Чувашия	Татарстан
Объект субсидирования	Пассажирские перевозки на ВВП по специальным тарифам	Пассажирские перевозки с использованием СПК	Перевозки пассажиров на ВВП по регулируемым тарифам	
Предмет субсидирования	Затраты на пассажирские перевозки на ВВП по специальным тарифам	Затраты на организацию перевозок с использованием СПК	Потери в доходах	Недополученные доходы
Основание выделения субсидии	Соглашение (договор) о предоставлении субсидии, заключенный по результатам отбора			
Основа для расчёта размера субсидии	Финансовый результат от выполнения рейсов (без НДС) с учетом рентабельности в размере не более 5%	Финансовый результат от выполнения рейсов судами СПК на согласованных маршрутах	Финансовый результат от выполнения рейсов по регулируемому тарифу	Финансовый результат от выполнения рейсов при перевозке отдельных (льготных) категорий граждан
Результат предоставления субсидии	Число осуществленных рейсов по межрегиональным маршрутам на ВВП	Предусмотрено с указанием в соглашении (договоре)	80% выполненных пассажирских рейсов по утвержденным маршрутам и расписанию	Сохранение в собственности нормативного количества судов
Сокращение или отмена субсидируемых рейсов	Предусмотрена в зависимости от % коммерческой загрузки	Предусмотрено с указанием в соглашении (договоре)	-	Предусмотрено с указанием в соглашении (договоре)
Авансирование субсидии	Предусмотрено в размере 30% в первом квартале	Предусмотрено с указанием в соглашении (договоре)	Не предусмотрено, субсидия начисляется ежемесячно	Предусмотрено с указанием в соглашении (договоре)

Ключевые характеристики	Особенности подхода к субсидированию скоростных речных пассажирских перевозок	
Перерасчет (возврат) субсидии	В случае невыполнения планового количества рейсов	Предусмотрено (несколько условий)

Обобщая рассмотренные подходы к субсидированию речных скоростных пассажирских перевозок, авторы отмечают общую схожесть в части объекта субсидирования в ХМАО, Чувашии и Татарстане, где скоростные речные перевозки включены в общий подход к субсидированию перевозок пассажиров внутренним водным транспортом с учетом местной тарифной политики. В Нижегородской области для этих перевозок существует отдельная программа субсидирования.

При этом для дальнейшего развития системы межрегиональных скоростных маршрутов на ВВП авторы видят насущную проблему в формировании единого подхода для лучшего применения имеющегося опыта их функционирования в рамках социально-значимых пассажирских перевозок. Для начала представит организационно-экономическую модель функционирования существующих и перспективных МРСМ с учетом действующих нормативов и практикоприменительного подхода. По мнению авторов статьи, она должна выглядеть следующим образом – рис.3.

В рамках задач разработки единого подхода к определению затрат и субсидированию скоростных пассажирских перевозок авторы исследования предлагают определить ключевые показатели эффективности маршрутов. Анализ авторами данных судоходной компании ООО «Водолёт» степени загрузки судов на отдельных маршрутах за навигацию 2024 года выявил зависимость наполняемости судов от трёх факторов [8]:

- времени в пути по сравнению с альтернативными маршрутами смежных видов транспорта;
- надежности сформированных маршрутов межрегионального скоростного сообщения (не выход на заявленную линию даже одного перевозчика существенно сокращает пассажиропоток у других);
- ценовая доступность в сравнении с конкурирующими сообщениями (стоимость проезда).

Для этого были проанализированы цены на билеты в речном скоростном сообщении, показатель средней загруженности (пассажиронаселенности) речных скоростных судов на отдельных участках маршрутов. Зависимость получается следующая – чем дольше время в пути и меньше доступность конкурирующих видов транспорта, тем большее предпочтение отдается речному маршруту. Это объясняется тем, что при выборе транспорта для поездки на расстояния от 60 км и более потребителям важнее всего безопасность и комфорт транспорта. Также была выявлена зависимость транспортной составляющей тарифа от наполняемости судна пассажирами при 15% норме рентабельности перевозки от протяженности маршрута.

Здесь авторы отмечают также важность реализации системы тарифного регулирования в рассматриваемой сфере, которая должна осуществляться посредством:

- определения уровня платежеспособности спроса на транспортные услуги;
- адресного и контролируемого субсидирования предприятий пассажирского транспорта;
- применения инструментов государственно-частного партнерства на направлениях инновационного развития речного пассажирского транспорта, повышающих качество и транспортную доступность при

обслуживании населения агломераций за счет использования инновационного скоростного флота.

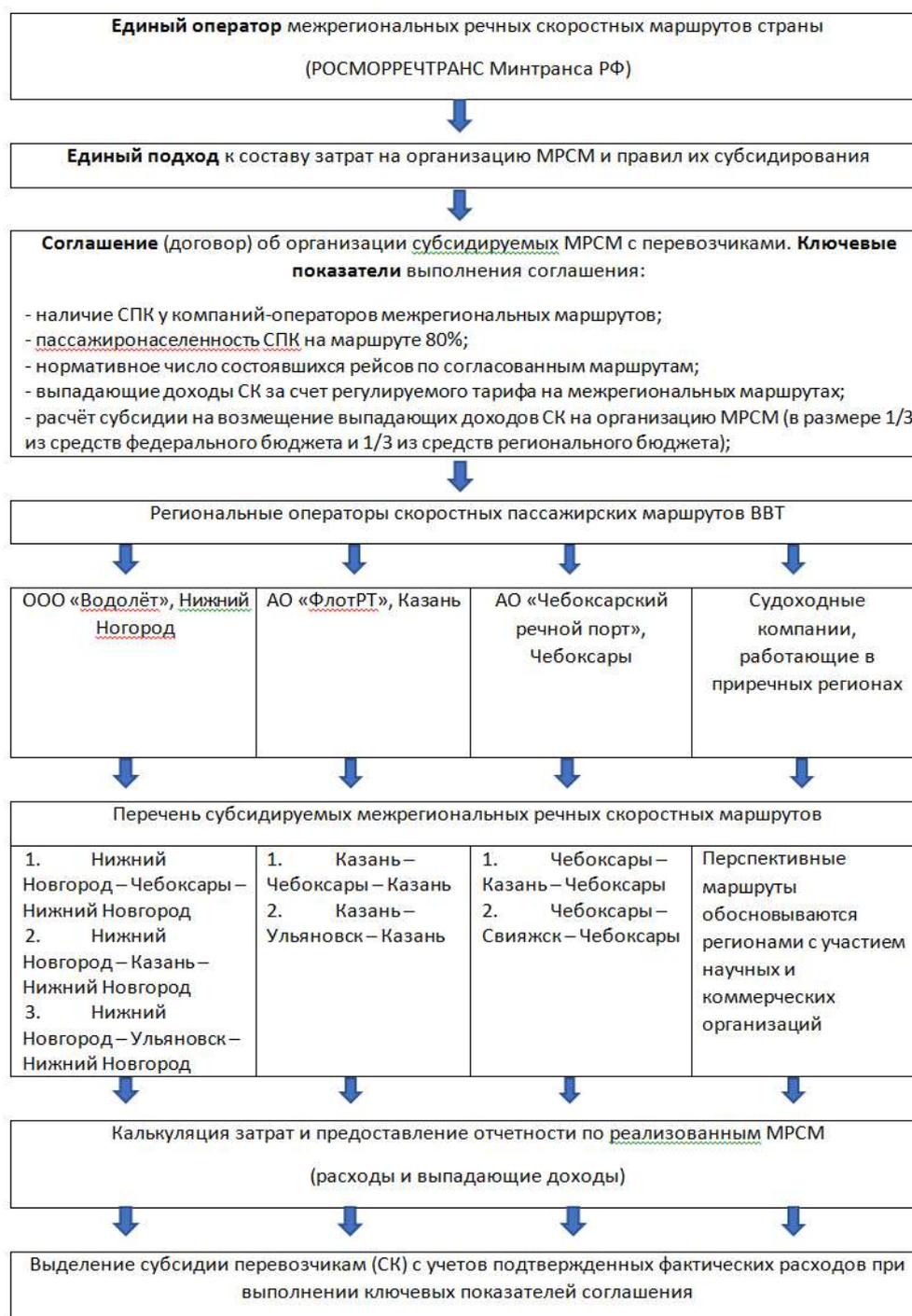


Рис. 3. Организационно-экономическая модель функционирования существующих и перспективных MPCM

Далее авторами было выполнено сравнение получившейся стоимости скоростного речного сообщения с уровнями платежеспособности населения (средневзвешенным месячным доходом) в регионах присутствия скоростных речных пассажирских маршрутов [8]. Сравнение проводилось на основе показателей:

- удельная стоимость времени нахождения пассажира в пути;
- удельные затраты населения на оплату транспортной услуги (стоимости одной поездки на скоростном речном пассажирском маршруте) в среднедушевом месячном доходе.

Авторы предлагают определять стоимость времени, проведенного пассажиром в пути, с помощью формулы, представленной в исследовании [9], и адаптированной нами с учетом особенностей анализируемых межрегиональных маршрутов и типов сравниваемых транспортных услуг [8]:

$$S_i = \frac{T_{pi} \cdot \bar{D}_j}{n}$$

где S_i – стоимость времени в пути на i -ом маршруте для жителя j -го региона, руб./час;

T_{pi} – время нахождения пассажира на маршруте (в исследовании принято по фактическому времени рейса согласно утвержденному расписанию), ч.;

\bar{D}_j – средневзвешенный месячный доход жителя j -го региона (принят авторами в настоящем исследовании по данным Росстата за 2022 год [10] с индексацией на величину инфляции за 2023-2024 гг.), руб./месяц;

n – среднее число рабочих часов в месяце при 40-часовой рабочей неделе, ч.

Таким образом результаты расчета этого показателя применительно к речным скоростным маршрутам показаны на рис. 4.

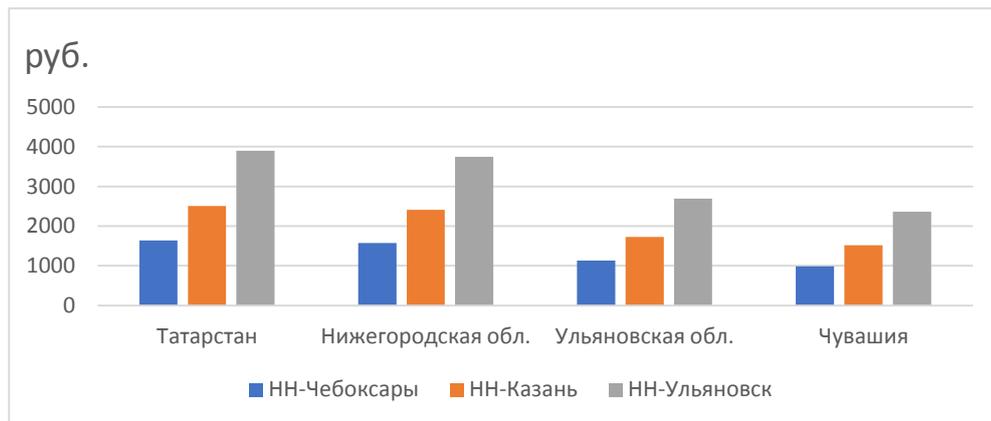


Рис. 4. Удельная стоимость времени нахождения пассажира в пути

Удельные затраты населения на оплату транспортной услуги (стоимости одной поездки на скоростном речном пассажирском маршруте) в среднедушевом месячном доходе показаны на рис. 5. Уровень доходов населения принято по данным официальной статистики [10].



Рис. 5. Доля транспортных затрат населения в среднедушевом месячном доходе, %

Данные значения рассчитаны для одной поездки, что характерно в случае заинтересованности пассажиров в ознакомлении с новой транспортной услугой. При этом отмечается постоянный рост популярности этих маршрутов и планируется расширение географии скоростных пассажирских маршрутов на последующих этапах реализации нацпроекта «Речные магистрали» в Самарской, Астраханской и Ростовской областях. Этот нацпроект способствует достижению стратегических целей развития транспортной системы России и именно поэтому авторы статьи видят заинтересовалось государства в лице Министерства транспорта РФ и важность научно-методического обоснования и практических рекомендаций для решения рассмотренного вопроса установления регулируемых тарифов на скоростные речные пассажирские маршруты в рамках проработки и обоснования финансово-экономической модели развития речных скоростных пассажирских перевозок.

Обсуждение

По мнению авторов исследования четвертый этап «Масштабирование проекта «Речные магистрали» требует серьезного научного анализа и скорейшего решения ряда научных и практических задач:

- разработка единого методического подхода к определению затрат на организацию и эксплуатацию речных магистралей с учётом различных типов скоростных судов;
- обоснование выбора типа и характеристик скоростных транспортных средств в условиях конкретных маршрутов речных магистралей (вместимость, скорость 30-75 км/ч, осадка, источник энергии, запас хода);
- обоснование единых правил субсидирования речных магистралей;
- обоснование и развитие комбинированных и мультимодальных систем в рамках речных магистралей;
- цифровизация скоростных пассажирских перевозок, например, система онлайн покупки проездных билетов с учётом пересадки на другие виды транспорта в рамках мультимодального сообщения;
- методика обоснования эффективных скоростных маршрутов по ВВП с учетом развития комбинированных (мульти- и интермодальных) сообщений;

- разработка финансово-экономической модели эффективного развития скоростных пассажирских перевозок (обоснование коммерческой, социальной и бюджетной эффективности);
- разработка актуальных для скоростных судов правил перевозки пассажиров и их багажа, покупки и возврата проездных билетов.

Заключение

Таким образом, следует отметить наличие существенных перспектив развития скоростных пассажирских перевозок в рамках масштабирования проекта «Речные магистрали» при условии государственной поддержки социально значимых межрегиональных скоростных маршрутов и содействия региональных властей и отдельных муниципалитетов в обеспечении таких линий терминальной инфраструктурой.

В заключении авторы отмечают, что ключевыми факторами развития и масштабирования системы речных скоростных пассажирских перевозок являются: единый государственный подход к правилам субсидирования таких перевозок, формирование цифровой платформы перевозок, научно обоснованный метод формирования речных скоростных пассажирских маршрутов и его увязка с финансово-экономической моделью развития скоростных пассажирских перевозок, а также учёт маршрутов смежных видов транспорта для создания эффективных комбинированных (мульти- и интермодальных) транспортных систем, актуализация правил перевозки пассажиров и их багажа, покупки и возврата проездных билетов.

Список литературы

1. Баранов А.С., Павленко Е.С., Кротиков А.В. Междисциплинарные основы концепции развития транспортной системы города (по материалам транспортных разделов проекта генерального плана Екатеринбурга на период до 2025 г.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdistiplinarnye-osnovy-kontseptsii-razvitiya-transportnoy-sistemy-goroda-po-materialam-transportnyh-razdelov-proekta-generalnogo> (дата обращения 22.04.24)
2. Постановление Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа «Об утверждении порядка предоставления субсидий из окружного бюджета организациям внутреннего водного транспорта, осуществляющим транспортное обслуживание населения на межрегиональных маршрутах по специальным тарифам...» от 20 апреля 2020 года N 459-П (с изменениями на 3 июля 2023 года).
3. Постановление Правительства Нижегородской области от 8 сентября 2020 г. N 749 "О порядке предоставления из областного бюджета субсидии на финансовое обеспечение (возмещение) затрат, связанных с организацией перевозок пассажиров и их багажа скоростными судами на подводных крыльях" (с изменениями от 10 мая 2023 года).
4. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 26.08.2022 №902 «Об утверждении порядка предоставления в 2022 году субсидии из бюджета Республики Татарстан недополученных доходов в связи с государственным регулированием тарифов на перевозки пассажиров водным транспортом в пригородном сообщении, а также в связи с предоставлением льгот по оплате проезда отдельным категориям граждан».
5. Постановление Государственного комитета Республики Татарстан по тарифам от 17.04.2024 № 21-2/т-2024 «Об установлении предельных максимальных тарифов на перевозки пассажиров и багажа речным транспортом на скоростных и водоизмещающих судах в местном сообщении, осуществляемые Акционерным обществом «Флот Республики Татарстан» г.Казань» (зарегистрировано Министерством юстиции РТ от 19.04.2024 №12629).
6. Постановление «Об утверждении правил предоставления субсидии из республиканского бюджета Чувашской республики на возмещение потерь в доходах организациям внутреннего водного транспорта, осуществляющим перевозку

- пассажирам внутренним водным транспортом по специальным тарифам» от 30.05.2022 №240.
7. Коршунов Д.А., Костров В.Н., Дрейбанд Д.В., Бафанов А.П. Анализ подходов к субсидированию скоростных речных маршрутов. Материалы международного научно-практического форума «Транспорт. Горизонты развития». ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2024. – URL: http://vf-река-море.рф/2024/7_15.pdf (дата обращения 10.05.2024).
 8. Коршунов Д.А., Дрейбанд Д.В., Бафанов А.П. Сравнительный анализ конкурентных тарифов на скоростные речные маршруты с учетом платежеспособности населения. Материалы международного научно-практического форума «Транспорт. Горизонты развития». ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2024. – URL: http://vf-река-море.рф/2024/7_16.pdf (дата обращения 10.05.2024).
 9. Лавриненко, П.А. Транспортная доступность как индикатор развития региона / П.А. Лавриненко, А.А. Ромашина, П.С. Степанов, П.А. Чистяков // Журнал «Проблемы прогнозирования», № 6 (177), 2019. – С. 136-146. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41362114> (дата обращения 22.04.24).
 10. Социально-экономические показатели уровня жизни населения Нижегородской области. Федеральная служба государственной статистики (Нижегородстат). URL: <https://52.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Социально-экономические%20показатели%20уровня%20жизни%20населения%20Нижегородской%20области%20за%202022%20год.pdf> (дата обращения 22.04.24).

References

1. Baranov A.S., Pavlenko E.S., Krotikov A.V. Mezhdisciplinarnye osnovy koncepcii razvitiya transportnoj sistemy goroda (po materialam transportnyh razdelov proekta general'nogo plana Ekaterinburga na period do 2025 g.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdistsiplinarnye-osnovy-kontseptsii-razvitiya-transportnoy-sistemy-goroda-po-materialam-transportnyh-razdelov-proekta-generalnogo-data-obrashcheniya-22.04.24>
2. Postanovlenie Pravitel'stva Yamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga «Ob utverzhdenii poryadka predostavleniya subsidij iz okruzhnogo byudzheta organizacijam vnutrennego vodnogo transporta, osushchestvlyayushchim transportnoe obsluzhivanie naseleniya na mezhregional'nyh marshrutah po special'nym tarifam...» от 20 aprelya 2020 goda N 459-P (s izmeneniyami na 3 iyulya 2023 goda).
3. Postanovlenie Pravitel'stva Nizhegorodskoj oblasti ot 8 sentyabrya 2020 g. N 749 "O poryadke predostavleniya iz oblastnogo byudzheta subsidii na finansovoe obespechenie (vozmeshchenie) zatrat, svyazannyh s organizaciej perevozok passazhirov i ih bagazha skorostnymi sudami na podvodnyh kryl'yah" (s izmeneniyami ot 10 maya 2023 goda).
4. Postanovlenie Kabineta Ministrov Respubliki Tatarstan ot 26.08.2022 №902 «Ob utverzhdenii poryadka predostavleniya v 2022 godu subsidii iz byudzheta Respubliki Tatarstan nedopoluchennyh dohodov v svyazi s gosudarstvennym regulirovaniem tarifov na perevozki passazhirov vodnym transportom v prigorodnom soobshchenii, a takzhe v svyazi s predostavleniem l'got po oplate proezda otdel'nym kategoriyam grazhdan».
5. Postanovlenie Gosudarstvennogo komiteta Respubliki Tatarstan po tarifam ot 17.04.2024 № 21-2/t-2024 «Ob ustanovlenii predel'nyh maksimal'nyh tarifov na perevozki passazhirov i bagazha rechnym transportom na skorostnyh i vodoizmeshchayushchih sudah v mestnom soobshchenii, osushchestvlyaemye Akcionernym obshchestvom «Flot Respubliki Tatarstan» g.Kazan'» (zaregistrirvano Ministerstvom yusticii RT ot 19.04.2024 №12629).
6. Postanovlenie «Ob utverzhdenii pravil predostavleniya subsidii iz respublikanskogo byudzheta Chuvashskoj respubliki na vozmeshchenie poter' v dohodah organizacijam vnutrennego vodnogo transporta, osushchestvlyayushchim perevozku passazhirov vnutrennim vodnym transportom po special'nym tarifam» от 30.05.2022 №240.
7. Korshunov D.A., Kostrov V.N., Drejband D.V., Bafanov A.P. Analiz podhodov k subsidirovaniyu skorostnyh rechnyh marshrutov.//Transport. Gorizonty razvitiya. 2024: Materialy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma. FGBOU VO «VGUVT». – 2024. – URL: http://vf-река-море.рф/2024/7_15.pdf (дата обращения 10.05.2024).
8. Korshunov D.A., Drejband D.V., Bafanov A.P. Sravnitel'nyj analiz konkurentnyh tarifov na skorostnye rechnye marshruty s uchetoм platezhеспособности населения // Transport.

- Gorizonty razvitiya. 2024: Materialy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma. FGBOU VO «VGUVT». – 2024. – URL: http://vf-reka-more.rf/2024/7_16.pdf (data obrashcheniya 10.05.2024)
9. Lavrinenko, P.A. Transportnaya dostupnost' kak indikator razvitiya regiona / P.A. Lavrinenko, A.A. Romashina, P.S. Stepanov, P.A. Chistyakov // Zhurnal «Problemy prognozirovaniya», № 6 (177), 2019. – S. 136-146. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41362114> (data obrashcheniya 22.04.24).
 10. Social'no-ekonomicheskie pokazateli urovnya zhizni naseleniya Nizhegorodskoj oblasti. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (Nizhegorodstat). URL: <https://52.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Social'no-ekonomicheskie%20pokazateli%20urovnya%20zhizni%20naseleniya%20Nizhegorodskoj%20oblasti%20za%202022%20god.pdf> (data obrashcheniya 22.04.24).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Dmitry A. Korshunov, PhD,

Associate professor of the Department of
Logistics and Marketing, Volga State University
of Water transport, 5, Nesterov st. Nizhny
Novgorod, 603950

Дрейбанд Дмитрий Владимирович, к.э.н.,
доцент, доцент кафедры управления
транспортом, Волжский государственный
университет водного транспорта (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603950, г.Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5, e-mail: voi82@yandex.ru

Dmitry V. Dreiband, PhD,

Associate professor of the Department of
Transport Management, Volga State University
of Water transport, 5, Nesterov st. Nizhny
Novgorod, 603950

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 629.5

DOI:10.37890/jwt.vi82.581

Обеспечение устойчивого развития судостроительных предприятий на основе интеллектуальных систем управления

С.Е. Щепетова¹

ORCID: 0000-0002-1545-7383

К.И. Щербин²

ORCID: 0000-0003-4799-8931

О.Л. Трухинова^{1,3}

ORCID: 0000-0002-3423-9058

¹ *Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия*

² *ООО «ГлоубАйт», г. Москва, Россия*

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

Аннотация. Современная чрезвычайно динамичная среда хозяйствования ставит перед судостроительными предприятиями задачу формирования механизма их устойчивого развития с помощью интеллектуальных систем управления. В статье анализируются текущие экономические проблемы судостроения в России и способы их решения на основе системного подхода и инструментов цифровизации, автоматизации и интеллектуализации. Предлагается расширить функциональность интеллектуальных систем управления для согласования изменений на всех управленческих стратах, формирования своевременных и обоснованных управляющих и организующих воздействий благодаря анализу процессов и классификации отклонений факта от плана в соответствии с концепциями activity based costing - activity based budgeting - activity based management (ABC-ABB-ABM) и статистическим управлением Шухарта-Деминга, что позволит классифицировать судостроительные предприятия по степени устойчивого развития на основании системы сбалансированных показателей (ССП), оценивая устойчивость их состояния, функционирования и развития.

Ключевые слова: устойчивое развитие, судостроение, статистическое управление, системы сбалансированных показателей (ССП), activity based costing - activity based budgeting - activity based management (ABC-ABB-ABM), интеллектуальные системы управления, цифровизация, автоматизация, интеллектуализация.

Ensuring sustainable development of shipbuilding enterprises based on intelligent control systems

Svetlana Ye. Shchepetova¹

ORCID: 0000-0002-1545-7383

Kirill I. Shcherbin²

ORCID: 0000-0003-4799-8931

Olga L. Trukhinova^{1,3}

ORCID: 0000-0002-3423-9058

¹ *Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia*

² *GlowByte LLC, Moscow, Russia*

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

Abstract. The modern extremely dynamic business environment sets shipbuilding enterprises the task of forming a mechanism for their sustainable development using

intelligent control systems. The article analyzes the current economic problems of shipbuilding in Russia and the ways to solve them based on a systematic approach and tools of digitalization, automation and intellectualization. It is proposed to expand the functionality of intelligent management systems to coordinate changes at all levels of management. System helps to form timely and reasonable management and organizational actions through the analysis of processes and classification of deviations from the plan in accordance with the concepts of activity based costing - activity based budgeting - activity based management (ABC-ABB-ABM) and the Shewhart-Deming statistical management, which will classify shipbuilding enterprises according to the degree of sustainable development based on the balanced scorecard, assessing the sustainability of their condition, functioning and development.

Keywords: sustainable development, shipbuilding, statistical management, balanced scorecard systems, activity based costing - activity based budgeting - activity based management (ABC-ABB-ABM), intelligent management systems, digitalization, automation, intellectualization.

Введение

Устойчивость функционирования и развития предприятий судостроительной отрасли зависит от многих факторов, как внешнего, так и внутреннего характера. На создание и строительство судов влияют законодательные органы, проектанты, производители, инвесторы, поставщики производственных технологий, программного обеспечения, сырья, материалов и судового комплектующего оборудования (далее СКО), специалисты, работающие на предприятиях. Строительство судна – капиталоемкий процесс, требующий должного финансирования и ресурсного обеспечения. Судостроительные предприятия имеют специфику, обусловленную длительным производственным циклом, выпуском судов чаще под конкретного заказчика (реже типовых судов), позаказным методом учета затрат.

К внешним факторам, существенно влияющим на результаты деятельности судостроительных предприятий, относятся в первую очередь факторы, характеризующие нормативно-правовое регулирование, доступ к заемным финансовым ресурсам, состояние отечественной и мировой экономики. Если для предпринимательства созданы благоприятные условия, хозяйственные связи налажены и экономика на подъеме, то существует потребность в перевозках товаров, как следствие, в новых судах как виде транспорта. Однако некоторые эксперты отмечают нестабильность рыночной ситуации в части соотношения спроса и предложения как характерную черту среды хозяйствования судостроительных предприятий [1, 2]. Другие эксперты [3] обращают внимание на несоответствие циклов экономического развития и судостроительного производства. В связи с длительностью процессов проектирования и изготовления судов внешние условия хозяйствования могут настолько сильно меняться, что результаты деятельности судостроительных предприятий становятся слабо предсказуемыми, возникают неожиданные риски и потери. Так, например, известен феномен: рост потребности в перевозках вызывает подъем спроса на суда, предприятия не успевают вовремя обеспечить возросший спрос до очередного падения торговли и спроса на тоннаж, как следствие изменившихся условий готовые суда часто не могут найти применения.

К внутренним факторам, существенно влияющим на устойчивость судостроительных предприятий, можно отнести трудоёмкость, капиталоемкость и уникальность (в той или иной мере) изготавливаемых судов, трудность внесения изменений в характеристики судна, сложность планирования производственной деятельности из-за длительности строительства судов. К потере эффективности и целенаправленности деятельности предприятия как единой социально-экономической системы ведут регулярные в последние десятилетия хозяйственные преобразования, идущие в судостроительной промышленности, в т.ч. как закономерное следствие

изменения нормативно-правового регулирования [4]⁴. Также меняет подход к производству судов ужесточение международных норм по ограничению использования традиционных видов топлива и появление требований Международной морской организации (ИМО) о переходе на альтернативные виды нового судового горючего [5]. Кроме того, технологии судостроения предполагают создание судов у водоёмов, что неизбежно ведёт к загрязнению природных ресурсов, увеличению финансовой нагрузки на судостроительные предприятия и увеличение бюрократических процедур в связи с требованиями постоянного контроля допустимых и фактических воздействий на окружающую среду для соответствия экологическим нормам.

Со временем требования к качеству судов повышаются, всё ярче обозначая проблемы нехватки кадров, низких уровней квалификации кадров и производительности труда [6], необходимость модернизации, обновления и наращивания производственных мощностей [5], а также потребность восстановления взаимовыгодных кооперационных хозяйственных связей и оптимизации внутризаводской логистики [7]. Для производства судов требуются качественные комплектующие, которые все еще закупаются на 60-70% из-за рубежа, что говорит о сохранении импортозависимости отрасли [8, 9, 10].

Исходя из этого можно отметить значительное влияние на устойчивость предприятий судостроительной отрасли как внешних, так и внутренних неблагоприятных факторов. Соответственно, в условиях неопределенности крайне важно выстроить механизмы обеспечения устойчивого развития предприятий судостроительной промышленности, что является сложной научной и практической задачей. В рамках создания механизмов обеспечения устойчивого развития, интеллектуальные системы способны предоставить возможность использования данных о ситуации на предприятии и окружающей его среде для формирования фундамента принятия своевременных и обоснованных решений на предприятии [10].

Методы

Судостроение рассматривается как сложная система, включающая в себя множество технических, экономических и социальных подсистем, которые в совокупности порождают общие характеристики отрасли. При этом система в целом и каждая подсистема в частности представляются большим разнообразием элементов и участников – судостроительных предприятий, поставщиков, судовладельцев и других заинтересованных сторон, взаимодействующих в рамках жизненного цикла судна [11].

Для отнесения предприятия к определенному типу с точки зрения его устойчивости оно рассматривается в данном исследовании с позиций пространственно-временной классификации систем Г.Б. Клейнера [12]: на верхнем уровне предприятие представляется как система объектного типа (то есть система, ограниченная в пространстве и не ограниченная во времени), взаимодействующая с внешней средой; при декомпозиции – взаимодействующими между собой подсистемами проектного, процессного, объектного и средового типов. Управление судостроительным предприятием рассматривается на трёх уровнях: оперативном, тактическом и стратегическом, в соответствии с организационной моделью «Треугольник Энтони» [13], при реализации процессов планирования, учета и анализа деятельности в соответствии с методологией activity based costing - activity based

⁴ Дополнительные негативные воздействия на экономическую устойчивость предприятия оказывают хищения и коррупция со стороны сотрудников и должностных лиц, достаточно часто упоминаемые в СМИ. Поскольку судостроительная отрасль требует значительных бюджетов для реализации проектов, риск экономических злоупотреблений достаточно высок.

budgeting - activity based management (далее – ABC-ABB-ABM), что предполагает представление деятельности предприятия в виде совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих процессов [14]. Анализ и интерпретация результатов фактической деятельности, а также ее отклонений от запланированной осуществляется в соответствии с теорией статистического мышления [15], позволяющей обоснованно различать ситуации системной и особой вариабельности и, как следствие, с учетом этого принимать решения организующего или управляющего характера. Оценка уровня устойчивого развития осуществляется с использованием интегрального показателя, рассчитываемого на основе системы сбалансированных показателей (далее – ССП), индивидуально формируемой для каждого предприятия [16].

Результаты

Современная экономическая ситуация ставит перед судостроительными компаниями серьезные задачи по развитию отрасли: требуется глубокая модернизация, техническое перевооружение и расширение мощностей производства, освоение и увеличение выпуска аналогов импортного СКО, обширная цифровизация всех уровней управления и производства верфей, повышение объема НИОКР и наукоемкой продукции. Данные задачи направлены на решение основной цели судостроения – обеспечение своевременного обновления и расширения российского флота.

На каждом из этапов строительства судна (в том числе: при проектировании, изготовлении корпуса и составляющих модулей, первоначальной сборке и установке, сборке судна в доке, окончательной установке судового оборудования и спуске на воду, при последующих ходовых испытаниях) возникает множество проблем, вызывающих задержки во времени строительства, значительно увеличивающих себестоимость и окончательную цену судна. Остановимся на наиболее существенных отличиях судостроения от других отраслей, в которых создаются капитальные объекты, и имеющихся проблемах.

Специфика спроса на рынке судостроения определяется его зависимостью от наличия платежеспособного спроса на товары, перевозимые морским или речным транспортом. К факторам, определяющим спрос на создание новых судов, можно отнести требования заказчика, его платежеспособность, состояние международной и внутренней торговли в целом. Несмотря на то, что некоторые эксперты пишут о превышении в настоящее время спроса на суда над их предложением в российской экономике, отечественная судостроительная промышленность сталкивается со множеством проблем, в числе которых требование скачкообразного наращивания производственных мощностей и качественного изменения изготавливаемых судов⁵, проблемы финансирования и ресурсного обеспечения деятельности, проблема обеспечения эффективности функционирования и выживания в постоянно изменяющихся условиях.

Организация деятельности судостроительной промышленности требует тщательной координации процессов и тесного взаимодействия заказчика, проектанта и всех подразделений завода-строителя на всех этапах строительства судна. В этом контексте стоит отметить проблемы создания электронной трехмерной модели судна

⁵ Как известно, в России остро стоит проблема импортозамещения, в особенности это касается судостроительной промышленности. Исторически сложилось, что основные узлы и системы судна поставлялись зарубежными производителями, и в условиях санкций российским предприятиям приходится заново осваивать потерянные знания в планировании и организации производства, развивать утраченные компетенции в таких сферах как микроэлектроника, судовые геоинформационные системы, судовые двигатели и многих других.

и информационной модели непрерывной цепочки процессов его строительства, создания единого (в крайнем случае, совместимого) информационного пространства деятельности проектантов и инженерных подразделений, отделов планирования, производственных подразделений и групп управления проектами завода-строителя, обеспечения процессов строительства судна релевантной актуальной информацией, анализа огромного объема данных, генерируемых в результате судостроительного производства для принятия своевременных и обоснованных решений. Сегодня взаимодействие указанных сторон сопряжено с большими трудностями из-за использования устаревших программных систем и отсутствия совместимых информационных сред аккумуляции информации [3, 4].

Отметим и специфику разработки проектов судов. Суда проектируются не только до начала строительства. Проектирование продолжается и во время судостроительного производства путем внесения определенных корректировок в проект (например, из-за необходимости замены импортного СКО на отечественное, прекращения выпуска заложенных в проект комплектующих, удовлетворения специфических требований конкретного заказчика, удешевления проекта для соответствия бюджетным ограничениям в условиях роста цен и т.д.). Необходимость проведения дополнительных проектных расчетов с учетом ранее выполненных инженерных и производственных работ и уже построенных секций судна, последующей перестройки сложного производства выявляет одну из основных проблем судостроения: отсутствие эффективно организованной коммуникации между заинтересованными сторонами и участниками процессов для передачи информации о требуемых изменениях, которые необходимо внести, и полученных результатах.

Судостроение имеет долгосрочные последствия, поскольку на совершение сделки по проектированию, постройке и продаже судна уходит много лет, а затем владелец судна эксплуатирует его несколько десятилетий (до 40 и более лет). В связи с этим значимой является проблема обеспечения планово-предупредительного обслуживания и ремонтных работ, которые должны проводиться, как минимум, в каждый межнавигационный период. В СССР функционировала отлаженная система судоремонта, обеспечиваемая широкой сетью судоремонтных предприятий, многие из которых впоследствии были перепрофилированы или ликвидированы. Во многом это объясняется низкой рентабельностью данного вида деятельности, который требует государственной поддержки в виде льгот, дотаций или тому подобных мер. Требуется организация судоремонтных подразделений на действующих предприятиях (по типу судостроительно-судоремонтных заводов), либо отдельных судоремонтных компаний.

В СССР в рамках плановой экономики обеспечивалось устойчивое развитие предприятий судостроительной области благодаря общей подчинённости единому Госплану СССР и единому контролирующему органу (рис.1). Система, с концентрацией ответственности и всей необходимой информацией в одной точке имела возможность учитывать интересы всех заинтересованных сторон, корректно распределять производство с учётом имеющихся ресурсов. После становления рыночной экономики сменилась парадигма управления в судостроительной отрасли, которая теперь включает множество косвенных управляющих связей. С учётом множества источников информации требуется сформировать новый механизм устойчивого развития, способный объединить разнообразные и неоднородные источники изменений в единую систему несмотря на территориальную разделённость с целью единоподчиненных и слаженных действий.

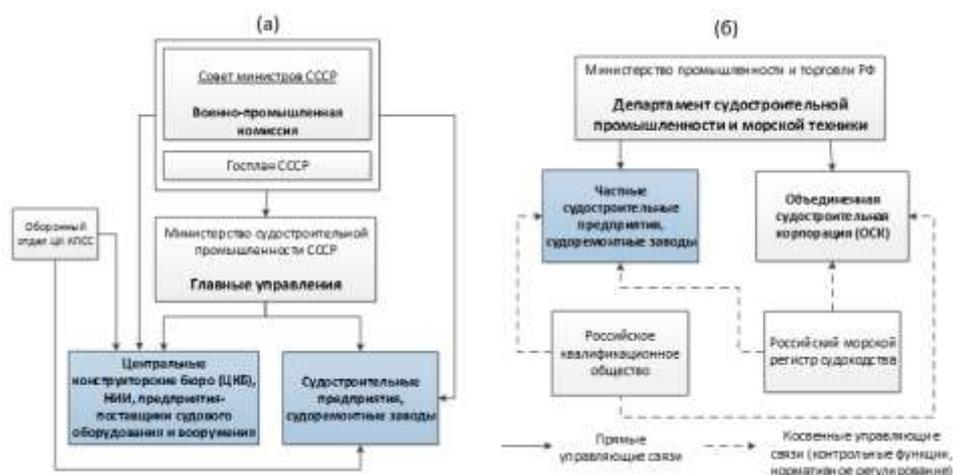


Рис. 1. Управление судостроительной промышленностью в 1965-1991 гг. (а) и в настоящее время (б)
Составлено авторами

Таким образом, проблема обеспечения устойчивого развития судостроительной промышленности является комплексной и значимой как для самих предприятий, так и для экономики и безопасности России в целом.

Перечисленные выше проблемы связаны с факторами, вносящими неустойчивость в деятельность судостроительных предприятий. Для вынесения предложений по разрешению этих проблем требуется подробнее проанализировать источники воздействий на предприятия. Для этого предлагается дополнительно к разделению источников воздействий на внешние и внутренние классифицировать их по следующим признакам: по характеру влияния на предприятие (негативное, условно-негативное, нейтральное) и по возможности влияния лиц, принимающих решения (далее – ЛПР) (управление, влияние, незначительное влияние). В течение длительного процесса строительства судна на предприятие оказываются воздействия как негативного, так и условно негативного характера. Природные явления, препятствующие строительству судна, отказ заказчика после завершения части работ, связь с неблагонадёжным поставщиком и брак – явно негативные воздействия. Однако с учётом динамичности среды наблюдается ускорение нейтральных воздействий, которые требуют своевременного вовлечения и реагирования: изменение требований заказчика, доступность материалов и оборудования, потребности в ремонте оборудования и мотивации персонала. При расширении масштабов деятельности количество воздействий увеличивается и, накладываясь друг на друга они формируют условно-негативные воздействия, которые, в случае отсутствия своевременных решений подрывают устойчивость состояния, функционирования и развития предприятия. При работе с воздействиями требуется явно определить, какую степень влияния на них способен оказывать ЛПР. Нестабильная ситуация на внешнем и внутренних рынках находится в зоне незначительного влияния ЛПР и создает неблагоприятные условия для функционирования предприятий, следовательно, они не только не могут развиваться, но и устойчиво функционировать. В зоне влияния находится взаимодействие предприятия с ближайшими заинтересованными сторонами: поставщиками материалов, заказчиками. Ряд функций находится в зоне влияния или управления в зависимости от наличия достаточных ресурсов на предприятии и оргструктуры: ремонт и обслуживание оборудования, бухгалтерия, юридическое подразделение и иная вспомогательная деятельность, не относящаяся непосредственно к судостроению, могут быть отданы на аутсорсинг с целью экономии и повышения

качества работ за счёт специализированных команд, при этом функции переходят из зоны управления в зону влияния. Расширение зоны управления и снижение зоны влияния, как правило приводит к повышению уровня устойчивости состояния и функционирования предприятия.

Обеспечение устойчивого развития включает в себя обеспечение устойчивости состояния, функционирования на уровнях процессов и среды, а также устойчивость развития. Устойчивость состояния зависит от базовых факторов, которые способствуют сохранению самоидентичности предприятия. На устойчивость функционирования влияют регламенты и качество регулярных процессов, которые защищают предприятия от негативных воздействий тем, что избавляют ЛПР от необходимости частого принятия решений по малозначительным и понятным вопросам. На устойчивость развития влияет способность предприятия запускать и доводить до успешного завершения проекты.

Для обеспечения устойчивости состояния, функционирования и развития требуется отладка процесса своевременного принятия обоснованных решений на трех уровнях управления: стратегической, тактической и оперативной. Нужен соответствующий организационно-управленческий механизм. Его реализация требует оперативного получения информации, достаточной для принятия решений и подходящей методологии. Принятие решений формируется на основании планов и наблюдении отклонений фактических значений от плановых и может занимать длительное время для обработки человеком. Требуется отслеживать показатели процессов в режиме реального времени, классифицировать отклонения с точки зрения теории статистического мышления Шухарта-Деминга согласно которой причины отклонений в процессах классифицируются как особые причины вариации, требующие управленческих воздействий либо как системные, требующие организующих изменений. Примером особой причины вариации может служить болезнь сотрудника на конвейере, что требует оперативной замены в качестве управленческого воздействия для поддержания объёма производства на плановом уровне. В случае значительной системной вариации в процессах, например, длительные согласования между подразделениями, требуется пересмотреть мотивацию сотрудников, в том числе руководителей по взаимодействию отделов. Процессы на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях предлагается измерять с точки зрения издержек, финансов и качества в режиме реального времени, для своевременного сигнализирования о наличии проблем. С этим способны помочь интеллектуальные системы управления (далее – ИСУ). Сбор качественных данных и предоставление ЛПР достаточных данных для принятия решений позволит своевременно переформулировать цели, найти новые альтернативы, внести корректировки в текущую техническую деятельность.

В рамках формирования единого механизма обеспечения устойчивого развития предлагается осуществлять мониторинг устойчивости состояния, устойчивости функционирования и устойчивости развития предприятий с помощью цифровизации, автоматизации и интеллектуализации процесса управления.

На рис. 2 представлена схема распределения ответственности между ИСУ и человеком в рамках процесса бюджетирования на судостроительном предприятии, где значком шестерёнки указаны процессы, которые подвергаются компьютерной интеллектуализации. Ответственность человека в полной мере проявляется на уровне принятия стратегических решений и окончательных решений по регулирующим воздействиям в процессе деятельности.

Упрощение процессов бюджетирования обеспечивается за счет включения функций интеллектуального контроллинга и интеллектуальной поддержки принятия решений в функциональность ИСУ. Для обеспечения устойчивого развития судостроительного предприятия вышеназванные функции ИСУ должны охватывать все страты управления. Интеграция экономической и статистической информации

позволяет повысить устойчивость состояния при принятии решений на всех этапах управления, устойчивость функционирования и развития благодаря корректировке подхода к отслеживанию процессов и проектов соответственно. На основе измерения затрат в соответствии с концепцией Activity Based Costing (ABC), Activity Based Budgeting (ABB), Activity Based Management (ABM) и теории статистического управления в режиме реального времени по процессам в рамках заказа, учитывающим как производственные, так и административные и вспомогательные процессы, предлагается собирать статистику, измерять и классифицировать отклонения в процессах и применять управляющие или организующие воздействия для изменения плана или текущей деятельности, в том числе корректировать себестоимость продукции на основании фактически связанных с продукцией процессов. Такой подход позволяет оперативно выявлять избыточные процессы, не добавляющие ценности, обнаруживать проблемные процессы с высокой вариацией и, оперативно определяя её характер, возвращать процесс в статистически управляемое состояние с помощью управляющих и организующих воздействий.

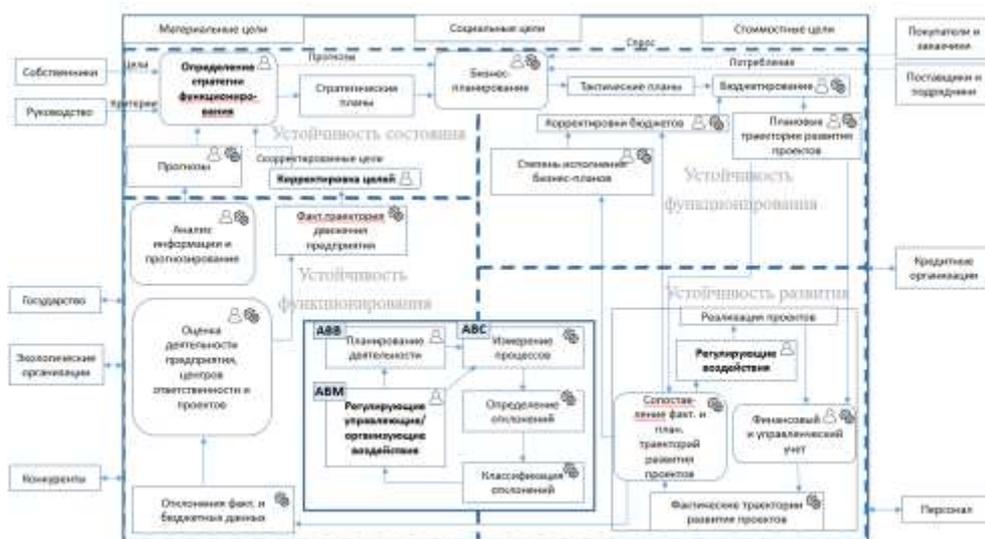


Рис. 2. Схема процесса бюджетирования с включением функций ИСУ
Составлено авторами

Таким образом, бюджетирование по методологии ABC-ABB-ABM совершенствуется и адаптируется к решению задач обеспечения устойчивого развития предприятия за счет реализации предложенных бизнес-технологических схем управленческого цикла с использованием ИСУ.

Отнести предприятие к одному из пяти типов – неустойчивое, устойчивое на текущий момент, развивающееся, устойчиво развивающееся и соответствующее принципам ESG – позволяет разработанная матрица зрелости в части обеспечения устойчивого развития, структурное изображение которой представлено в таблице 1. Отнесение предприятия к конкретной группе позволяет дать рекомендации по разработке механизма обеспечения устойчивого развития с учётом его стадии зрелости, что является одним из отличительных признаков разработанной методики.

Таблица 1

Классификация предприятия по уровню устойчивого развития на основании групп показателей

Критерий	Тип предприятия				
	Неустойчивое	Устойчивое в моменте	Развивающееся	Устойчиво развивающееся	Соответствующее принципам ESG
Состояние	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть
Функционирование (на уровне процессов)	Нет	Есть	Нет	Есть	Есть
Функционирование (на уровне надсистемы)	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть
Развитие	Нет	Нет	Есть	Есть	Есть

Формирование механизма устойчивого развития начинается с определения текущей стадии предприятия с точки зрения устойчивости с помощью предлагаемой матрицы зрелости с учетом его системы сбалансированных показателей, при этом учитываются текущие значения показателей, тренд значений показателей за предыдущий релевантный период (например, год), тренд за весь период существования предприятия, реакция значений показателей на воздействия различной силы и повторяемости. Показатели классифицируются на четыре группы и образуют интегральный показатель устойчивого развития, который можно отобразить визуально, как представлено на рисунке 3. На основании этой информации предлагаются комплексные рекомендации для руководителей предприятий по повышению уровня устойчивого развития, которые описывают последовательность шагов внедрения изменений в частях функций ИСУ, их технической реализации, бизнес-функций предприятия и критериев устойчивости, которые подлежат усилению, уточнения о типе предприятия, которым изменения в рамках текущего шага наиболее актуальны.

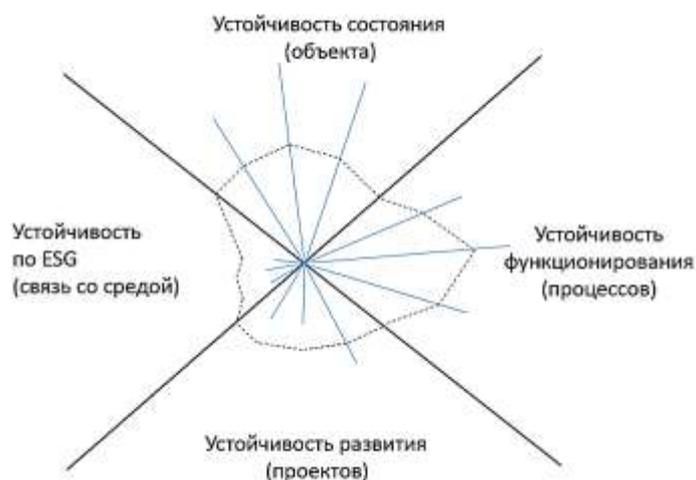


Рис. 3. Визуальное отображение интегрального показателя устойчивого развития
Составлено авторами

Первейший шаг внедрения ИСУ заключается в анализе процессов в режиме реального времени. Для такого мониторинга подходят технологии интеграции с системами учёта и отчётности, а также сбор информации по производственным процессам с помощью технологий ПоТ (промышленный интернет вещей). Это особенно полезно неустойчивым предприятиям т.к. позволяет обеспечить устойчивость состояния благодаря анализу текущих процессов на предмет особых причин вариабельности и применению управляющих воздействий для их удаления. Для повышения уровня устойчивого развития необходимо описать процессы, проверить их на повторяемость и необходимость для повышения конечной ценности продукции. Те процессы, которые не приносят дополнительной ценности необходимо также удалить.

Второй шаг – обеспечение классификации отклонений в процессах в режиме реального времени. В основе математического аппарата лежат контрольные карты Шухарта. Отображение агрегированной статистики по процессам возможно через дашборды для ЛПП. Это поможет развивающемуся предприятию проанализировать процессы на предмет системных отклонений, выявить те из них, которые обладают наибольшим системным отклонением и применить организующее воздействие для изменения структуры предприятия и снижения вариации. Вследствие этих действий снизятся нагрузка на ключевых сотрудников, деятельность станет более предсказуемой и управляемой, будет обеспечиваться устойчивость функционирования на уровне процессов.

Третий шаг – настройка интеллектуального поиска дополнительных альтернатив и ограничений. С помощью моделей обучения искусственного интеллекта Word2vec, GloVe, FastText анализируются открытые источники информации и, по ключевым словам, выдают главную информацию по изменениям на рынке. С помощью парсинга ключевых сайтов партнёров и аналитических сводок также анализируются цены на сырьё и продукцию. Это позволит обеспечить устойчивость развития на предприятии, устойчивом в моменте, благодаря снижению концентрации на процессах и перенаправлению фокуса на проектную деятельность, связанную с реализацией новых возможностей.

Четвёртый шаг – анализ опыта предприятий на рынке. На основании машинного обучения на базе отчетности – статистической, управленческой, нефинансовой – проводится поиск иных предприятий, с похожими показателями и динамикой. У ЛПП появляется возможность проанализировать действия похожих компаний и последствия этих действий, после чего использовать лучшие практики. Эта функция позволяет устойчиво развивающемуся предприятию, которое уже обладает системно настроенными процессами и активно запускает проекты, повысить устойчивость функционирования на уровне надсистемы и упрощает переход к реализации ESG принципов.

Заключение

Повышение устойчивости судостроения представляет собой богатую область для изучения. Потеря российскими верфями конкурентоспособности на рынке судостроения произошла вследствие более активного производства зарубежными судостроителями высокотехнологичной продукции и цифровизации производства. Преодоление этого негативного обстоятельства возможно посредством перехода к интеллектуальному производству, особенно к высоким технологиям, как в оборонной, так и в гражданской промышленности. Многообещающий подход в этом контексте, по-видимому, это сопоставление виртуального и реального образа судна путем создания единого информационного пространства, установления связей и взаимодействия между судостроителями и другими участниками судостроения (так называемая «цифровая верфь» или «Верфь 4.0» [21, 22]).

Теоретически в устойчивом развитии отрасли заинтересованы все: и надсистема в виде экономики страны, и отрасль судостроения, и смежные отрасли, и потребители услуг перевозок морским и речным транспортом. Однако на практике судостроительная промышленность сталкивается с усилением влияния негативных и условно негативных воздействий, имеет место ряд значимых проблем, препятствующих устойчивому развитию предприятий и отрасли в целом [23]. Основные проблемы связываются с жёсткой привязкой производства к спросу, большим количеством взаимодействующих агентов при производстве судна, длительностью проектирования и производства, а вместе с тем и сложностью внесения изменений в проект, длительностью жизненного цикла продукции, требующего соответствующей финансовой, организационной и технической поддержки судна, как на стадии производства, так и на стадии эксплуатации.

В этих условиях реализуется ряд совместных мероприятий между заинтересованными сторонами в судостроении, направленных на продвижение устойчивого развития. При этом не всегда ясно, куда вкладывать усилия, но растёт понимание того, что необходимо сделать, чтобы укрепить отрасль с точки зрения устойчивости и скоординированности. Выявленные проблемы предлагается решить через повышение устойчивости состояния, функционирования и развития предприятия благодаря внедрению ИСУ.

В части синхронизации спроса и предложения в судостроительной области предлагается применить ИСУ на базе конкретных доступных на сегодняшний день технологий с целью обнаружения ограничений и возможностей, благодаря чему увеличится скорость реагирования на изменения.

Взаимодействие различных подразделений и обмен информацией предлагается выстраивать на базе ИСУ, за счет исследования характеристик процессов и их вариации на оперативном, тактическом и стратегическом уровнях управления. По результатам измерений в режиме реального времени предлагается классифицировать отклонение фактических показателей от плановых как системные или порождённые особыми причинами вариации, а после – предлагать ЛПР организующие и управляющие воздействия для повышения статистической управляемости системы.

Предлагаемая ИСУ должна хранить в себе информацию о выпущенных судах, деталях его производства, эксплуатации и обслуживания, что позволит предлагать и обеспечивать для заказчика своевременный и качественный ремонт готового судна.

Само поднятие темы служит для инициирования изменений, обсуждения и формулировки новых направлений устойчивого развития судостроения и определения новых результатов, таких как внедрение и расширение функциональности ИСУ на судостроительных предприятиях.

Список литературы

1. Красильников А. Б. К вопросу исследования тенденций современного российского судостроения / Прогрессивная экономика. - № 12. - 2024. - С. 211-221. DOI: 10.54861/27131211_2024_12_211
2. Развитие судостроительной отрасли в РФ в 2023 году: спрос превышает предложение. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/razvitie-sudostroitelnoy-otrasli-v-rf-v-2023-godu-spros-prevyshaet-predlozhenie/> (дата обращения 21.02.2025).
3. Demand and Supply of Maritime Transport Services: Analysis of Market Cycles. URL: <https://lawexplores.com/demand-and-supply-of-maritime-transport-services-analysis-of-market-cycles/> (Дата обращения 15.02.2025)
4. Мягченко О. Как разорвать замкнутый круг в судостроении. Мнения экспертов / Mashnews. URL: <https://mashnews.ru/chto-delat-s-osk-i-kak-razorvat-zamknutyj-krug-v-sudostroenii.-mneniya-ekspertov.html> (Дата обращения 19.02.2025).
5. Сепреев К. ИМО в 2025 году: приоритеты в работе и сигналы корабелам / URL: https://www.korabel.ru/news/comments/imo_v_2025_godu_prioritety_v_rabote_i_signaly_k_orabelam_2.html (Дата обращения: 19.02.2025).

6. Тресорук А.А., Фролов И.Э. Долгосрочное развитие российского судостроения с учетом процессов диверсификации оборонных отраслей: модель и прогноз / Проблемы прогнозирования, 2020, № 6. - С. 119-128
7. Рудный Е.В., Кокурин Д.И. Роль модернизации производства в повышении эффективности предприятий судостроительной и судоремонтной отраслей / Экономика и бизнес: теория и практика. – 2024. - № 2-2 (108). - С. 71-75. DOI:10.24412/2411-0450-2024-2-2-71-75
8. Савченко О.В., Половинкин В.Н. Современное состояние, проблемы и перспективы развития отечественного гражданского судостроения / Труды Крыловского государственного научного центра. 2022; Т. 3, № 401. – С. 152–164.
9. Савченков К.А., Вербицкий С.В., Лобанов А.В. Обзор влияния зарубежных санкций на российское судостроение. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024; Т. 3, № 409. – С. 145–160.
10. Неснова М.В. Судостроительный рынок России – состояние и перспективы // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 4. – С. 117-125. <http://doi.org/10.21209/2227-9245-2022-28-4-117-125>.
11. Трухинова О.Л. Системное представление о едином информационном пространстве при организации инвестиционного процесса в судостроении // Экономика и управление: проблемы, решения. 2018. № 5-7. 2018 май. С. 201-205.
12. Клейнер, Г.Б. Системная экономика: шаги развития: Монография / Г.Б. Клейнер // М.: Издательский дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2021. – 746 с.
13. Anthony, R N. Planning and Control: a Framework for Analysis. — Cambridge MA: Harvard University Press, 1965.
14. Щепетова, С. Е. Менеджмент и экономика качества : от естественного к формальному, от формального к естественному / С. Е. Щепетова. – Москва : URSS, 2004. – 508 с. – ISBN 5-354-01148-5.
15. Shewhart W. Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. — N.Y.: Dover Publ., Inc., 1939 (reprint 1986). — 163 p.
16. Каплан, Роберт С. Сбалансированная система показателей : от стратегии к действию / Роберт С. Каплан, Дейвид П. Нортон ; [пер. с англ. М. Павловой]. - Москва : Олимп-Бизнес, 2008. - 294 с. : ил.
17. Щербин К.И. Проблематика обеспечения устойчивого развития промышленных предприятий: концептуальное пространство, механизмы и системы управления // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 1, № 9. С. 4–12.
18. Щепетова С. Е., Трухинова О.Л. Организация взаимодействия участников инвестиционного процесса на основе системного обоснования многокритериального выбора // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2021. Т. 12. № 2. С. 114–127. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2021.12.2.114-127>
19. Янченко А. Ю. «Моделирование информационно-экономической системы в целях разработки программного обеспечения для безопасности в судостроении» // «Учёные записки Российской академии предпринимательства». 2024. Т. 23, №3
20. Jokinen L., Balcom Raleigh N. A., Heikkilä K. Futures literacy in collaborative foresight networks: advancing sustainable shipbuilding / European Journal of Futures Research, 2023. No. 11 (9), pp. 1-19. <https://doi.org/10.1186/s40309-023-00221-1>
21. Pudar A. Digital transformation in shipbuilding: strategies, challenges, and future directions / Narenta Gestio Consilium - Digital Transformation in Shipbuilding / February 2025. DOI: 10.13140/RG.2.2.27669.03049
22. Agis J.J.G., Brett P.O. Digital Shipbuilding – Needs, challenges, and opportunities / Proceedings of 15th International Marine Design Conference (IMDC-2024). 2024. DOI: 10.59490/imdc.2024.849
23. Кузнецов В.П., Пермовский А.А. Внедрение производственного контроллинга в механизм устойчивого развития промышленного предприятия / Контроллинг. 2024. № 2 (92). С. 56-62.

References

1. Krasilnikov A. B. On the issue of studying trends in modern Russian shipbuilding / Progressive Economics. - No. 12. - 2024. - pp. 211-221. DOI: 10.54861/27131211_2024_12_211

2. Development of the shipbuilding industry in the Russian Federation in 2023: demand exceeds supply. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/razvitie-sudostroitelnoy-otrasli-v-rf-v-2023-godu-spros-prevyshaet-predlozhenie/> (accessed 02/21/2025).
3. Demand and Supply of Maritime Transport Services: Analysis of Market Cycles. URL: <https://lawexplores.com/demand-and-supply-of-maritime-transport-services-analysis-of-market-cycles/> (accessed 15.02.2025)
4. Myagchenko O. How to break the vicious circle in shipbuilding. Expert opinions / Mashnews. URL: <https://mashnews.ru/chto-delat-s-osk-i-kak-razorvat-zamknutyij-krug-v-sudostroenii.-mneniya-ekspertov.html> (Accessed 02/19/2025).
5. Sergeev K. IMO in 2025: priorities in work and signals to shipbuilders / URL: https://www.korabel.ru/news/comments/imo_v_2025_godu_prioritety_v_rabote_i_signaly_k_orabelam_2.html (Date of request: 02/19/2025).
6. Tresoruk A.A., Frolov I.E. Long-term development of Russian shipbuilding, taking into account the processes of diversification of defense industries: model and forecast / Forecasting Problems, 2020, No. 6. pp. 119-128
7. Rudny E.V., Kokurin D.I. The role of production modernization in improving the efficiency of enterprises in the shipbuilding and ship repair industries / Economics and business: theory and practice. □ 2024. - № 2-2 (108). - Pp. 71-75. DOI:10.24412/2411-0450-2024-2-2-71-75
8. Savchenko O.V., Polovinkin V.N. The current state, problems and prospects of development of domestic civil shipbuilding / Proceedings of the Krylov State Scientific Center. 2022; Vol. 3, No. 401. □ pp. 152-164.
9. Savchenkov K.A., Verbitsky S.V., Lobanov A.V. Review of the impact of foreign sanctions on Russian shipbuilding. Proceedings of the Krylov State Scientific Center. 2024; vol. 3, No. 409. pp. 145-160.
10. Nesnova M.V. The shipbuilding market of Russia □ state and prospects // Bulletin of the Trans-Baikal State University. 2022. Vol. 28, No. 4. pp. 117-125. <http://doi.org/10.21209/2227-9245-2022-28-4-117-125>
11. Trukhinova O.L. A systematic view of the unified information space in the organization of the investment process in shipbuilding // Economics and management: problems, solutions. 2018. No. 5-7. 2018 May. pp. 201-205.
12. Kleiner, G.B. System economy: steps of development: A monograph / G.B. Kleiner // Moscow: Publishing House "SCIENTIFIC LIBRARY", 2021. – 746 p.
13. Anthony, R.N. Planning and Control: a Framework for Analysis. — Cambridge MA: Harvard University Press, 1965.
14. Shchepetova, S.E. Management and economics of quality: from natural to formal, from formal to natural / S.E. Shchepetova. – Moscow : URSS, 2004. – 508 p. – ISBN 5-354-01148-5.
15. Shewhart W. Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. — N.Y.: Dover Publ., Inc., 1939 (reprint 1986). — 163 p.
16. Kaplan, Robert S. Balanced scorecard: from strategy to action / Robert S. Kaplan, David P. Norton ; [trans. from the English by M. Pavlova]. Moscow : Olymp-Business, 2008. 294 p. (in Russian).
17. Shcherbin K.I. Problems of ensuring sustainable development of industrial enterprises: conceptual space, mechanisms and management systems // Economics and management: problems, solutions. 2024. Vol. 1, No. 9. pp. 4-12.
18. Shchepetova S.E., Trukhinova O.L. Organization of interaction between participants in the investment process based on a systematic justification of a multi-criteria choice // MIR (Modernization. Innovation. Development). 2021. Vol. 12. No. 2. pp. 114-127. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2021.12.2.114-127>
19. Yanchenko A. Y. "Modeling of an information and economic system for the development of software for safety in shipbuilding" // "Scientific Notes of the Russian Academy of Entrepreneurship". 2024. Vol. 23, No. 3
20. Jokinen L., Balcom Raleigh N. A., Heikkilä K. Futures literacy in collaborative foresight networks: advancing sustainable shipbuilding / European Journal of Futures Research, 2023. No. 11 (9), pp. 1-19. <https://doi.org/10.1186/s40309-023-00221-1>
21. Pudar A. Digital transformation in shipbuilding: strategies, challenges, and future directions / Narenta Gestio Consilium - Digital Transformation in Shipbuilding / February 2025. DOI: 10.13140/RG.2.2.27669.03049

22. Agis J.J.G., Brett P.O. Digital Shipbuilding – Needs, challenges, and opportunities / Proceedings of 15th International Marine Design Conference (IMDC-2024). 2024. DOI: 10.59490/imdc.2024.849
23. Kuznetsov V.P., Permovsky A.A. Introduction of production controlling into the mechanism of sustainable development of an industrial enterprise / Controlling. 2024. No. 2 (92). pp. 56-62.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Щепетова Светлана Евгеньевна, д.э.н., профессор Кафедры Моделирования и системного анализа Факультета информационных технологий и анализа данных, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ»), 125993 (ГСП-3), г. Москва, Ленинградский просп., 49, e-mail: sv.shchetova@gmail.com

Щербин Кирилл Игоревич, соискатель степени к.э.н., ведущий бизнес-аналитик ООО «Глоубайт», 105064 г. Москва, Нижний Сусальный пер., д. 5с19, e-mail: shcherbin2007@yandex.ru

Трухинова Ольга Леонидовна, к.э.н., 1) доцент кафедры Бухгалтерского учета, анализа и финансов, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

2) старший преподаватель кафедры Моделирования и системного анализа Факультета информационных технологий и анализа данных, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ»), 125993 (ГСП-3), г. Москва, Ленинградский просп., 49, e-mail: truhinova@mail.ru

Svetlana Ye. Shchetova, Doctor in Economics, Professor of the Department of Modeling and Systems Analysis, Faculty of Information Technology and Data Analysis, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49, Leningradsky prospect, Moscow, Russia, 125993, e-mail: sv.shchetova@gmail.com

Kirill I. Shcherbin, PhD applicant in Economics, Leading Business Analyst at GlowByte LLC, 5c19 Nizhny Susalny alleyway, Moscow, 105064, e-mail: shcherbin2007@yandex.ru

Olga L. Trukhinova, PhD in Economics, 1) Associate Professor of the Department of Accounting, Analysis and Finance Volga State University of Water Transport (VSUWT), 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

2) Senior Lecturer at the Department of Modeling and Systems Analysis, Faculty of Information Technology and Data Analysis, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49, Leningradsky prospect, Moscow, Russia, 125993, e-mail: truhinova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.02.2025; published online 20.03.2025.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ, СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

WATER TRANSPORT OPERATION, WATERWAYS COMMUNICATIONS AND HYDROGRAPHY

УДК 656.6:331.44

DOI: 10.37890/jwt.vi82.572

Анализ факторов, влияющих на безопасность судоходства

В.С. Воропаева

ORCID: 0009-0000-8387-3891

ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: В статье представлено исследование факторов, влияющих на безопасность судоходства на морских и внутренних водных путях. Отмечается, что аварийность судов в условиях интенсивности перевозок стремительно выросла и, часто, главной причиной возникновения инцидентов являются человеческие ошибки. На основе изучения международных и национальных нормативно-правовых документов, а также научных подходов отечественных и зарубежных ученых выполнена систематизация основных групп факторов с разделением на внутренние и внешние, что позволяет всесторонне рассматривать вопросы обеспечения безопасности судоходства. Акцентируется внимание, что в научной литературе рассматривается широкий спектр компонентов, определяющих надежное движение судов, такие как: природные и климатические условия, экологическая обстановка, нормативно-правовое регулирование, техническое состояние судов, условия эксплуатации судов и другие. При этом большинство ученых выделяют человеческий фактор, как ключевой аспект, обеспечивающий устойчивость работы судна. Развивая такой подход в статье представлена разработанная автором детализированная иерархия влияния человеческого фактора на безопасность судоходства, в которой выделены компоненты прямого и опосредованного воздействия, сгруппированные по категориям: профессиональное и физическое состояние экипажей судов, соблюдение условий труда, питание и медицинское обслуживание, технические аспекты, нормативно-правовое обеспечение: международные и национальные документы, организационное обеспечение, техническое обеспечение, инфраструктурное обеспечение, информационное обеспечение и социально-трудовое обеспечение. Результаты исследования демонстрируют их важность и необходимость интегрирования в корпоративные управленческие процессы, что позволит комплексно подходить к вопросам разработки мер по повышению безопасности судоходства и минимизации рисков.

Ключевые слова: безопасность судоходства, классификация факторов безопасности судоходства, иерархия влияния человеческого фактора.

Analysis of factors affecting the safety of navigation

Valeriya S. Voropaeva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8387-3891>

Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Engineering, St. Petersburg, Russia.

Abstract: The article presents a study of the factors affecting the safety of navigation on sea and inland waterways. It is noted that the accident rate of ships in conditions of heavy traffic has increased rapidly and, often, human errors are the main cause of incidents. Based on the

study of international and national regulatory documents, as well as scientific approaches of domestic and foreign scientists, the systematization of the main groups of factors has been carried out, divided into internal and external, which proves that it allows comprehensive consideration of issues of ensuring the safety of navigation. It is emphasized that the scientific literature considers a wide range of components that determine the reliable movement of ships, such as: natural and climatic conditions, environmental conditions, regulatory and legal regulation, technical condition of ships, operating conditions of ships and others. At the same time, most scientists single out the human factor as a key aspect ensuring the stability of the vessel's operation. Developing this approach, the article presents a detailed hierarchy of the influence of the human factor on the safety of navigation developed by the author, which highlights the components of direct and indirect impact, grouped by categories: professional and physical condition of ship crews, compliance with working conditions, nutrition and medical care, technical aspects, regulatory support: international and national documents, organizational provision, technical support, infrastructure support, information support and social and labor support. The results of the study demonstrate their importance and the need to integrate them into corporate management processes, which will allow a comprehensive approach to the development of measures to improve the safety of navigation and minimize risks.

Keywords: safety of navigation, classification of factors of safety of navigation, hierarchy of influence of the human factor.

Введение

Морской и внутренний водный транспорт является важным элементом транспортной системы Российской Федерации, предъявляющих высокие требования к безопасности судоходства на морских и внутренних водных путях.

В условиях увеличения объемов перевозок, изменения климата и транспортировки стратегически важных и опасных грузов участились инциденты и аварии, приводящие к негативным последствиям различного масштаба, поэтому принятие комплексных мер по обеспечению безопасности в отрасли становится все более актуальным.

Кроме того, безопасность судоходства является ключевым аспектом международной и национальной судоходной политики, оказывающим значительное влияние на обеспечение торговли, защиту окружающей среды, что имеет фундаментальное значение для развития мировой и национальной экономики.

Ежегодно аварии на морских и внутренних водных путях приводят к утрате человеческих жизней, поломке и потере судов, производственных мощностей, экологическим проблемам и другим отрицательным последствиям. Статистика показывает, что аварийность на флоте растет. Так, за последние пять лет количество аварий и аварийных случаев на морских путях увеличилось на 40%, на внутренних водных – на 200% [1]. Такая ситуация требует, с одной стороны, детального исследования влияющих факторов, с другой – принятие эффективных управленческих решений для снижения рассматриваемых проблем.

Методы и материалы

Основой для исследования факторов, влияющих на безопасность судоходства, является определение самого этого понятия, которое в научной литературе и в практической деятельности имеет широкий спектр трактования в зависимости от поставленных целей.

Заслуживает внимание наиболее общее определение Развозова С.В. - «безопасность судоходства – это сохранность человеческих жизней и имущества на море, которая обеспечивается системой международных и национальных мер технического, организационного, социального и правового характера» [2]. Такой подход определяет основные направления факторов, которые влияют на этот процесс.

В научной литературе излагается достаточно широкий перечень факторов, влияющих на обеспечение безопасности судоходства, проанализируем наиболее значимые среди них.

Дмитриев В.И. в своих многочисленных работах выделяет те, которые оказывают непосредственное влияние на безопасность перевозок грузов и пассажиров на морских и внутренних водных путях [3-4]: техническое состояние судов, человеческий фактор, навигационная безопасность, экологические условия, юридическое регулирование.

Каретников В.В. акцентирует внимание на влиянии гидрометеорологических условий и использование информационных технологий, подчеркивая необходимость внедрения интеллектуальных систем управления движением судов. [5].

По мнению Козика С.В. и Чернышева В.Ф. [5-6] важнейшими являются организационно-технические и человеческие аспекты, поскольку именно по причине ошибок экипажа происходят около 80% аварий. Авторы фокусируются на психологической подготовке плавсостава, подчеркивают важность разработки систем управления, предлагают соответствующие меры по предотвращению аварийных ситуаций. [6]

В работах Васильева С.А. рассматриваются вопросы недостатка технологических и человеческих стандартов, что значительно увеличивает риск аварийных случаев. [7]

Григорьев Н.Н. активно исследовал влияние человека на безопасность перевозочной деятельности, подчеркивая важность психофизиологической подготовки и квалификации экипажа, поскольку именно ошибки человека зачастую приводят к аварийным ситуациям. [8]

С.В. Ермаков так же уделяет внимание человеческому фактору, выделяя повышение нагрузки на экипаж и недостаток квалифицированных кадров как основные риски для судов на внутренних водных путях. [9]

По мнению Афонина А.Б. важно учитывать гидрометеорологические условия и риски, связанные с ошибками экипажа, поскольку условия на морских и внутренних водных путях часто меняются. [10]

В своих трудах Масюк Н.Н. и Блюдик А.Р. специализируется на влиянии цифровых технологий на безопасность судоходства, рассматривает и анализирует вопросы внедрения интеллектуальных систем, что призвано уменьшить риски, связанные с человеческими ошибками. [11]

Ряд зарубежных ученых, такие Chowdhury, M.N. и Shafi, S. предлагают комплексный подход к вопросам безопасности судоходства, выделяя технические, организационные и нормативно-правовые условия. [12]

В то же время, Galieriková, A., Dávid, A. и Sosedová, J. отмечают человеческий фактор как основной аспект, влияющий на безопасность. Им была предложена концепция о том, что аварийные случаи происходят из-за множества ошибок на разных уровнях системы, включая ошибки экипажа, технические сбои и организационные факторы. [13]

Исследования ученых показывают, что эффективное обеспечение безопасности судоходства напрямую зависит от факторов, которые объективно существуют в этом процессе, и позволяют непрерывно совершенствовать стандарты и требования, направленные на предотвращение аварийных случаев и снижение рисков деятельности на морских и внутренних водных путях.

Обобщая выполненный анализ научных подходов к рассматриваемой области правомерно сделать вывод, что безопасность судоходства — это комплексная проблема, требующая учета множества взаимосвязанных составляющих, которые актуальны как для морского, так и внутреннего водного транспорта с учетом соответствующей специфики.

На морских путях, характеризующихся открытым пространством, значительными расстояниями и переменчивыми погодными условиями, безопасность зависит от:

метеорологических условий (штормы, туманы, сильные ветра, ледовые образования), навигационной обстановки (наличие и качество навигационных знаков, системы спутниковой навигации, радиосвязи), географических особенностей (мели, рифы, течения), а также интенсивности судоходства и типов и размера судов (танкеры, контейнеровозы представляют собой повышенный риск в случае аварии). При этом особенно важна подготовка экипажей к работе в сложных условиях, наличие эффективных систем связи и мониторинга, а также строгий контроль за соблюдением международных норм безопасности, таких как Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (SOLAS). Роль береговых служб, включая спасательные и береговую охрану, крайне высока, особенно в случае крупных аварий или стихийных бедствий. Особое внимание уделяется охране судов от пиратства и террористических актов.

Судоходство по внутренним водным путям, включая реки, каналы и озера, имеет свою специфику. Здесь определяющими являются: гидрологические условия (уровень воды, течение, наличие препятствий в русле), инфраструктура (наличие и состояние шлюзов, мостов, причалов), плотность судоходства (часто более высокая, чем на морских путях), и тип судов (речные суда, баржи). Безопасность на внутренних водных путях часто зависит от эффективного управления водными ресурсами, предотвращения заторов и своевременного проведения дноуглубительных работ. Значительная роль отводится контролю за техническим состоянием гидротехнических сооружений и обеспечению безопасности переходов через судоходные пути. Навигационная обстановка на внутренних водных путях требует особого внимания с учетом местных условий.

Кроме того, существуют общие факторы, касающиеся как морских, так и внутренних водных путей, такие как человеческий фактор (ошибки экипажа, недостаточная квалификация), техническое состояние судов (неисправности двигателя, систем управления, средств связи), а также экологические аспекты (предотвращение загрязнения окружающей среды в случае аварии). Это требует комплексного подхода, включающего совершенствование нормативно-правовой базы, развитие технологий, повышение квалификации специалистов и международное сотрудничество.

В результате проведенного анализа выполнена укрупненная систематизация ключевых факторов, влияющих на безопасность судоходства с разделением на внешние и внутренние, а также группировкой с учетом специфики морских и внутренних водных перевозок (табл.1).

Таблица 1

Ключевые факторы, влияющие на безопасность судоходства

Группа факторов	Характеристика факторов	
	Морские пути	Внутренние водные пути
Внешние факторы		
Нормативно - правовое регулирование	Международные конвенции, национальное законодательство, отраслевые и региональные правила	Национальное законодательство, отраслевые и региональные правила
Политические, экономические и социальные условия	Международные конфликты, терроризм, пиратство.	Экономическая и социальная стабильность регионов
Природные и климатические условия	Метеорологические и гидрологические условия, географические особенности	
Экологическая обстановка	Загрязнение океанов и морей, рек и озер, разливы нефти и нефтепродуктов, сброс промышленных отходов, выброс опасных веществ	

Внутренние факторы	
Типы, техническое состояние судов	Навигационное оборудование, регулярное техническое обслуживание, наличие систем аварийного реагирования
Условия эксплуатации судов	Интенсивность судоходства, характеристики перевозок
Состояние инфраструктуры	Навигационная обстановка, поддержание портов, терминалов, каналов, гидротехнических сооружений и водных путей в эксплуатационном состоянии.
Человеческий фактор	Уровень квалификации экипажей судов, включая работу в экстремальных условиях

В обеспечении безопасности судоходства как на морских, так и внутренних водных путях человеческому фактору уделяется большое внимание. Этот аспект рассмотрен во многих научных работах.

Томилин А.Н. в своих трудах не только выявляет проблемы влияния человека в судоходстве и необходимости разработки методов снижения аварийности на транспорте, но и подчеркивает значимость высокой квалификации экипажей и организации условий труда для снижения риска человеческих ошибок. [14]

Скороходов Д. А. и Маринов М. Л. в своих исследованиях в области судоходства на внутренних водных путях выделяют роль человека в условиях ограниченных водных путей и судоходного трафика. Ими разработаны комплексные меры для повышения безопасности экипажа, а именно: обучение плавсостава, психофизиологическая подготовка и строгий контроль за соблюдением режима труда и отдыха. [15]

Внимание к проблемам взаимодействия экипажа и технологий на борту современных судов в своих работах уделяли Гладкова А. М., Марушевский М. В., Фаустова О. Г., рассматривая не только как автоматизация влияет на человека, но и предлагая способы повышения эффективности взаимодействия экипажа и автоматизированных систем. [16]

Работы Дмитриева В.И. направлены на тщательный анализ условий труда и режимов отдыха плавсостава и их влияние на аварийность. Помимо этого, автор особое внимание уделяет влиянию усталости на принятие решений и качество работы экипажей. [17]

Проблема усталости отражена в работах Xiao Fei Ma, Guo You Shi и Zheng Jiang Liu, которые подчеркивают высокое значение человеческих ошибок в судоходстве. Их исследования охватывают такие темы, как влияние психологического стресса на работу экипажей, графиков работы и условий труда на производительность и способность эффективно выполнять свои обязанности. [18]

Chauvin С. рассматривает взаимосвязь систем безопасности судов и анализ ошибок в отрасли. Автор сосредоточил внимание на разработке моделей оценки риска ошибок экипажа и создании систем мониторинга поведения плавсостава для предотвращения аварийных ситуаций [19].

В результате проведенного анализа научных подходов правомерно сделать вывод, что человеческий фактор играет существенную роль в комплексном обеспечении безопасности судоходства на морских и внутренних водных путях. Многообразие его составляющих, включая уровень квалификации экипажа, условия труда и отдыха, организацию работы на судне и взаимодействие между людьми и другие, значительно влияет на вероятность возникновения аварийных случаев. Такой подход определяет его сложную и многоуровневую структуру, составляющие которой прямо или опосредованно влияют на обеспечение безопасности судоходства.

Таким образом, для совершенствования системы безопасности судоходства необходимо комплексно рассмотреть человеческий фактор, который должен быть интегрирован в общую стратегию управления движением судов (табл.2).

Таблица 2

Иерархия влияния человеческого фактора на безопасность судоходства

Категория	Описание (подкатегория)
Факторы прямого воздействия	
Профессиональное и физическое состояние экипажей судов	Соблюдение минимального возраста
	Подготовка, переподготовка и повышение квалификации экипажей судов морского и внутреннего водного транспорта
	Физическое состояние и психологическая подготовка
Соблюдение условий труда	Условия труда и отдыха работников плавательного состава
	Режимы труда и отдыха
	Безопасность и охрана труда
	Медицинское освидетельствование
Питание и медицинское обслуживание	Питание и столовое обслуживание
	Медицинское обслуживание экипажей на борту судна и на берегу
Технические аспекты	Степень автоматизации судна
	Системы оповещения о чрезвычайных ситуациях и системы связи
	Плановое обслуживание судов и диагностика неисправностей
Факторы опосредованного воздействия	
Нормативно – правовое обеспечение: Международные документы	Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (SOLAS)
	Международный кодекс управления безопасностью (ISM Code)
	Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (STCW)
	Международная конвенция о труде в морском судоходстве (MLC)
	Принципы Международной морской организации (ИМО) по управлению человеческим фактором
	Кодекс безопасного поведения на судах (Code of Safe Working Practices for Merchant Seafarers)
Национальные документы	Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации (КТМ РФ)
	Федеральный закон № 52-ФЗ от 05.06.2012 «О ратификации Конвенции о труде в морском судоходстве (MLC)»
	Федеральный закон № 24-ФЗ от 07.03.2001 (ред. от 08.08.2024) «О внутреннем водном транспорте в Российской Федерации»
	Постановление Правительства РФ № 620 от 12.08.2010 (ред. от 07.10.2019) «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов морского транспорта»
	Приказ Министерства транспорта РФ №378 от 08.11.2021 «Об утверждении Положения о дипломировании членов экипажей морских судов»

Категория	Описание (подкатегория)
	Приказ Министерства транспорта РФ №87 от 12.03.2018 (ред. от 25.09.2020) «Об утверждении Положения о дипломировании членов экипажей судов внутреннего водного транспорта»
	Санитарные нормы и правила для судов
	Стандарты и правила Российского морского регистра судоходства
Организационное обеспечение	Корпоративная политика по управлению персоналом
	Управление системами безопасности
	Проведение внутренних и внешних аудитов
	Трудоустройство работников плавательного состава
Техническое обеспечение	Состояние судов, включая использование всех необходимых систем (автоматического управления судном, внутренней связи, аварийной сигнализации, предупреждения о сближении судов, средства индивидуальной защиты и т.д.)
Инфраструктурное обеспечение	Состояние водных путей и гидротехнических сооружений
	Гидрографическое обеспечение
	Состояние акватории морских и речных портов и каналов
	Состояние причалов
Информационное обеспечение	Кибербезопасность автоматизированных систем
	Навигационные системы и доступ к данным
Социально – трудовое обеспечение	Трудовые договоры работников плавательного состава
	Набор и трудоустройство плавсостава
	Соблюдение требований по репатриации моряков
	Мотивация труда экипажей морских судов и судов внутреннего водного плавания
	Развитие карьеры плавсостава
	Охрана здоровья работников плавательного состава
	Социальное обеспечение экипажей морских судов и судов внутреннего водного плавания

Заключение

На основании выполненного исследования автором разработана иерархия влияния человеческого фактора на безопасность судоходства, которая является методической основой комплексного участия персонала в системе обеспечения безопасности судоходного бизнеса и интеграции в управленческие процессы управления движением судов.

Выделение составляющих прямого и косвенного воздействия позволило определить ключевые элементы, оказывающие наибольшее влияние на уровень аварийности и рисков при выполнении перевозок.

Важно подчеркнуть, что к определяющим аспектам влияния человека относятся не только уровень квалификации и психофизиологическая подготовка экипажа, но и многие другие элементы, такие как: техническое состояние, исполнение требований международных и национальных стандартов, соблюдение условий труда и т.д.

Предложенная иерархия построена путем укрупненного рассмотрения основных компонентов, влияющих на надежность и безаварийность работы флота. Это позволит более целенаправленно подходить к вопросам разработки мер по повышению безопасности судоходства, включая оптимизацию условий труда, повышение уровня подготовки плавсостава, модернизацию технических средств, совершенствование

систем автоматизации судов. Особое внимание стоит уделить мерам по минимизации человеческих ошибок, которые, на данный момент, являются одной из главных причин аварийных ситуаций на морских и внутренних водных путях.

Комплексный подход к обеспечению безопасности судоходства с позиций человеческого фактора, включающий управление внутренними условиями и готовность к немедленному реагированию на внешние воздействия, является ключевым рычагом к снижению различного характера рисков и потерь в рассматриваемой области.

Список литературы

1. Федеральная служба по надзору в сфере транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (дата обращения: 01.11.2024).
2. Развозов С.Ю. Безопасность судоходства / С.Ю. Развозов. – СПб.: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2014. – 344 с.
3. Дмитриев В.И. Пути повышения безопасности судоходства / В.И. Дмитриев. – М.: Моркнига, 2015. – 223 с.
4. Дмитриев В.И. Обеспечение безопасности плавания судов / В.И. Дмитриев. – М.: Моркнига, 2018. – 349 с.
5. Каретников В.В. Исследование влияния усталости судоводителя на процесс обеспечения безопасности судоходства / В.В. Каретников, С.В. Козик, И.А. Соколова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9. - № 2. – С. 272-279.
6. Чернышев В.Ф. Человеческий фактор при авариях на судах. Материалы 4-ой НТК «Проблемы безопасности морского судоходства, технической и коммерческой эксплуатации морского транспорта». 2005. – С. 31-32.
7. Васильев С.А. Международно-правовые меры обеспечения безопасности судоходства. Московский журнал международного права. 2021;(1):81-88. <https://doi.org/10.24833/0869-0049-2021-1-81-88>
8. Григорьев Н. Н. Формы и эффективность международной морской организации при борьбе с усталостью моряков / Н.Н. Григорьев, Д.Б. Сигаев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2017. - №3(43).
9. Ермаков С. В. Превентивное регулирование человеческого фактора в морском судоходстве / С.В. Ермаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2016. - №5(39). - С. 39-50.
10. Афонин А. Б. Комплексная оценка безопасности плавания в акватории северного морского пути / А.Б. Афонин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2018. - №6(52). - С. 1132-1142.
11. Масюк Н. Н., Блюдик А. Р. Современные тенденции цифровой трансформации в морской отрасли // ЕГИ. 2022. №6 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-tendentsii-tsifrovoy-transformatsii-v-morskoy-otrasli> (дата обращения: 13.11.2024).
12. Chowdhury, M.N., Shafi, S., Arzaman, A.F.M., Teoh, B.A., Kadhim, K.A., Salamun, H., Kadir, F.K.A., Said, S., Kadir, K.A., Embong, A.M., Aziz, N.A.A., Jusoh, M.H., Pham, L.H.N.P., Xuan, A.N.S. (2024). Navigating human factors in maritime safety: A review of risks and improvements in engine rooms of ocean-going vessels. *International Journal of Safety and Security Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 1-14. <https://doi.org/10.18280/ijss.140101>
13. Galieriková, A., Dávid, A., Sosedová, J. Fatigue in maritime transport. *Sci. J. Bielsko-Biala Sch. Financ. Law* 2020, 24, 35–38.
14. Томилин А.Н. К вопросу об усталости персонала судов как одной из существенных причин аварий на транспортных судах / А. Н. Томилин, А. Л. Боран-Кешишьян, С. Н. Томилина, Д. О. Яворская // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 3(96). – С. 15-23. – DOI 10.34046/aumsuomt96/3. – EDN JIPVUF.
15. Скороходов Д. А., Маринов М. Л. Учет влияния профессионального поведения специалистов в системе безопасности водного транспорта // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. №1 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet>

- vliyaniya-professionalnogo-povedeniya-spetsialistov-v-sisteme-bezopasnosti-vodnogo-transporta (дата обращения: 03.12.2024).
16. Гладкова А. М., Марушевский М. В., Фаустова О. Г. Искусственный интеллект и автоматизация в навигации и судоходстве. снижение влияния человеческого фактора // Вестник молодежной науки. 2021. №5 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-avtomatizatsiya-v-navigatsii-i-sudohodstve-snizhenie-vliyaniya-chelovecheskogo-faktora> (дата обращения: 08.11.2024).
 17. Дмитриев В.И. Практика мореплавания. - СПб.: "Элмор", 2009. -231 с. EDN: OWVXQF.
 18. Ma, Xiao Fei, Guo You Shi, and Zheng Jiang Liu. 2023. "Unraveling the Usage Characteristics of Human Element, Human Factor, and Human Error in Maritime Safety" Applied Sciences 13, no. 5: 2850. <https://doi.org/10.3390/app13052850>.
 19. Chauvin C. Human Factors and Maritime Safety. Journal of Navigation. 2011;64(4):625-632. doi:10.1017/S0373463311000142.

References

1. Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere transporta [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (дата обращения: 01.11.2024).
2. Razvozov S.YU. Bezopasnost' sudohodstva / S.YU. Razvozov. – SPb.: GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2014. – 344 s.
3. Dmitriev V.I. Puti povysheniya bezopasnosti sudohodstva / V.I. Dmitriev. – M.: Morkniga, 2015. 223 s.
4. Dmitriev V.I. Obespechenie bezopasnosti plavaniya sudov / V.I. Dmitriev. – M.: Morkniga, 2018. – 349 s.
5. Karetnikov V.V. Issledovanie vliyaniya ustalosti sudovoditelya na process obespecheniya bezopasnosti sudohodstva / V.V. Karetnikov, S.V. Kozik, I.A. Sokolova // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. – 2017. – Т. 9. - № 2. – S. 272-279.
6. CHernyshev V.F. CHelovecheskij faktor pri avariayah na sudah. Materialy 4-oj NTK «Problemy bezopasnosti morskogo sudohodstva, tekhnicheskoy i kommercheskoj ekspluatatsii morskogo transporta». 2005. – S. 31-32.
7. Vasil'ev S.A. Mezhdunarodno-pravovye mery obespecheniya bezopasnosti sudohodstva. Moskovskij zhurnal mezhdunarodnogo prava. 2021;(1):81-88. <https://doi.org/10.24833/0869-0049-2021-1-81-88>
8. Grigor'ev N. N. Formy i effektivnost' mezhdunarodnoj morskoy organizatsii pri bor'be s ustalost'yu moryakov / N.N. Grigor'ev, D.B. Sigaev // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. - 2017. - №3(43).
9. Ermakov S. V. Preventivnoe regulirovanie chelovecheskogo faktora v morskome sudovozhdenii S.V. Ermakov // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. - 2016. - №5(39). - С. 39-50.
10. Afonin A. B. Kompleksnaya ocenka bezopasnosti plavaniya v akvatorii severnogo morskogo puti / A.B. Afonin // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. - 2018. - №6(52). - С. 1132-1142.
11. Masyuk N. N., Blyudik A. R. Sovremennyye tendentsii cifrovoj transformatsii v morskoy otrasli // EGI. 2022. №6 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-tendentsii-tsifrovoy-transformatsii-v-morskoy-otrasli> (дата обращения: 13.11.2024).
12. Chowdhury, M.N., Shafi, S., Arzaman, A.F.M., Teoh, B.A., Kadhim, K.A., Salamun, H., Kadir, F.K.A., Said, S., Kadir, K.A., Embong, A.M., Aziz, N.A.A., Jusoh, M.H., Pham, L.H.H.P., Xuan, A.N.S. (2024). Navigating human factors in maritime safety: A review of risks and improvements in engine rooms of ocean-going vessels. International Journal of Safety and Security Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 1-14. <https://doi.org/10.18280/ijss.140101>
13. Galieriková, A., Dávid, A., Sosedová, J. Fatigue in maritime transport. Sci. J. Bielsko-Biala Sch. Financ. Law 2020, 24, 35–38.
14. Tomilin A.N. K voprosu ob ustalosti personala sudov kak odnoj iz sushchestvennykh prichin avariij na transportnykh sudah / A. N. Tomilin, A. L. Boran-Keshish'yan, S. N. Tomilina, D. O. YAvorskaya // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2020. – № 3(96). – S. 15-23. – DOI 10.34046/aumsuomt96/3. – EDN JIPVUF.

15. Skorohodov D. A., Marinov M. L. Uchet vliyaniya professional'nogo povedeniya specialistov v sisteme bezopasnosti vodnogo trasporta // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2014. №1 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-vliyaniya-professionalnogo-povedeniya-spetsialistov-v-sisteme-bezopasnosti-vodnogo-trasporta> (data obrashcheniya: 03.12.2024).
16. Gladkova A. M., Marushevskij M. V., Faustova O. G. Iskusstvennyj intellekt i avtomatizatsiya v navigatsii i sudohodstve. snizhenie vliyaniya chelovecheskogo faktora // Vestnik molodezhnoj nauki. 2021. №5 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-avtomatizatsiya-v-navigatsii-i-sudohodstve-snizhenie-vliyaniya-chelovecheskogo-faktora> (data obrashcheniya: 08.11.2024).
17. Dmitriev V.I. Praktika moreplavaniya. - SPb.: "Elmor", 2009. -231 s. EDN: OWVXQF.
18. Ma, Xiao Fei, Guo You Shi, and Zheng Jiang Liu. 2023. "Unraveling the Usage Characteristics of Human Element, Human Factor, and Human Error in Maritime Safety" Applied Sciences 13, no. 5: 2850. <https://doi.org/10.3390/app13052850>.
19. Chauvin C. Human Factors and Maritime Safety. Journal of Navigation. 2011;64(4):625-632. doi:10.1017/S0373463311000142.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Воропаева Валерия Сергеевна,
ведущий специалист по научно-
методической работе НМЦ УМО ЭВТ,
аспирант, Государственный
университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова, 198035,
г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: voropaevavs@gumrf.ru

Valeriya S. Voropaeva, leading specialist for scientific
and methodological work of NMC UMO EVT,
postgraduate student,
Admiral Makarov State University of Maritime and
Inland Shipping, 5/7, Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 627.01

DOI: 10.37890/jwt.v82.567

Исследование изменения параметров сноса судна в створе мостового перехода

Е.М. Куприна

ORCID: 0009-0004-1476-8886

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

Аннотация. В данной статье приведено исследование возможности повышения безопасности на внутренних водных путях и уменьшению аварийности по типу «судно – мост». В связи с сложностью проводки судов в створе мостового перехода, необходимо выявить причины навала судов на опоры моста, для чего для чего выполняется анализ поведения потока и возможного сноса судна при прохождении в районе мостовых опор. Выявлены три расчетные области: I - на подходе к мосту; II - в створе мостового перехода; III – за мостом. По результатам исследования были получены формулы, позволяющие определить угол сноса судна в зависимости от его местоположения относительно мостового перехода. Для зоны II предлагается ввод нового коэффициента бокового сноса K_c , который позволит учесть действие продольных и циркуляционных течений, образующихся в области сужения русла у опор моста и приводящих к навалу судна на них. Предлагаемый коэффициент K_c был получен аналитически – статистическим методом, путем вычисления его через различные изменяющиеся параметры, зависящие от ряда факторов. Под изменяющимися факторами приняты русловые характеристики (уклон свободной поверхности воды I и шероховатость русла n) и геометрические характеристики мостовых опор (ширина опоры B). Факторная вариация позволяет получить зависимости приоритетного влияния параметров на результирующую K_c .

Ключевые слова. Проводка судов, мостовые сооружения, скоростные изменения, скорость ветра, предмостовой подпор, ширина опоры, коэффициент бокового сноса, уклон свободной поверхности, шероховатость русла.

Investigation of changes in the parameters of ship demolition in the alignment of the bridge crossing

Ekaterina M.Kuprina

<https://orcid.org/0009-0004-1476-8886>

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This article presents a study of the possibility of improving safety on inland waterways and reducing accidents of the "ship – bridge" type. Due to the complexity of the wiring of ships in the alignment of the bridge crossing, it is necessary to identify the causes of the bulk of ships on the bridge supports, for which an analysis of the flow behavior and possible demolition of the vessel when passing in the area of bridge supports is performed. Three calculation areas have been identified: I - on the approach to the bridge; II - in the alignment of the bridge crossing; III – behind the bridge. According to the results of the study, formulas were obtained that allow determining the angle of demolition of the vessel depending on its location relative to the bridge crossing. For zone II, it is proposed to introduce a new lateral drift coefficient K_c , which will take into account the effect of longitudinal and circulating currents formed in the narrowing area of the channel at the bridge supports and leading to the bulk of the vessel on them. The proposed K_c coefficient was obtained analytically and statistically by calculating it through various changing parameters depending on a number of factors. Channel characteristics (slope of the free water surface I and roughness of the channel n) and geometric characteristics of bridge supports

(width of the support B) are assumed to be changing factors. Factor variation allows us to obtain dependences of the priority influence of parameters on the resulting Kc.

Keywords. Ship wiring, bridge structures, speed changes, wind speed, bridge support, support width, lateral drift coefficient, slope of the free surface, roughness of the riverbed.

Введение

Проводка судов под мостами является сложной и ответственной задачей, требующей особого внимания и осторожности. Это связано с тем, что мостовые сооружения ограничивают судовую ход по ширине и высоте подмостового габарита. Кроме того, навигационные условия по проходу судов через створ моста усложняет неравномерностью потока. На подходе к мостовому переходу поток разделяется, а непосредственно за опорами образуются водоворотные области и свальные течения, что приводит к боковому смещению судна от намеченного курса. Отклонение от оси судового хода приводит к сносу судна в сторону опор с возможным последующим навалом на опоры или посадкой на мель при уходе за пределы судоходной полосы в пролете моста [5,6].

Так, по данным работы [14], с 1970 по 1974 гг на внутренних путях США было зарегистрировано 811 случаев навала судна на опорные конструкции с минимальными повреждениями последних. Общий ущерб от аварий составил 23млн долл. США.

Согласно общемировой статистике (Рис. 1), ежегодно происходит 1- 2 серьезные аварии по типу «судно-мост». В 30% случаев такие столкновения приводят к человеческим жертвам и полному разрушению мостов. Так, согласно работе [11], с 1960 по 1993гг произошло 29 крупных аварий, где в суммарной сложности погибло 321 человек. Данная статистика продолжает постоянно пополняться.

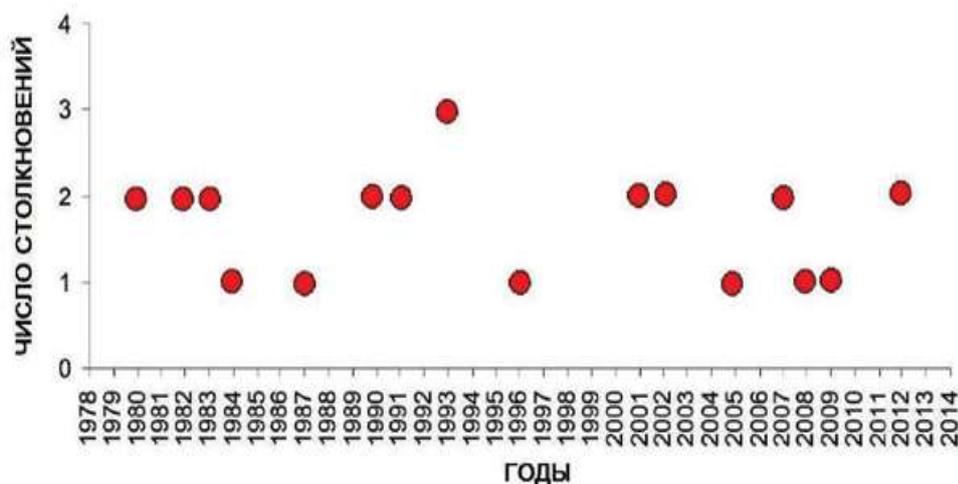


Рис. 1. Количество крупных аварий с 1978 по 2014гг по общемировой статистике

В связи возросшим темпом строительства мостовых переходом, в том числе на территориях субъектов Российской Федерации, растет и аварийность по типу «судно-мост». Таким образом, учитывая негативную тенденцию, возникает необходимость в повышении безопасности на водных путях.

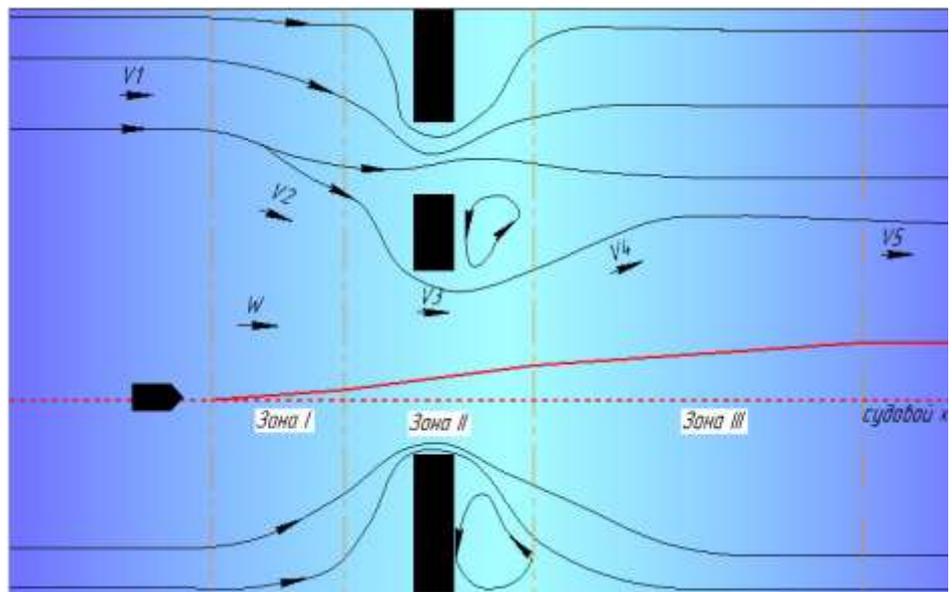
Определение сноса судна в створе мостового перехода

Для достижения безаварийности при проходе судов в створе мостового перехода и нахождения критериев по повышению безопасности необходимо провести анализ поведения сноса судна в створе моста.

В практике судовождения определение сноса судна на внутренних водных путях предполагает проведение небольшого векторного (графического) расчета с использованием известного вектора скорости и вектора течения. Однако, при прокладке маршрута через мостовой переход, такой расчет становится невозможным. Это связано с тем, что в створе мостового перехода поток воды неравномерен, что приводит к увеличению числа скоростных векторов до числа n .

По принципу работы опор в потоке [3,5,6,9], скоростные изменяя возможно разделить на три характерные области (рис.2).

А



Б

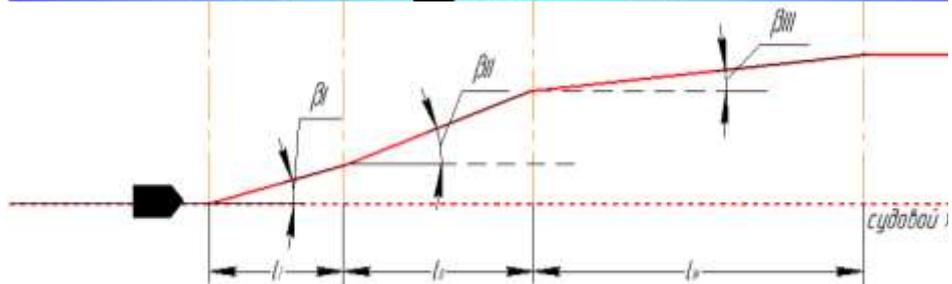


Рис. 2. Схема отклонения судна от судовой хода при движении под мостовым переходом
А- структура потока под мостовым переходом; Б - отклонения судна от судовой хода

Область зоны I располагается выше створа мостового перехода. Её протяженность принимается равной длине русловой части с начальным отклонением водного потока l_1 (спокойное течение переходит к бурному, образуя начальный предмостовой подпор z_1)(рис. 3).

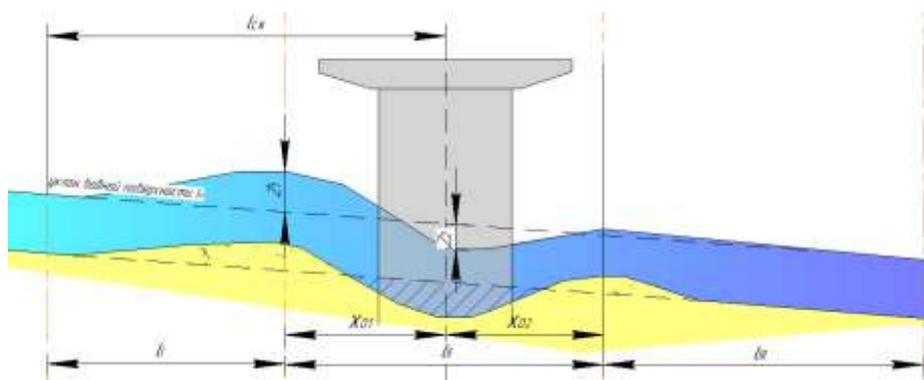


Рис. 3. Схема изменения подпора водной поверхности

Длина начального отклонения:

$$l_I = l_{ск} - X_{01} = l_{ск} - \left(\left(\frac{\beta_{сж}^{\frac{5}{3}} - 1}{z_2} \right) \frac{z_2}{\beta_{сж} - 1} l_{ск} \right), \text{ м} \quad (1)$$

где: $\beta_{сж}$ - коэффициент стеснения русел,
 z_2 - подпор в зоне мостового перехода, м
 X_{01} - первое критическое расстояние, м
 $l_{ск}$ - расстояние сжатия потока опорами моста, равняется расстоянию от оси отверстия моста до расчетного створа, расположенного в зоне с нулевым напором, м

Расстояние сжатия потока:

$$l_{ск} = \frac{B_0 - L_M}{1 + \frac{L_{мп}}{L_{бп}}}, \text{ м} \quad (2)$$

где: B_0 - ширина русла реки при расчетном уровне высокой воды (РУВВ), м;
 L_M - расчетная длина мостового перехода, м
 $L_{мп}, L_{бп}$ - протяженность меньшей и большей поймы в поперечном сечении, м

В области I происходит постепенное отклонение водного потока в сторону свободной части русла (см рис.2). Скорости течения начинают увеличиваются, а уклон свободной поверхность воды начинает уменьшаться, образуя начальный предмостовой подпор z_1 (см рис.3).

Как показывают натурные наблюдения и на моделях, приведенных в Кучинской гидравлической лаборатории Водгео [9], основная величина подпора располагается в непосредственной близости от моста, на первом критическом расстоянии X_{01} . Предмостовой напор возникает в следствии стеснения русла опорами моста и подходными насыпями на поймах. Таким образом, величина напора z_1 , критические расстояния X_{01} , а также длина зоны сжатия $l_{ск}$ находятся в прямой зависимости от степени стеснения русла $\beta_{сж}$ (формула 1).

Полученное выражение (1) будет действительно для случаев, когда длина мостовых опор не превышает восьми ширин ($L \leq 8B$). В случае удлинении опор до тринадцати кратной ширины, согласно опытам Наглера[3], полученные результаты

следует увеличить на 4%, так как при увеличении величины стеснения русла опорами моста по длине происходит рост кинетичности потока.

Снос судна (см рис. 2), при движении в зоне I можно описать следящим выражением.

$$\beta_I = \frac{W}{V_{срI}} \sin KY_{vI}, \quad (3)$$

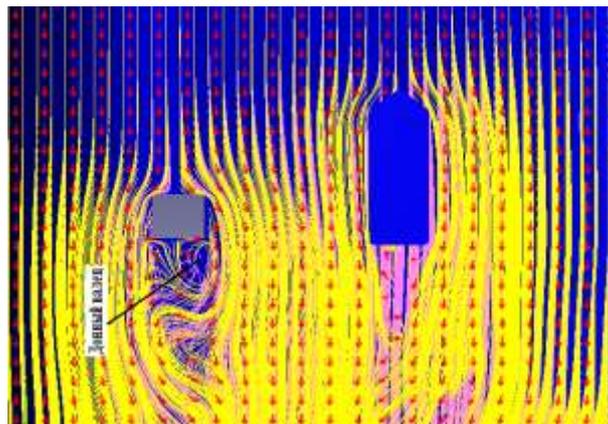
где: W – скорость ветра, м/с;
 $V_{срI}$ – средняя скорость течения для первой области, м/с;
 W – скорость ветра, м/с;
 KY_{vI} – курсовой угол косины потока для первой области.

В данной области турбулентного режима не наблюдается и на снос судна оказывает влияние только направление и скорость ветра с течением. В случае совпадения угла косины потока с направлением судового хода, $\sin KY_{vI}$ следует принимать равным 1[3].

С увеличением сжатия потока (область II), скорость течения и кинитичность потока начинают возрастать, а на движение судна начинают оказывать влияние продольные течения[2].

Продольные течения представляют собой поперечную циркуляцию воды, образуемую в результате обратного движения речного потока у опор мостов и насыпей. Образовавшийся у опоры донный валец, распространяется на боковую часть опоры, образуя контур зоны подсосывания (рис. 4).

А



Б

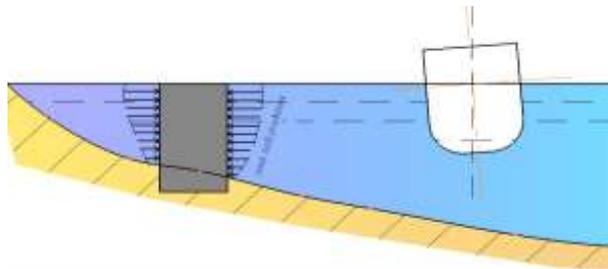


Рис. 4. Смещение судна при движении по II области
 А- модель распределения потока в программном комплексе FlowVision;
 Б – схема крена судна

Смещение судна в створе моста происходит под действием нарушения поля равенства давлений. Проходя через створ, судно оказывается в зоне повышенного сжатия с неравной пропускной способностью по левому и правому борту. Данная неравномерность является причиной возникновения перепадов давления, которые становятся источником поперечной силы, уводящее судно от оси судового хода.

Такое явление выражается через коэффициент бокового сноса Kc , полученный по результатам анализа перераспределения водного потока в створе мостового перехода и отношения скорости судна к потоку.

$$y_i = Kc \frac{Vc}{V_{срII}} \sin K\gamma_{V_{II}}, \quad (4)$$

где: $V_{срII}$ – средняя скорость течения для второй области, м/с;
 V_c – скорость судна, м/с;
 Kc – коэффициент бокового сноса
 $K\gamma_{V_{II}}$ – курсовой угол косины потока для второй области.

При этом протяжённость области, для которой будет верно выражение может определяться как сумма первых и вторых критических расстояний (см.рис. 3).

$$l_{II} = X_{01} + X_{02}, \text{ м} \quad (5)$$

Под критическими расстояниями понимается протяженность от оси моста до вертикали наивысшей части подпора (X_{01}) и от оси моста до зоны растекания (X_{02}).

$$X_{01} = X_{02} = \left(\frac{\frac{\beta_{сж}^5}{Z_2} - 1}{\beta_{сж} - 1} \right) l_{сж}, \quad (6)$$

Тогда угол сноса в области II можно определить как сумму бокового сноса неравенства давлений y_i и сноса под действием течения и ветра β_{II} в области:

$$\beta_{II} = \sin K\gamma_{V_{II}} \left(Kc \frac{Vc}{V_{срII}} + \frac{W}{V_{срII}} \right), \quad (7)$$

Область III располагается ниже по течению от мостового перехода (см. рис 3). Ее протяженность равняется длине растекания потока $l_{III} = l_p = 2l_{сж}$.

Под длиной растекания понимается протяженность участка от зоны возмущения потока l_{II} до зоны с полным восстановлением естественных условий реки. По гидравлическому режиму область III обратно пропорциональна области I. Как и в случае с областью I, на участке III нет ярко выраженных турбулентных зон, а на снос судна оказывает влияние только направление и скорость ветра с течением. При отдалении от створа мостового перехода скорость начинает уменьшаться, а искажение водной поверхности практически исчезает.

Таким образом, угол сноса β_{III} можно определить по следующему выражению:

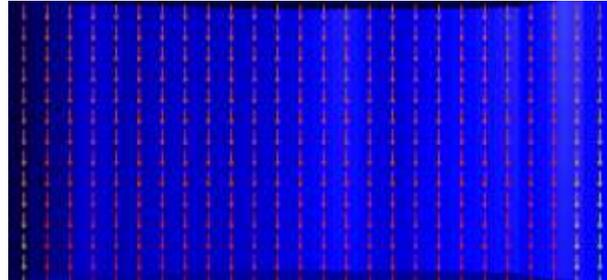
$$\beta_{III} = \frac{W}{V_{срIII}} \sin K\gamma_{v_{III}} \quad (8)$$

Исследование изменения коэффициента бокового сноса

Под коэффициентом бокового сноса Kc понимается процесс изменение поведения угла перераспределения сжатого потока в створе мостового перехода. Его поведение зависит от многочисленных факторов, таких как: средний диаметр грунта d (в пределах рассматриваемой области), уклон свободной поверхности воды I и ширина мостовых опор B .

Поведение потока в створе мостового перехода хорошо прослеживается при сравнении естественного состояния русла с состоянием русла в первые годы после возведения мостового перехода. В начале эксплуатационного периода местный размыв и перераспределение водного потока в зоне установки мостовых опор, происходит сильней и отчетливей (рис 5).

А



Б

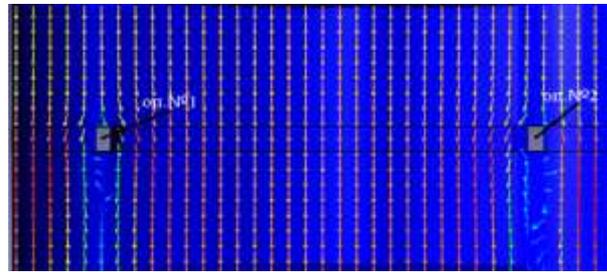


Рис. 5. Поведение потока в створе мостового перехода в II зоне.

А - при естественном состоянии русла; Б - после возведения мостового перехода

На основании анализа литературы [1,3,4,7,10,12,13] и полученных результатов распределения потока в створе мостового перехода (рис 4,5), для поиска коэффициента бокового сноса K_c предполагается следующая теория. Теория гласит, что после возведения мостового перехода в русле реки, гидравлические и гидростатические характеристики (скорость V_{cp} , удельный расход q , давление воды P и т.д), действующие возле опор моста, изменяться с течением времени, но остаются неизменными по своему направлению. Таким образом, коэффициент K_c возможно определить аналитически, путем анализа перераспределения (смещения) потока в первые годы после постройки мостового перехода при различных изменяющихся факторах.

Результаты расчета коэффициентов бокового сноса от геометрических характеристик опор моста представлены в таблице 1, а график зависимости полученных величин K_c представлены на рис 6.

Таблица 1

Результаты коэффициента бокового сноса от ширины мостовых опор

Ширина опоры В,м	Коэффициента бокового сноса
0 (до установки)	0
2	0,027304 - 0,027581
4	0,049833689 - 0,050482835
6	0,077823697 - 0,077943099
8	0,10361143 - 0,103869166
10	0,132895604 - 0,133046047

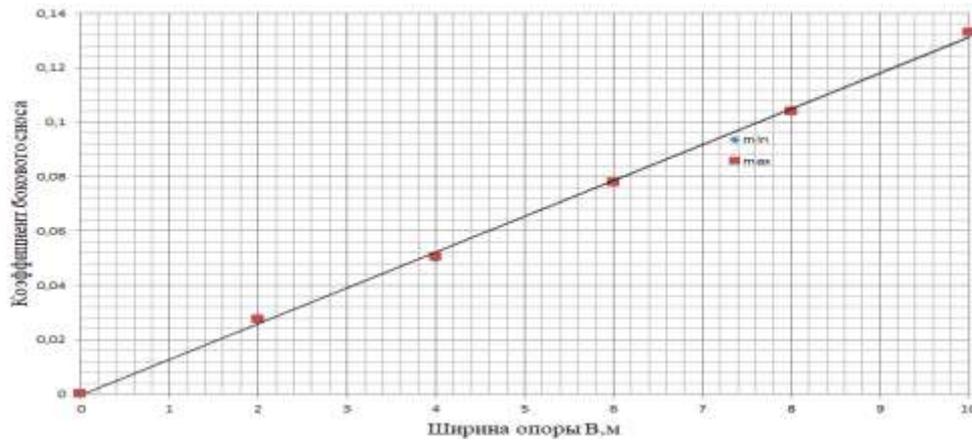


Рис. 6. График зависимости коэффициента бокового сноса от ширины мостовых опор

Результаты расчета показали, что коэффициент бокового сноса K_c напрямую зависит от ширины опоры B и при увеличении ширины опоры, коэффициент бокового сноса возрастает практически в 1,5 раза. Такое явление объясняется тем, что при увеличении параметра B , происходит уменьшение свободной части русла, что приводит к повышению напора Z в створе мостового перехода.

Согласно уравнению Бернулли (формула 9), скорость потока V и давление P прямо пропорциональны напору Z . Следовательно, с ростом геометрического параметра ширины опоры их значения также будут возрастать. А неравенство зоны давления будет оказывать большее влияние на крен судна (рис 2, 4) [9].

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{aV_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{aV_2^2}{2g} + h_w, \quad (9)$$

где z_1 и z_2 - геометрический напор, м;
 $\frac{P}{\gamma}$ - пьезометрический напор, м;
 $\frac{aV^2}{2g}$ - динамический (статический напор), м;
 h_w - потери напора, м;

Для анализа влияния факторов B , I , n на результирующий показатель коэффициента бокового сноса K_c построены графики изменения бокового сноса от них (рис. 7). Графики зависимости представляют собой набор полиномиальных линий тренда с достоверностью аппроксимации для всех случаев $R^2 = 0.9973$. Данное решение было принято для устранения малых неточностей, возникших вследствие графического определения площади смещения водного потока после установки мостовых опор.

Согласно полученным результатам уклон свободной поверхности воды I и шероховатость русла n являются вторичными факторами.

Как в случае с геометрическим параметром ширины мостовых опор, указанные параметры I и n находятся в прямой связи с результирующим показателем K_c . Однако, уклон свободной поверхности и шероховатость русла в целом не оказывают достаточно сильного влияния на получаемый результат по сравнению с фактором ширины опоры B .

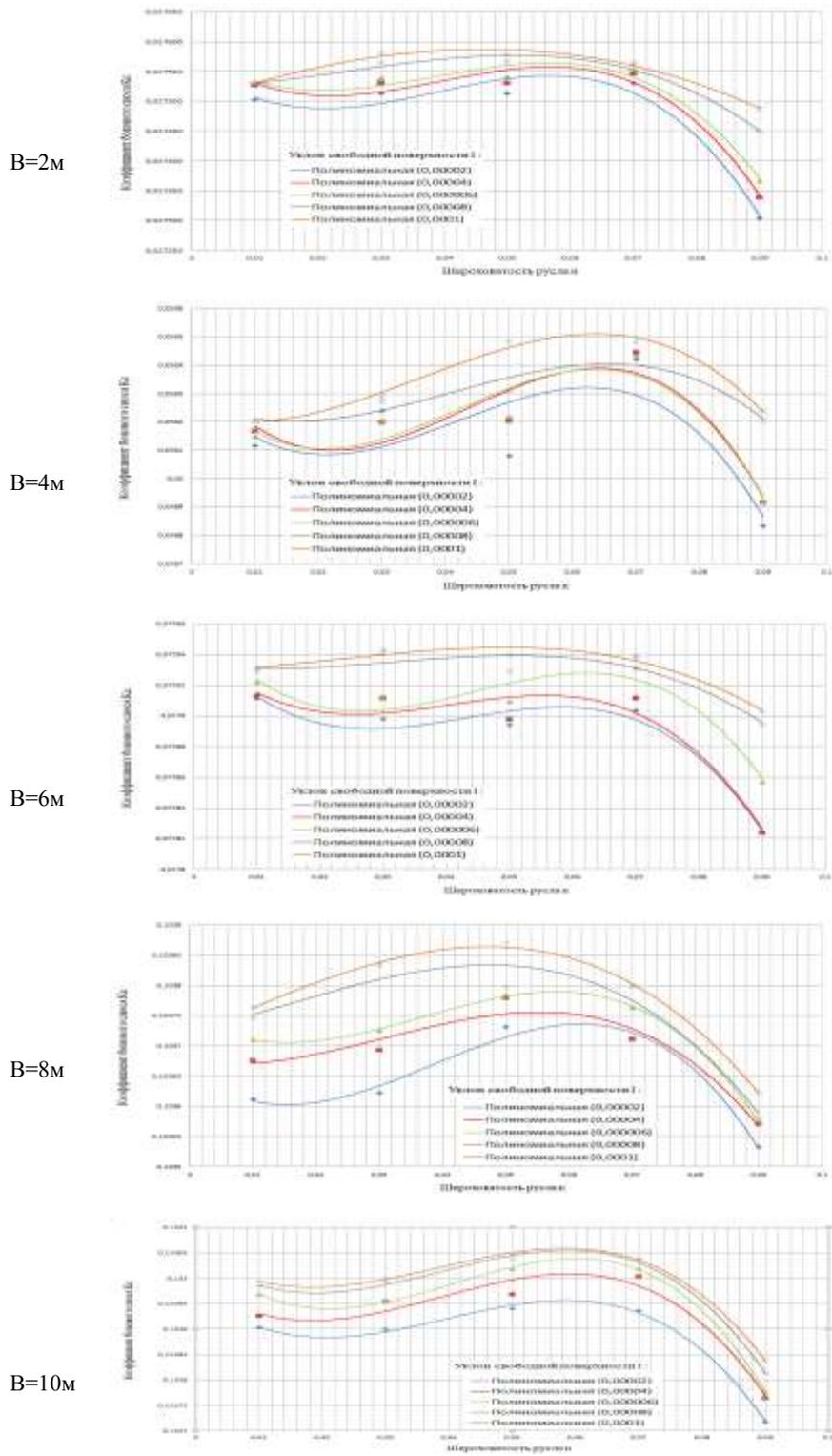


Рис.7. Графики изменения бокового сноса от факторов I и n

Полученные результаты показывают, что с ростом уклона водной поверхности I , значения коэффициента бокового сноса K_c возрастают, а с повышением шероховатости русла - убывают. Данный результат может быть объяснен через уравнения Шези –Манинга (формула 10) и Бернулли (формула 9) .

$$V = C\sqrt{T_{cp}I} \quad (10)$$

где $C = \frac{T_{cp}^{1/6}}{n}$ – коэффициент Шези;
 T_{cp} - средняя глубина на участке, м;
 I - уклон свободной поверхности, м

Согласно уравнению Шези – Манинга, скорость течения V прямо пропорциональна уклону свободной поверхности I , и обратно пропорциональна шероховатости русла n . Таким образом, при увеличении уклона свободной поверхности скорость, и динамический напор будут расти (формула Бернулли).

Заключение

Приведенный в работе анализ изменения параметров сноса судна в створе мостового перехода показал, что снос судна напрямую зависит от его местоположения и может меняться в зависимости от области, по которой проходит судно в конкретный момент времени. При движении по судовому ходу самым опасным участком является область II, где наблюдаются продольные и циркуляционные течения, приводящие к навалу судна на опору моста. В данной статье их влияние выражается через коэффициент бокового сноса K_c , полученный аналитически – статистическим методом исследования поведения потока в створе мостового перехода.

В ходе исследования параметра K_c было выявлено следующее.

1. Главным фактором, влияющий на результирующий показатель, является ширина опоры B . Так при увеличении параметра B , коэффициент K_c возрастает практически в 1,5 раза.
2. При поиске коэффициента бокового сноса уклон свободной поверхности I и шероховатость русла n являются вторичными факторами. Данные параметры находятся в прямой связи с результирующим показателем K_c . Однако оба параметра (I и n) не оказывают достаточно сильного влияния на полученные результаты, в сравнении с фактором B .

Список литературы

1. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов - до в. М.: Транспорт, 1980.
2. Вальгер С.А., Федорова Н.Н., Федоров. А.В. Структура турбулентного отрывного течения в окрестности установленной на пластине призмы с квадратным сечением.// Теплофизика и аэромеханика, 2015, том 22, No 1
3. Гидравлические исследования инженерных сооружений - Сборник трудов. Стройиздат – 1947.
4. Кнороз В .С . Неразмывающие (предельные) скорости разнозернистых по крупности материалов. - Изв.ВПИИГ, т.71, 1962.
5. Куприна, Е. М. (2024). Исследование влияния направления водного потока и конфигураций опор моста на местный размыв дна реки. *Научные проблемы водного транспорта*, (79), 227-237. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi79.484>
6. Куприна Е.М., Воронина Ю.Е. - Влияние конфигураций опор на возникновение неправильных течений Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022.
7. Матюгин М.А., Решетников М.А. Определение положения кривой свободной поверхности на казанцевском перекатном участке реки белой .//Транспорт.

- Горизонты развития. 2023: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2023. – URL: http://вф-река-море.рф/2023/5_7.pdf
8. Михалев М.А., Алибеков А.К.-Выбор оптимального типа опоры и оценка величины местного размыва//Природ обустройство -2011 -1997-6011
 9. Mostkov M.A Гидравлический справочник / Под редакцией Латышенкова А.М – Москва 1954г
В.В. Кулебякин, В.К. Недбальский. – Минск: БНТУ, 2012. – Ч. 3. – 56 с
 10. Журавлев М.М. Местный размыв у опор мостов. М. : Транспорт, 1984.
 11. Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Овчинников И.Г., Успанов А.М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 4 // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №1, <https://t-s.today/PDF/05SATS118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/05SATS118
 12. Пичугов Г.С. Влияние формы фундамента мосто - вых опор на местный размыв. - Труды Гипродорнии, вып.31 .М.,1980.
 13. Ярославцев И,А. Расчет местного размыва у мостовых опор. ЦПИИС. Сообщение No 80. М., 1956.
 14. Knott M.A. Vessel collision design codes and experience in the United States // Proceedings of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis, Copenhagen (Denmark), 10-13 May 1998. – Rotterdam (Brookfield): A.A. Balkema, 1998. – P. 75-84.

References

1. Andreev O.V. Designing bridge crossings - to V. M. : Transport, 1980.
2. Valger S.A., Fedorova N.N., Fedorov. A.V. The structure of a turbulent separation flow in the vicinity of a prism mounted on a plate with a brief summary.// Physics and Astronomy, 2015, volume 22, No. 1
3. Hydraulic research of engineering structures - Collection of works. Stroyizdat – 1947.
4. Knoroz V.C . Non-eroding (limiting) speeds of materials of different grain sizes. - Izv.VPIG, vol. 71, 1962.
5. Kuprina, E. M. (2024). Investigation of the influence of the direction of the water flow and the configurations of the bridge supports on the local erosion of the river bottom. Scientific Problems of water transport, (79), 227-237. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi79.484>
6. Kuprina E.M., Voronina Y.E. - The influence of support configurations on the occurrence of irregular currents Materials of the international scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022.
7. Matyugin M.A., Reshetnikov M.A. Determination of the position of the free surface curve on the Kazantsev rolling section of the Belaya river.//Transport. Horizons of development. 2023: Proceedings of the International Scientific and Practical Forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2023. – URL: http://вф-река-море .RF/2023/5_7.pdf
8. Mikhalev M.A., Alibekov A.K.-Choosing the optimal type of support and estimating the magnitude of local erosion//Nature improvement -2011 -1997-6011
9. Mostkov M.A. Hydraulic handbook / Edited by Latyshenkov A.M. – Moscow 1954
10. Zhuravlev M.M. Local erosion at the bridge supports. М. : Transport, 1984
11. Ovchinnikov I.I., Maistrenko I.Yu., Ovchinnikov I.G., Uspanov A.M. Accidents and destruction of bridge structures, analysis of their causes. Part 4 // Online magazine "Territorial Communities", 2018 No.1, <https://t-s.today/PDF/05SATS118.pdf> (the step is free). Cover from the screen. Russian, English DOI: 10.15862/05SATS118
12. Pichugov G.S. Influence of the shape of the foundation of bridge supports on local erosion. - Proceedings of the Giprodomnia, issue 31 .М., 1980.
13. Yaroslavtsev And,A. Calculation of local erosion at bridge supports. CPIIS. Collection No. 80. Moscow, 1956.
14. Knott M.A. Vessel collision design codes and experience in the United States // Proceedings of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis, Copenhagen (Denmark), 10-13 May 1998. – Rotterdam (Brookfield): A.A. Balkema, 1998. – P. 75-84.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Куприна Екатерина Максимовна, аспирант кафедры водных путей и гидротехнических сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: k_kuprina98@mail.ru

Ekaterina M. Kuprina, Postgraduate student of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, Russia, e-mail: k_kuprina98@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 656.6; 338.984

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi82.568>

Один из подходов к определению эффективности использования судов на подводных крыльях

Ю.И. Платов

ORCID: 0000-0003-1758-1684

М.В. Никулина

ORCID: 0000-0002-8973-4101

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

Аннотация. Статья нацелена на содействие в решении одной из активно обсуждаемых проблем – возрождение и развитие скоростных пассажирских перевозок судами на подводных крыльях (СПК), что, несомненно, приведет к повышению престижа государственных органов перед населением. В современных условиях эта проблема может быть решена только благодаря государственной поддержке в виде субсидирования операционных и капитальных расходов и льготного лизинга. Для этого необходимы методики определения эксплуатационных расходов и оценки экономической эффективности речных СПК при эксплуатационных обоснованиях на стадиях предпроектного выбора и проектирования новых судов, выбора участков их работы. В настоящее время такие общепризнанные или утвержденные методики для речных СПК отсутствуют. Использование же только лишь известных технических показателей при выборе СПК является не достаточным. В статье на основе анализа существующих методов определения эффективности скоростных судов на морском транспорте предлагается критерий, который учитывает как действующие методические рекомендации, так и современные экономические условия, и целиком и полностью основывается на принципах Лурье А.Л. При этом для повышения надежности и достоверности технические (физические) и стоимостные показатели при обоснованиях и особенно на ранних стадиях проектных изысканий необходимо использовать в комплексе.

Ключевые слова: суда на подводных крыльях, пассажирские перевозки, эксплуатационно-экономические обоснования, критерии экономической эффективности.

One approach to determining the efficiency of using hydrofoil vessels

Juri I. Platov

ORCID: 0000-0003-1758-1684

Marina V. Nikulina

ORCID: 0000-0002-8973-4101

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article is aimed at facilitating the solution of one of the actively discussed problems – the revival and development of high-speed passenger transportation by hydrofoil vessels (HV), which will undoubtedly lead to an increase in the prestige of government agencies among the population. In modern conditions, this problem can be solved only through government support in the form of subsidizing operating and capital costs and preferential leasing. This requires methods for determining operating costs and assessing the economic efficiency of river HVs during operational justifications at the stages of pre-project selection and design of new vessels, selection of their operating areas. Currently, such

generally recognized or approved methods for river HPVs are absent. The use of only known technical indicators when selecting an HV is insufficient. In the article, based on the analysis of existing methods for determining the efficiency of high-speed vessels in sea transport, a criterion is proposed that takes into account both current methodological recommendations and modern economic conditions, and is entirely based on the principles of Lurye A.L. At the same time, to increase reliability and authenticity, technical (physical) and cost indicators must be used in combination during justifications and especially in the early stages of design research.

Keywords: hydrofoils, passenger transportation, operational and economic justifications, economic efficiency criteria.

Актуальность

В настоящее время одной из наиболее обсуждаемых проблем является возрождение и развитие скоростных пассажирских перевозок судами на подводных крыльях. Эта проблема привлекает повышенное внимание со стороны населения и различных государственных органов, широко обсуждается в средствах массовой информации и отражается в Интернет-ресурсах [1,2]. В конце советского периода СПК были очень популярны и востребованы у населения и активно эксплуатировались на всех речных и озерных магистралях Европейской части России, Сибири, Дальнего Востока, в прибрежных морских водах; они были одним из ярких технических достижений Советского Союза. Более того, при существовавшей советской модели экономики они были прибыльными. С переходом на рыночную экономику такие перевозки практически прекратились в связи с их нерентабельностью, за некоторыми исключениями (туристскими и на реках Сибири и Дальнего Востока). Следует отметить, что в навигацию 2024 года наблюдался всплеск перевозок пассажиров и туристов на СПК в отдельных регионах России, связанный с вводом в эксплуатацию судов этого типа из нового судостроения, о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл.1 и на рис. 1, 2 [3]. При этом возникает вопрос: насколько эти перевозки эффективны с точки зрения экономики?

Таблица 1

Сведения о наличии скоростных пассажирских судов по судоходным предприятиям по состоянию на конец 2024 г.

Регион	Судоходное предприятие	Количество судов, ед.	Типы судов
Нижегородская область	«Водолет»	2	«Метеор 120Р»
		5	«Валдай 45Р»
Республика Чувашия	«Чебоксарский речной флот»	3	«Валдай 45Р»
Ханты-Мансийский автономный округ	«Северречфлот»	2	«Валдай 45Р»
		2	«Метеор 120Р»
Республика Саха (Якутия)	«Ленатурфлот»	2	«Валдай 45Р»
Самарская область	«Волга-Тревел»	4	«Валдай 45Р»
Ростовская область	СПК «Дон»	2	«Валдай 45Р»



Рис. 1. Количество рейсов, выполненных СПК в 2024 г.

Рис. 2. Число пассажиров, перевезенных СПК в 2024 г.

Актуальность возрождения пассажирских перевозок СПК диктуется не только социальными и экономическими факторами (острая необходимость в таких перевозках в некоторых регионах, повышение транспортной доступности, комфортность передвижения, развитие транспортного туризма и др.), но и, на наш взгляд, повышением престижа государственных органов перед населением.

В связи с высокой стоимостью перевозок строительство и эксплуатация СПК невозможны без государственной поддержки в виде налоговых льгот, субсидирования операционных и капитальных расходов, льготного лизинга [4]. Одновременно одним из главных путей решения этой проблемы является создание более совершенных и экономичных судов и обоснование их оптимального использования.

Краткий обзор оценки экономической эффективности

Оценка экономической эффективности СПК при эксплуатационных обоснованиях на стадиях предпроектного выбора и проектирования новых судов, выбора участков их работы – это одна из центральных задач, которая в настоящее время не имеет общепризнанного решения. Так, например, при проектировании новых судов наиболее распространенным в научной литературе критерием выбора является показатель минимального удельного расхода топлива, соответственно, для водоизмещающих грузовых судов [5] и СПК [6]:

$$K_r = \frac{G}{Qv} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$K_n = \frac{G}{Pv} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где G – часовой расход топлива главными двигателями (ГД) при скорости v , кг/ч;
 Q – грузоподъемность судна, т;
 v – эксплуатационная скорость судна, км/ч;
 P – пассажировместимость судна, чел.

Несомненно, это один из наиболее объективных показателей. Однако, использование только его и ему подобных [6] технических показателей является не только односторонним для принятия решения об эффективности того или иного судна, но, как показано в работе [5], может привести к ошибкам из-за возможной высокой погрешности оценки проектных параметров. Очевидным недостатком является и то, что приведенные критерии не определяют такие важные показатели,

как стоимость проектируемых судов и эксплуатационные расходы, которые зависят нелинейно от скорости, мощности, пассажироместности, а также не учитывают разнообразия условий эксплуатации. По этим же причинам они не пригодны для оперативных эксплуатационно-экономических обоснований, например, для определения рациональных участков их использования, принятия решений потенциальных покупателей судов или выбора условий лизинга. Поэтому для выбора эффективных судов и их параметров на всех стадиях эксплуатационно-экономических обоснований необходимо использовать как физические, так и стоимостные критерии при разных условиях плавания и использования судов [5]. Отчасти похожий подход, применительно к высокоскоростным морским судам (ВСС), был сформулирован ранее в диссертации Абрамовского А.В. [7]. В ней приводится «теоретический и методологический аппарат, позволяющий оценить экономическую эффективность судна на самых ранних стадиях – начиная с разработки и анализа технического задания (ТЗ), выполнения технического предложения и эскизного проекта»; даются определения, какие суда относятся к скоростным: «однокорпусные суда, катамараны, суда на воздушной подушке снегового типа», указывается их назначение – «пассажирские, грузовые, грузопассажирские паромы». Автором [7] рассматриваются следующие рекомендуемые в [8,9] критерии экономической эффективности ВСС, позволяющие оценить их работу: минимизация затрат (приведенных затрат), максимизация прибыли, интегральный эффект (чистый дисконтированный доход), индекс рентабельности инвестиций, внутренняя норма доходности, срок окупаемости инвестиций. Также в этой работе исследуются «факторы влияния скорости на критерии эффективности грузовых и пассажирских ВСС» и разрабатываются «методы расчета дополнительного эффекта, обусловленного ускорением доставки грузов и пассажиров и снижением убытков от «замораживания» оборотных средств в грузах».

К сожалению, мы вынуждены констатировать, что применительно к речным СПК названные выше критерии не применимы по следующим причинам.

Во-первых, критерии экономической эффективности не применимы к речным СПК, так как их эксплуатация возможна только при субсидировании со стороны федеральных и региональных органов власти [10].

Во-вторых, не имеет смысла рассчитывать дополнительный эффект от ускорения доставки грузов и пассажиров в речных СПК ввиду отсутствия грузовых и транзитных перевозок на водоизмещающих судах (кроме туристических), а скорость таких перевозок сопоставима и даже ниже, чем на альтернативных видах транспорта.

Что касается приведенных затрат [8], то на их основании при оценке не только не учитываются принципы определения экономической эффективности [9], т.е. изменение ценности денежных потоков в течение жизненного цикла путем дисконтирования, но и искажается величина приведения двойным учетом стоимости судна через амортизацию и делением этой стоимости на срок окупаемости [10,11].

Критерий оценки экономической эффективности СПК

Приведенный выше анализ позволяет авторам предложить для современных условий функционирования действующей модели экономики наиболее, на наш взгляд, приемлемый подход к оценке экономической эффективности СПК при эксплуатационных обоснованиях. В его основу положены те же принципы, что и при определении нормативной стоимости перевозки пассажиров на СПК [10], и при оценке сравнительной эффективности перевозок грузов различными альтернативными видами транспорта [11].

Относительно использования речных СПК и с учетом действующих льгот [4], критерий эффективности для каждого маршрута (расписания) принимает следующий вид:

$$C_{\text{п}} = \frac{1}{\gamma L_{\text{ср}}} (\mathcal{E}_{\text{ср}} + C_{\text{с}} (\frac{1}{A_0} - a_{\text{н}})) \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$YL_{cr} = \sum_{l=1}^m r_l \sum_{k=1}^n (y_k l_k), \quad (4)$$

$$A_o = \frac{1 - (1 + d)^{-T_n}}{d}, \quad (5)$$

где $C_{п}$ – стоимость перевозки одного пассажира за 1 км на конкретном маршруте, руб./пас.-км;

YL_{cr} – количество прогнозируемых пассажиро-километров, приходящихся на одно СПК за навигацию (может определяться различными способами), ед.;

\mathcal{E}_{cp} – среднегодовые расходы, связанные с эксплуатацией СПК и относимые на любой заданный (в том числе навигационный) период, определяемые в полном соответствии с [12], руб.;

C_c – строительная или балансовая стоимость одного СПК, работающего на конкретном маршруте, руб.;

A_o – единый аннуитет или сумма коэффициентов дисконтирования за весь нормативный срок эксплуатации (жизненный цикл) одного СПК, доли ед.;

a_n – норма амортизации, доли ед.;

r_l – число рейсов за заданный период (навигацию) на планируемом l -м маршруте, ед.;

y_k – среднее число пассажиров, находящихся на борту СПК между двумя последовательными парами пунктов –го участка маршрута следования, пас.;

l_k – расстояние между двумя последовательными парами пунктов –го участка маршрута следования СПК, км;

d – норма дисконта, утверждаемая госорганами при наличии льгот (в случае их отсутствия определяется согласно [9]), доли ед.;

T_n – нормативная длительность периода эксплуатации одного СПК (жизненный цикл), лет.

Анализ предлагаемого метода и обсуждение его применения

Дадим некоторые разъяснения к приведенному выше критерию, предназначенному для выбора наиболее эффективных СПК на разных стадиях эксплуатационно-экономических обоснований.

Предлагаемый критерий получен исходя из следующих допущений:

- равномерных средних эксплуатационных доходов и расходов по годам жизненного цикла судна;
- величина стоимости перевозки одного пассажира за 1 км на конкретном маршруте получена при условии обеспечения экономического эффекта равным нулю, а следовательно, только возврата первоначальных единовременных вложений в стоимость судна на конец его жизненного цикла.

Эти допущения, на наш взгляд, являются логичными в условиях государственной поддержки в виде субсидирования операционных и капитальных расходов и льготного лизинга.

Критерий также обеспечивает учет существующих налоговых льгот при покупке судов и изменения ценности денежных потоков в течение жизненного цикла путем дисконтирования [4].

Заключение

Предлагаемый подход к оценке эффективности СПК целиком и полностью основывается на принципах Лурье А.Л. [13] и, по нашему мнению, в современных условиях является наиболее адекватным и приемлемым при проектировании и выборе речных СПК для конкретных маршрутов. При изменении экономических условий их использования в определение критерия возможно вносить поправки. В частности, при отмене налоговых льгот в формуле (3) необходимо учитывать налоги на имущество и на прибыль аналогично [11], однако при этом такая поправка не окажет существенного влияния на выбор СПК.

Для повышения надежности и достоверности технико-экономических обоснований на стадиях проектных изысканий необходимо также в комплексе использовать физические и стоимостные показатели.

Список литературы

1. Предпосылки к возрождению судов на подводных крыльях. URL: <https://news.rambler.ru/disasters/46408189-predposylki-k-vozrozhdeniyu-sudov-na-podvodnyh-krylyah/>. (дата обращения 08.01.2025)
2. Как развивать скоростные пассажирские перевозки по водным путям России? URL: https://www.korabel.ru/news/comments/kak_razvivat_skorostnye_passazhirskie_perevozki_po_vodnym_putyam_rossii.html. (дата обращения 08.01.2025)
3. За навигацию 2024 года речные суда на подводных крыльях перевезли 300 тысяч пассажиров. URL: https://www.korabel.ru/news/comments/za_navigaciyu_2024_goda_rechnye_suda_na_podvodnyh_krylyah_perevezli_300_tysyach_passazhiro.html. (дата обращения 17.01.2025)
4. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки российского судостроения и судоходства. Федеральный закон от 07.11.2011 № 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 08.01.2025)
5. Платов А.Ю., Платов Ю.И. Исследование взаимосвязей между техническими и экономическими характеристиками речных грузовых судов при эксплуатационно-экономическом обосновании // Научные проблемы водного транспорта, № 78 (1), 2024. С. 212-224. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78>
6. Францев М.Э., Зайцев О.В., Золотаренко И.Д. Модель проектного обеспечения прочности надстройки из композитов пассажирского судна на подводных крыльях с использованием численных методов // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2016. № 3 (114). С. 160–168.
7. Абрамовский А.В. Разработка методов технико-экономического анализа и комплексной оценки экономической эффективности высокоскоростных судов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.08.03. Санкт-Петербург. 2008 г. 262 с.
8. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.: «Экономика», 1977 г., 45 с.
9. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция): утв. Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.1999 N ВК 477. М.: Экономика, 2000. 421 с.
10. Платов Ю.И., Лисин А.А., Станченкова Ю.Н. Метод определения нормативной стоимости перевозки пассажиров скоростными судами // Транспорт. Горизонты развития. 2024: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». 2024. URL: http://вф-река-море.рф/2024/7_26.pdf. (дата обращения 08.01.2025)
11. Никулина М.В., Платов Ю.И. Методика оценки сравнительной эффективности перевозок грузов водным транспортом // Научные проблемы водного транспорта, № 74 (2023). С. 184-196. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74>

12. Приказ Минтранса РФ от 30.09.2003 N 194 «Об утверждении Инструкции по учету доходов и расходов по обычным видам деятельности на внутреннем водном транспорте».
13. URL:
http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_45600/e0f44fedf5bfb13e7719a87878850ebe22d96349/. (дата обращения 08.01.2025)
16. Лурье А.Л. О некоторых рекомендациях типовой методики экономической эффективности капиталовложений // Экономика и математические методы. т. VI, вып. 6. 1970. с. 827-834.

References

1. Predposylki k vozrozhdeniyu sudov na podvodnyh kryl'yah.
17. URL: <https://news.rambler.ru/disasters/46408189-predposylki-k-vozrozhdeniyu-sudov-na-podvodnyh-krylyah/>. (data obrashcheniya 08.01.2025)
2. Kak razvivat' skorostnye passazhirskie perevozki po vodnym putyam Rossii? URL: https://www.korabel.ru/news/comments/kak_razvivat_skorostnye_passazhirskie_perevozki_po_vodnym_putyam_rossii.html. (data obrashcheniya 08.01.2025)
3. Za navigaciju 2024 goda rechnye suda na podvodnyh kryl'jah perevezli 300 tysjach passazhirov. URL: https://www.korabel.ru/news/comments/za_navigaciju_2024_goda_rechnye_suda_na_podvodnyh_krylyah_perevezli_300_tysjach_passazhirov.html. (data obrashhenija 17.01.2025)
4. O vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii v svyazi s realizaciej mer gosudarstvennoj podderzhki rossijskogo sudostroeniya i sudo-hodstva. Federal'nyj zakon ot 07.11.2011 № 305-FZ: prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 21 oktyabrya 2011 goda: odobren Sovetom Federacii 26 oktyabrya 2011 goda.
18. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121269/. (data obrashcheniya 08.01.2025)
5. Platov A.Yu., Platov Yu.I. Issledovanie vzaimosvyazej mezhdru tekhnicheskimi i ekonomicheskimi harakteristikami rechnyh gruzovyh sudov pri ekspluatacionno-ekonomicheskom obosnovanii // Nauchnye problemy vodnogo transporta, № 78 (1), 2024. S. 212-224. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78>
6. Francev M.E., Zajcev O.V., Zolotareno I.D. Model' proektnogo obespecheniya prochno-sti nadstrojki iz kompozitov passazhirskogo sudna na podvodnyh kryl'jah s ispol'zovaniem chislennyh metodov // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. Nizhnij Novgorod. 2016. № 3 (114). S. 160–168.
7. Abramovskij A.V. Razrabotka metodov tekhniko-ekonomicheskogo analiza i kompleksnoj ocenki ekonomicheskoy effektivnosti vysokoskorostnyh sudov. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Special'nost' 05.08.03. Sankt-Peterburg. 2008 g. 262 s.
8. Metodika (osnovnye polozeniya) opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti ispol'zovaniya v narodnom hozyajstve novej tekhniki, izobretenij i racionalizatorskih predlozhenij. M.: «Ekonomika», 1977 g., 45 s.
9. Metodicheskie rekomendacii po ocenke effektivnosti investicionnyh projektov (vtoraya redakciya): utv. Ministerstvom ekonomiki RF, Ministerstvom finansov RF, Gosudarstvennym komitetom RF po stroitel'noj, arhitekturnoj i zhilishhnoj politike 21.06.1999 N VK 477. M.: Ekonomika, 2000. 421 s.
10. Platov Yu.I., Lisin A.A., Stanhenkova Yu.N. Metod opredeleniya normativnoj stoimosti perevozki passazhirov skorostnymi sudami // Transport. Gorizonty razvitiya. 2024: Materialy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma. FGBOU VO «VGUVT». 2024. URL: http://vf-reka-more.rf/2024/7_26.pdf. (data obrashcheniya 08.01.2025)
11. Nikulina M.V., Platov Yu.I. Metodika ocenki sravnitel'noj effektivnosti perevozok gruzov vodnym transportom // Nauchnye problemy vodnogo transporta, № 74 (2023). S. 184-196. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74>
12. Priказ Mintransa RF ot 30.09.2003 N 194 «Ob utverzhdenii Instrukcii po uchetu dohodov i raskhodov po obychnym vidam deyatel'nosti na vnutrennem vodnom transporte». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_45600/e0f44fedf5bfb13e7719a87878850ebe22d96349/. (data obrashcheniya 08.01.2025)

13. Lur'e A.L. O nekotoryh rekomendacijah tipovoj metodiki ekonomicheskoj effektivnosti kapitalovlozhenij // *Ekonomika i matematicheskie metody*. t. VI, vyp. 6. 1970. s. 827-834.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Платов Юрий Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: platov_ji@mail.ru

Juri I. Platov, Dr. Sci. (Eng), professor of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: platov_ji@mail.ru

Никulina Марина Владимировна, к.т.н., доцент, доцент кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: marina_platnik@rambler.ru

Marina V. Nikulina, Ph.D. (Eng), assistant professor of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova st., 5 e-mail: marina_platnik@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 627.132

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi82.569>

Исследование влияния строительства мостового перехода через р. Ока (г. Нижний Новгород) на вышерасположенные водоводы с применением математического моделирования руслового потока

М.А. Решетников

ORCID: 0000-0002-8492-0052

Ю.Е. Воронина

А.Н. Ситнов

ORCID: 0000-0003-4720-8194

М.В. Шестова

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

Аннотация. Для проектируемого мостового перехода через р. Ока в г. Нижний Новгород произведена оценка влияния его строительства на надежность эксплуатации вышерасположенных по течению водоводов в русле. Данные водоводы подвержены размыву и для оценки влияния возводимых опор моста на состояние водоводов произведено трехмерное математическое моделирование речного потока в исследуемом районе реки. Моделирование основывается на системе уравнений Навье-Стокса. Для описания турбулентных явлений используется *k-ε* модель турбулентности. Трехмерная геометрия исследуемого участка включает русло реки, мостовые опоры, водоводы. Выполненное математическое моделирование участка р. Ока в районе водоводов в двух состояниях – в естественном (до строительства моста) и эксплуатационном (после ввода моста в эксплуатацию) при низких межених уровнях позволило сделать вывод о практически отсутствующем влиянии опор моста на дальнейший размыв дна в районе водоводов. Также не оказывает влияния на размыв дна под трубами водоводов дноуглубление, необходимое для поддержания судоходства на дополнительном судовом ходу в рукаве. Результаты работы предназначены для использования при проектировании и строительстве объекта.

Ключевые слова: речной поток, гидравлика, математическое моделирование, мостовые опоры, дноуглубление.

Investigation of the impact of the construction of a bridge crossing over the river. Oka (Nizhny Novgorod) on the upstream waterways using mathematical modeling of the riverbed flow

Maxim A. Reshetnikov

ORCID: 0000-0002-8492-0052

Yulia E. Voronina

Aleksandr N. Sitnov

ORCID: 0000-0003-4720-8194

Marina V. Shestova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. For the projected bridge crossing over the river. An assessment of the impact of its construction on the reliability of operation of upstream aqueducts in the riverbed was carried out in Nizhny Novgorod. These conduits are subject to erosion and to assess the impact of the bridge supports being erected on the condition of the conduits, three-dimensional mathematical modeling of the river flow in the studied river area was performed. The

simulation is based on a system of Navier-Stokes equations. The k- ϵ turbulence model is used to describe turbulent phenomena. The three-dimensional geometry of the area under study includes the riverbed, bridge supports, and culverts. The performed mathematical modeling of the section of the river The Oka in the area of the aqueducts in two states – in natural (before the construction of the bridge) and operational (after the bridge was put into operation) at low inter-soil levels allowed us to conclude that there was practically no effect of the bridge supports on further erosion of the bottom in the area of the aqueducts. Also, dredging, which is necessary to maintain navigation on an additional ship's course in the sleeve, does not affect the erosion of the bottom under the pipes of the aqueducts. The results of the work are intended for use in the design and construction of the facility.

Keywords: river flow, hydraulics, mathematical modeling, bridge supports, dredging.

Введение

Нижегородская агломерация является крупнейшей в Поволжье. Она – драйвер экономического роста всего региона: здесь сконцентрировано более 60% населения области и 75% валового регионального продукта (ВРП). Базовая программа развития агломерации включает в себя три основных направления: развитие жилищного строительства; реформа общественного транспорта; реновация исторического центра.

Юг столицы Приволжья — это посёлок Новинки и деревня Ольгино, которые совсем недавно вошли в состав областного центра. Эти площади предлагается развивать с помощью инновационного механизма комплексного развития территории. Недавно, для обеспечения связности территорий, здесь было завершено возведение крупной развязки: масштабное жилищное строительство будет полностью синхронизировано с дорожным каркасом. Транспортная доступность нового микрорайона будет обеспечена путём строительства дублёра проспекта Гагарина, в состав которого войдёт пятый мост через Оку.

Дублер является неотъемлемой частью комплексного развития нижегородской агломерации. Проект реализуется по поручению президента России и при поддержке Министерства транспорта РФ. Дублер проспекта Гагарина (рис. 1) станет частью нового транспортного каркаса нижегородской агломерации.



Рис. 1. Схема расположения моста и водоводов

Проектом строительства моста предусматривается также выполнение дноуглубительных судоходных прорезей. Однако возведение мостового перехода, а также разработка дноуглубительных прорезей может оказать влияние на структуру речного потока в зоне перехода. В эту зону попадают водоводы Заводских сетей,

располагающиеся в несудоходном рукаве р. Ока в районе острова Новинского водного узла примерно на 1 км выше створа моста. В настоящее время в зоне водоводов существуют локальные зоны размыва дна реки, что ухудшает их надежную эксплуатацию. Для оценки влияния строительства мостового перехода на русловые процессы в районе водоводов следует исследовать изменение структуры речного потока.

Большинство рекомендаций по прогнозной оценке влияния мостовых переходов на динамику русловых процессов основаны на приближённых гидравлико-морфологических расчётах применительно к весьма схематизированному представлению морфологии русла, а также взаимодействию потока и опор моста [1, 2, 3, 4]. В настоящее время стало актуальным использование численных методов моделирования, основанных на компьютеризированном решении обладающих большими размерами систем уравнений гидравлики (гидродинамики) [5,6,7].

Методика проведения исследования

Для решения поставленной задачи по оценке влияния строительства мостового перехода через р. Ока на водоводы Заводских сетей использовался программный комплекс, предназначенный для численного решения уравнений динамики движения жидкости. Целью моделирования движения жидкости в расчетной области являлось получение распределения скоростей потока. Для расчета данных параметров задавались физические законы их изменения, совокупность свойств которых использована для постановки математической модели конкретной задачи.

Основными преимуществами численных методов исследования являются: возможность решения исследуемой задачи в трёхмерной (пространственной) постановке; возможность охвата расчётами участка реки, включающего одновременно район расположения опор мостового перехода и зону их влияния на состояние реки; оперативность расчётов для определения оптимального варианта расположения и конфигурации мостовых опор; учет геометрической конфигурации водоводов.

Структура речного потока описывается системой уравнений Навье-Стокса (1), дополненная уравнением неразрывности:

$$\begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} - \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \right) &= F_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x}, \\ \frac{dV_y}{dt} - \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} \right) &= F_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y}, \\ \frac{dV_z}{dt} - \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right) &= F_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z}, \\ \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} \end{aligned} \tag{1}$$

где: V_x, V_y, V_z – компоненты скоростей в проекции на соответствующую ось;

P – давление;

F_x, F_y, F_z – компоненты массовых сил;

ν – эффективная вязкость, определяемая выражением:

$$\nu = \nu_k + \nu_t \tag{2}$$

где ν_k – кинематическая вязкость среды;

ν_t – турбулентная вязкость.

Для определения турбулентной вязкости ν_t применяется k - ϵ подход. Величина турбулентной вязкости определяется по формуле (3):

$$\nu_t = c_p \cdot \frac{k^2}{\epsilon}, \quad (3)$$

где k – кинематическая энергия турбулентности;
 c_p – турбулентная константа среды;
 ϵ – диссипация турбулентной энергии.

Величины c_p и ϵ принимаются по модели второго порядка Джонсона-Лаундера [8, 9, 10].

Создание твердотельной модели исследуемого участка основывается на имеющихся гидрографических планах участка с помощью CAD-программного обеспечения. Полученная CAD модель участка описывает весь рельеф дна и представляет из себя триангуляционную сеть. Следующим этапом подготовки данных для моделирования является создание расчетной трехмерной объемной сети с промежуточным переразбиением поверхностной сети. При ее создании особое внимание уделено зоне водоводов, в которой сетка дополнительно измельчалась для наиболее точного решения потока. Общее количество расчетных ячеек составляет 1,3млн. Участок трехмерной сети представлен на рис. 2.

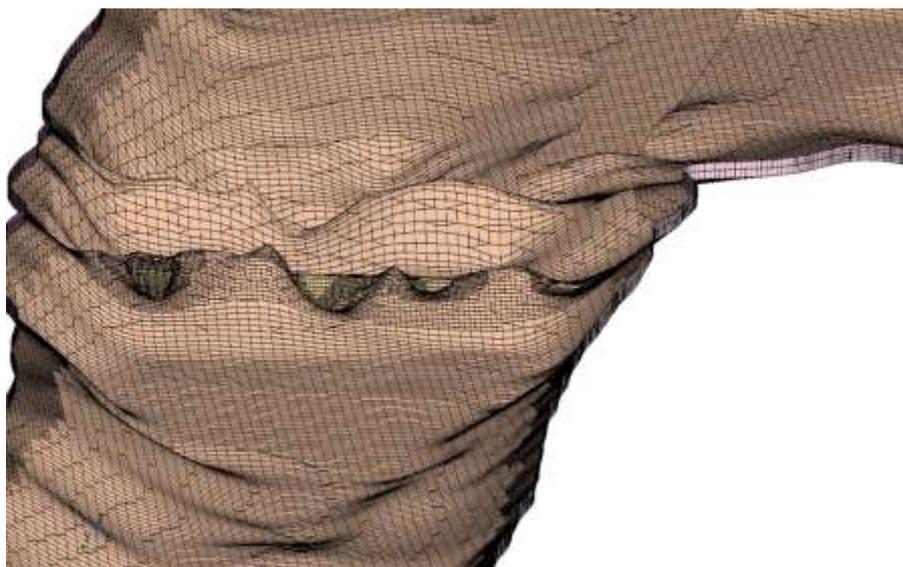


Рис. 2. Рельеф дна в районе водоводов после построения трехмерной сетки

Для учета влияния геометрии водоводов, расположенных выше дна реки на структуру потока, их геометрия булевой операцией вырезана из общей расчетной области потока (рис. 3).

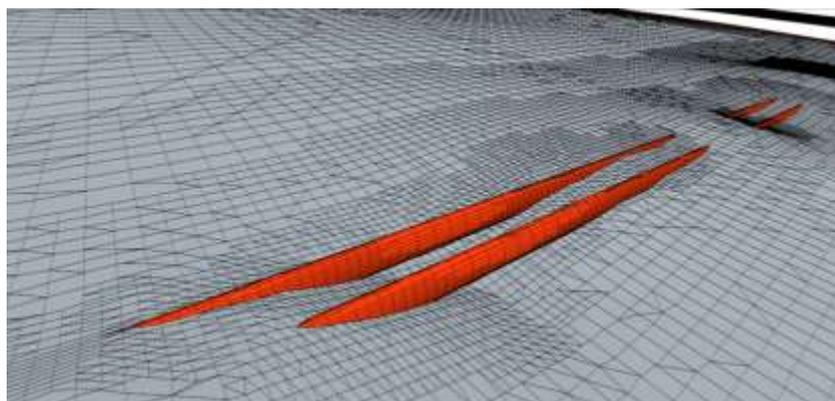


Рис. 3. Учет геометрии водоводов, расположенных выше дна реки (провисающие участки)

Для решения задачи моделирования речного потока используются следующие граничные условия:

а) входная область (inlet). Описывается значениями скоростей потока, которые определяются исходя из расчета расхода (4):

$$v_x = f(x, y, z); v_y = f(x, y, z); v_z = f(x, y, z). \quad (4)$$

б) выходная область (outlet). Условие, по которому производная скорости потока приравнивается к нулевому значению (5):

$$\frac{\partial V}{\partial n} = 0 \quad (5)$$

в) стенка (wall). Условие, по которому массовый расход жидкости через данную область запрещен (6):

$$V_x = V_y = V_z = 0 \quad (6)$$

г) поверхность воды (symmetry). Для данной области скоростные компоненты перпендикулярные к области равны нулю. Движение жидкости предусматривается только вдоль области.

В процессе моделирования создано две расчетных модели:

1. естественное состояние русла (до строительства опор моста);
2. проектное состояние русла – после завершения строительства мостового перехода и производства в целях судоходства дноуглубительных работ на транзитном и дополнительном судовых ходах. Математические модели созданы при условии прохождения низкого (проектного) расхода воды, равного 560 м³/с и принятого на основании анализа гидрологического режима реки [3].

Результаты математического моделирования

На основе полученных результатов математического моделирования речного потока на исследуемом участке р. Ока в районе водоводов Заводских сетей выполнен анализ и прогноз возможных русловых деформаций в естественном и эксплуатационном состояниях. Применение численного моделирования позволяет исследовать изменение структуры потока по множеству скалярных и векторных величин. Для выявления изменения структуры потока сравниваются скоростные поля в естественном и проектном состояниях. На рис. 4 представлены значения поверхностных скоростей речного потока в двух состояниях.

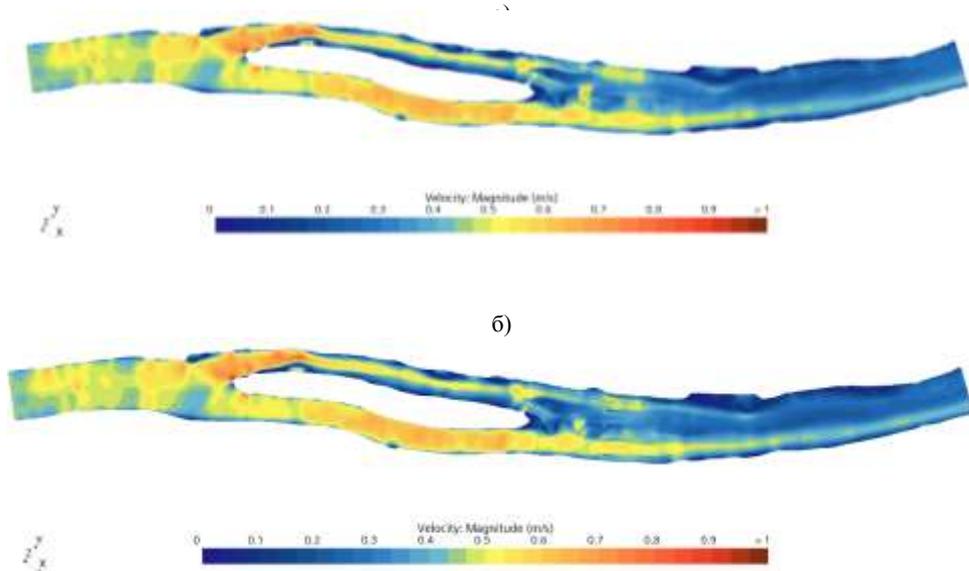


Рис. 4. Скалярное распределение поверхностных скоростей
 а) естественное состояние; б) проектное состояние.

Особое внимание уделено скоростному полю потока между водоводами и дном на оголенных участках (рис. 5).

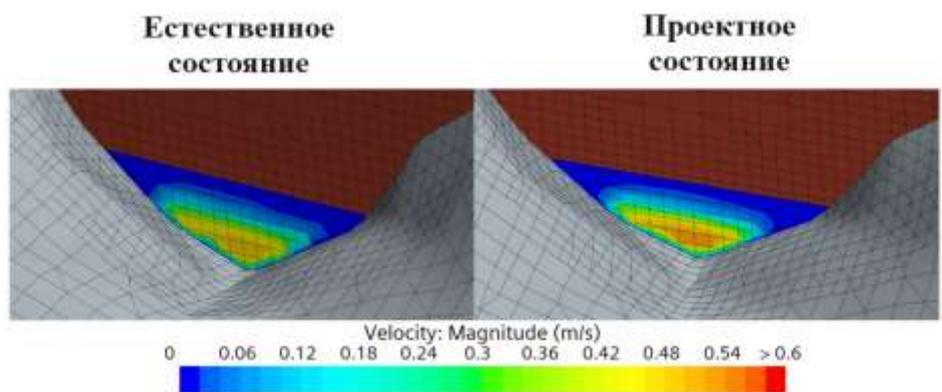


Рис. 5. Значения скоростей потока под оголенным участком нижней нитки водоводов

Для исследования также рассмотрены линии тока, зоны вихреобразования, турбулентные процессы и другие величины, позволяющие оценить влияние мостового перехода и дноуглубительных прорезей на гидравлику потока у водоводов.

Обсуждение

В эксплуатационном состоянии, когда будущий мост будет введен в эксплуатацию и выполнено дноуглубление на основном и дополнительном судовых ходах, общее поле скоростей остается практически неизменным по сравнению с естественным состоянием русла в настоящее время.

По результатам анализа продольных скоростных профилей в районе водоводов в двух состояниях полученная динамика распределения скоростей по вертикали

указывает на полное повторение характера и направленности водоворотных зон в рассматриваемых случаях. Однако, при создании опор нового мостового перехода и проведении дноуглубительных работ в районе участка, где наблюдается нависание водоводов над размытым дном русла, происходит замедление поверхностных скоростей на подходах к трубам и при переливе через них максимальные скорости сосредотачиваются у поверхности воды, что положительно сказывается на устойчивости дна ниже трубопроводов.

Незначительные плановые изменения скоростных полей получены ниже от ухвостья острова (рис. 4) при подходе к опорам моста. За счет дноуглубления дополнительного судового хода основной стрежень потока несудоходного рукава, где располагаются водоводы, равномерно перераспределяется по ширине русла.

Максимальные скорости у дна достигают значений, причем в районе нижнего по течению водовода. Между двумя нитками труб водоводов формируется закручивание потока на малых скоростях течения, образуя отдельную область турбулентности, ограниченную трубами, дном и обратными течениями ниже нижней нитки водовода. Ввиду того, что здесь скорости незначительные, циркуляция потока не влияет на размыв непосредственно у дна. Однако повышение скоростей у нижней ветки водоводов при неблагоприятных условиях может спровоцировать продолжение подмыва в будущем. В данном случае (при низком уровне) размыв дна в районе труб не наблюдается ввиду малых значений донных скоростей ниже неразмывающих для реки Ока.

Заключение

Выполненное математическое моделирование участка р. Ока в районе водоводов в двух состояниях (в естественном и эксплуатационном) при низких меженных уровнях позволило сделать вывод о практически отсутствующем влиянии опор моста на дальнейший размыв дна в районе водоводов. Дноуглубление, необходимое для поддержания судоходства на дополнительном судовом ходу в несудоходном рукаве, производится ниже самого створа водоводов, поэтому влияния на размывы дна под трубами не оказывает, а лишь незначительно перенаправляет поток к ухвостью острова.

При низких уровнях воды скоростные поля как в естественном, так и в эксплуатационном состояниях неизменны. Незначительные изменения скоростного поля просматриваются лишь у поверхности воды и связаны с перенаправлением потока в сторону дноуглубления. Средние и донные течения полностью повторяют конфигурацию естественного русла. Значения донных скоростей в обоих расчетных состояниях не превышают средних неразмывающих скоростей для участка р. Ока в нижнем течении (не превышают 0,55 м/с). Причем, все значения скоростей не превышают неразмывающих значений по участку, что говорит об отсутствии размывов непосредственно в период низких уровней.

Список литературы

1. Гладков, Г.Л. Оценка воздействия на окружающую среду инженерных мероприятий на судоходных реках: Учебное пособие для вузов / Г.Л.Гладков, М.В.Журавлев, Ю.П.Соколов. - СПб, Изд-во А.Кардакова 2005. – 241 с.
2. Гришанин К.В. Основы динамики русловых потоков. – М.: Транспорт, 1990. 319 с.
3. Ситнов, А. Н. Оценка влияния строительства мостового перехода (г. Нижний Новгород) на русловые процессы и устойчивость судового хода в нижнем течении р. Ока / А. Н. Ситнов, Ю. Е. Воронина, М. В. Шестова // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 77. – С. 273-284. – DOI 10.37890/jwt.vi77.445. – EDN IUENBI.
4. Воронина Ю.Е., Шестова М.В., Решетников М.А. Влияние технологии возведения мостового перехода на р. Ока (15-й км судового хода), производства дноуглубительных работ и уроченного режима на русловые процессы и устойчивость

- судового хода.//Транспорт. Горизонты развития. 2023: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2023. – URL: http://вф-река-море.рф/2023/5_3.pdf
5. Липатов И.В., Решетников М.А., Бандин Д.А. Особенности создания математической модели и ее реализации для моделирования гидродинамики речного потока в нижнем течении р. Ока.//Транспорт. Горизонты развития. 2023: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2023. – URL: http://вф-река-море.рф/2023/5_6.pdf
 6. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
 7. Зиновьев А.Т. Математическое моделирование руслового потока для прогнозов влияния строительства в поймах на гидрологический режим крупных рек (на примере реки Обь) / А.Т. Зиновьев, К.Б. Кошелев, К.В. Марусин, Е.Д. Кошелева // Водное хозяйство России, №2, 2017. – с. 54-72
 8. Launder, B.E., and Spalding, D.B. 1974. „The numerical computation of turbulent flows“, *Comp. Meth. in Appl. Mech. and Eng.*, 3, pp. 269-289.
 9. Rodi, W. 1979. „Influence of buoyancy and rotation on equations for turbulent length scale“, *Proc. 2nd Symp. on Turbulent Shear Flows*.
 10. EL TAHRY, S. H. (1983). k-epsilon equation for compressible reciprocating engine flows. *Journal of Energy*, 7(4), 345–353. doi:10.2514/3.48086

References

1. Gladkov, G.L. Environmental impact assessment of engineering measures on navigable rivers: A textbook for universities / G.L.Gladkov, M.V.Zhuravlev, YU.P.Sokolov. - SPb, Izd-vo A.Kardakova 2005. – 241 s.
2. Grishanin K.V. Fundamentals of the dynamics of riverbed flows. – М.: Transport, 1990. 319 s.
3. Sitnov A.N. Assessment of the impact of the construction of a bridge crossing (Nizhny Novgorod) on riverbed processes and the stability of the ship's course in the lower reaches of the Oka River / A.N. Sitnov, Y.E. Voronina, M.V. Shestova // *Russian Journal of Water Transport*. – 2023. – № 77. – С. 273-284. – DOI 10.37890/jwt.vi77.445. – EDN IUENBI.
4. Voronina Y.E., Shestova M.V., Reshetnikov M.A. The influence of technology for the construction of a bridge crossing on the Oka river (15th km of the ship's course), dredging and level regime on riverbed processes and stability of the ship's course.//Транспорт. Development horizons. 2023: Materials of the International Scientific and Practical Forum. «VGUVT». – 2023. – URL: http://вф-река-море.рф/2023/5_3.pdf
5. Lipatov I.V., Reshetnikov M.A., Bandin D.A. Features of creating a mathematical model and its implementation for modeling the hydrodynamics of a river flow in the lower reaches of the Oka river.//Транспорт. Development horizons. 2023: Materials of the International Scientific and Practical Forum. «VGUVT». – 2023. – URL: http://вф-река-море.рф/2023/5_6.pdf
6. Patankar S. Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics / Per. from English. – М.: Energoatomizdat, 1984. – 152 p.
7. Zinoviev A.T. Mathematical modeling of riverbed flow for forecasting the impact of construction in floodplains on the hydrological regime of large rivers (on the example of the Ob River) / A.T. Zinoviev, K.B. Koshelev, K.V. Marusin, E.D. Kosheleva // *Water Management of Russia*, No. 2, 2017. – pp. 54-72
8. Launder, B.E., and Spalding, D.B. 1974. „The numerical computation of turbulent flows“, *Comp. Meth. in Appl. Mech. and Eng.*, 3, pp. 269-289.
9. Rodi, W. 1979. „Influence of buoyancy and rotation on equations for turbulent length scale“, *Proc. 2nd Symp. on Turbulent Shear Flows*.
10. EL TAHRY, S. H. (1983). k-epsilon equation for compressible reciprocating engine flows. *Journal of Energy*, 7(4), 345–353. doi:10.2514/3.48086

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Решетников Максим Алексеевич, к.т.н., старший преподаватель кафедры водных путей и гидросооружений, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: serfskiwind@gmail.com

Воронина Юлия Евгеньевна доцент к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидросооружений, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: yulez@yandex.ru

Ситнов Александр Николаевич профессор, д.т.н., зав. кафедрой водных путей и гидротехнических сооружений Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: stnv1952@rambler.ru

Шестова Марина Вадимовна доцент к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидросооружений, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: shestowam@yandex.ru

Maksim A. Reshetnikov Ph.D. in Engineering Science, senior lecturer of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Yulia E. Voronina Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Aleksandr N. Sitnov professor, doctor of technical sciences, head of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Marina V. Shestova PhD in Associate Professor of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.02.2025; published online 20.03.2025.

УДК 656.6

DOI: 10.37890/jwt.v82.585

Анализ состояния системы обеспечения безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте государственным портовым контролем

А.А. Фомин

ORCID: 0009-0000-4078-2914

Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу нормативно-правового обеспечения безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте в деятельности государственного портового контроля. Проанализирован «Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации» и приказы Министерства транспорта Российской Федерации (2012-2020 гг.), регламентирующие данную деятельность. Обращается внимание на несовершенство современного законодательства, что негативно отражается на эффективности деятельности инспектора государственного портового контроля при принятии им определенных решений. Подтверждается отсутствие нормативно-правовой базы для: осуществления контроля над объектами постройки до февраля 2012 г.; конкретики требований к техническому состоянию и процессам эксплуатации объектов водного транспорта, требований соблюдения пожарной безопасности и правил плавания по ВВП; конкретной и качественной оценки нарушений. Перечисленное делает невозможным проверку значительного количества объектов внутреннего водного транспорта. Проведенный анализ нормативно-правовых основ безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте и собственный опыт позволили автору сделать выводы, имеющие актуальное прикладное значение для совершенствования системы обеспечения безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте государственным портовым контролем.

Ключевые слова: судоходство, внутренний водный транспорт, безопасность судоходства, государственный портовый контроль, инспекторы государственного портового контроля, система обеспечения безопасности судоходства, техническая эксплуатация речного транспорта.

Analysis of the state of the system for ensuring the safety of navigation on inland water transport by the state port control

Andrey A. Fomin

ORCID: 0009-0000-4078-2914

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. The article is devoted to the analysis of the regulatory framework for the safety of navigation on inland water transport. The author analyzes the documents that regulate the work of the state port control - this is the "Code of Inland Water Transport of the Russian Federation" and orders of the Ministry of Transport of the Russian Federation (2012-2020). Attention is drawn to the imperfection of modern legislation. This negatively affects the efficiency of the state port control inspector. It is noted that there are no laws for monitoring objects built before February 2012; there are no specific requirements for the technical condition and operation of water transport, fire safety requirements; specific and high-quality assessment of violations. All of the above does not allow for a high-quality inspection of a significant number of water transport facilities. After analyzing the regulatory framework, the author of the article made conclusions. They are relevant and applicable to the system of ensuring the safety of navigation on inland water transport.

Keywords: navigation, inland water transport, navigation safety, state port control, state port control inspectors, navigation safety system, technical operation of river transport.

Введение

Событие 15 декабря 2024 года в Керченском проливе, когда два судна «Волгонефть-212» (1969 год постройки) и «Волгонефть-239» (1973 год постройки) переломились при шторме 7 баллов, привело к масштабной экологической катастрофе и гибели людей. Характерно, что аналогичная авария уже была с судном этого класса. Современные события показывают недостаточную разработанность системы надзора и контроля на внутреннем водном транспорте, а также необходимость пересмотра нормативно-правовой базы, обеспечивающей безопасность, в частности, речного транспорта.

Система государственного портового контроля введена на внутренних водных путях Российской Федерации с августа 2012 года. В систему включены 12 администраций бассейнов внутренних водных путей, обеспечивающих проверки судов внутреннего водного транспорта. Данная система регламентируется рядом нормативно-правовых документов.

Цель нашего исследования заключается в анализе нормативно-правового обеспечения безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте государственным портовым контролем, что предполагает:

- конкретизацию нормативно-правовых основ данной проблемы;
- выявление проблем, связанных с несовершенством законодательного регулирования системы обеспечения безопасности судоходства, конкретной и качественной оценке нарушений;
- определение роли инспектора государственного портового контроля;
- разработку предложений по повышению эффективности деятельности государственного портового контроля в направлении обеспечения безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте.

Основной метод исследования: анализ нормативно-правовых документов.

Анализ нормативно-правовой базы системы обеспечения безопасности судоходства

В этой статье хочу поднять вопрос о несовершенствовании нормативно-правовой базы ГПК (Государственный портовый контроль)

Деятельность государственного портового контроля на внутренних водных путях регламентирована федеральным законом и рядом приказов Министерства транспорта России.

В соответствии с Кодексом внутреннего водного транспорта Российской Федерации (КВВТ) [1], администрациями бассейнов внутренних водных путей безопасность судоходства обеспечивается, в том числе, путем осуществления государственного портового контроля, включающего в себя проверку соблюдения на судах и плавучих объектах, находящихся в бассейне внутренних водных путей, требований к оборудованию, конструкциям, машинам, механизмам судов, спасательным и иным средствам, требований обеспечения безопасной эксплуатации таких судов и плавучих объектов, профессиональных и квалификационных требований к членам экипажей судов.

При осуществлении проверок судов инспекторы государственного портового контроля руководствуются нормативными правовыми документами, регулирующими деятельность внутреннего водного транспорта в части обеспечения безопасной эксплуатации судов. Однако можно выделить ряд проблем, связанных с несовершенством законодательного регулирования указанной сферы деятельности.

Так, в настоящее время приказ Министерства транспорта России от 06.11.2020 № 464 [3] является единственным нормативно-правовым актом, регламентирующим действия инспектора государственного портового контроля при принятии им решения для временного задержания суда или плавучего объекта. Несмотря на имеющиеся неснятые запреты, суда продолжают эксплуатироваться, что приводит к транспортным происшествиям.

подавляющее большинство оснований для временного задержания судна законодатель относит к нарушениям требований «Технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 12.08.2010 № 623 (далее – Техрегламент) [8].

Однако в пункте 3 Постановления Правительства РФ от 12.08.2010г. № 623 «Об утверждении Техрегламента» установлено, что его требования не распространяются на объекты инфраструктуры внутреннего водного транспорта и суда, проекты которых согласованы и контракты на строительство которых заключены до его вступления в силу, а также на материалы и изделия для судов, изготовленные до вступления в силу технического регламента, т.е. до 24.02.2012г.

Таким образом, указанные требования делают невозможным применение этого документа инспекторами государственного портового контроля при проведении инспектирования судов и плавучих объектов, построенных до названной даты.

В тоже время нет единого подхода у региональных транспортных прокуратур по применению Техрегламента на суда постройки до 2012 года.

При этом следует отметить, что положения раздела III Техрегламента, конкретизирующего требования к безопасности процессов эксплуатации и утилизации, связанных с требованиями к безопасности объектов внутреннего водного транспорта,

вследствие длительной эксплуатации флот 1950-1960 годов постройки достаточно изношен и, следовательно, требует повышенного внимания со стороны инспекции государственного портового контроля при оценке его технического состояния и оценке возможности дальнейшей эксплуатации. Однако в настоящее время отсутствует нормативно-правовой документ, устанавливающий требования к судам и плавучим объектам постройки до февраля 2012 года и процессам их эксплуатации, который может быть применен при проведении плановых проверок судов (и плавучих объектов) в рамках государственного портового контроля.

Кроме этого, в Техрегламенте (пункт 5) определены объекты регулирования, из числа которых исключены маломерные, прогулочные и спортивные парусные суда. Таким образом, в отношении названных категорий судов отсутствует нормативный документ, в соответствии с которым были бы определены требования к их техническому состоянию и процессам эксплуатации при проведении проверок в рамках государственного портового контроля.

В бассейне внутренних водных путей основная масса используемых судов построена и /или введена в эксплуатацию до 2012 года, также работают прогулочные суда и маломерные суда, использующиеся в коммерческих целях. Весь эксплуатируемый в бассейне флот подлежит проверкам государственного портового контроля в сроки, установленные системой инспектирования речных судов.

Вместе с тем ограничения, установленные Техрегламентом в отношении объектов регулирования делают невозможным его применение, а также при принятии решений о временных задержаниях судов. Иными словами, проведение проверок в отношении значительного количества судов становится невозможным.

Обращаем внимание, что в рамках «регуляторной гильотины» Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.10.2020г. № 1742 [10] отменен с 01.01.2021г. приказ Министерства транспорта России от 24.12.2002г. № 158 «Об

утверждении Правил пожарной безопасности на судах внутреннего водного транспорта Российской Федерации».

Указанный документ устанавливал требования пожарной безопасности на судах внутреннего и смешанного (река – море) плавания, находящихся в эксплуатации, ремонте и отстое, а также обязательства для выполнения всеми судовладельцами и членами экипажей судов независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности. Это был единственный нормативно-правовой акт, регулирующий правоотношения в области соблюдения требований пожарной безопасности на судах внутреннего водного транспорта. Взамен утратившего силу нормативно-правового акта иного акта к настоящему времени принято не было.

Таким образом, при проведении проверок судов инспектор государственного портового контроля, выявляя очевидные нарушения требований пожарной безопасности, лишен возможности применить меры воздействия в отношении судовладельца и предотвратить вероятность наступления негативных последствий нарушений, в том числе способных повлечь причинение вреда жизни и здоровью людей на судне, а также их гибель.

Не подлежат применению «Наставления по борьбе за живучесть судов Минречфлота РСФСР», так как Приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 04.12.2020г. № 541 «О признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых актов СССР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления СССР, и утратившими силу некоторых актов РСФСР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления РСФСР, в области транспорта», поскольку данный документ признан утратившим силу с 04.12.2020г. [11]. Подчеркнем, что в источнике (система «Гарант») документ опубликован не был.

Необходимость применения этого документа при проведении проверок судов была обусловлена тем, что он являлся руководящим документом, регламентирующим в соответствии с Уставом службы на судах Министерства речного флота России действия членов экипажей по судовым тревогам (борьба с пожаром, водой, аварийными повреждениями, разливы нефтепродуктов, а также спасание пассажиров и членов экипажей с использованием судовых коллективных и индивидуальных спасательных средств).

Кроме этого, в процессе проверок судов возникают вопросы по конкретной и качественной оценке нарушения. Техрегламент не в полной мере позволяет описать нарушение. Законные требования в полной мере описаны в Правилах Российского Классификационного общества (РКО), но инспектор государственного портового контроля не может ссылаться на Правила РКО, потому что этот документ не является нормативно-правовым актом. Положения данного документа распространяются на требования РКО. Однако документ не прошел регистрацию в Министерстве юстиции Российской Федерации. Этот документ предназначен только для работников РКО.

Отдельные пункты Техрегламента не позволяют внести конкретику в описание нарушений, обнаруженных инспектором государственного портового контроля. Приведём примеры. Как предусмотрено в Техрегламенте, но конкретика определена в правилах Российского Классификационного общества.

Аккумуляторы

222. Для поддержания на судне противопожарного режима персоналом эксплуатанта должны быть выполнены следующие требования:

ж) на двери аккумуляторного помещения должен быть нанесён знак «Осторожно! Опасность взрыва».

Нет конкретики в описании опасностей и мер по их предупреждению.

Спасательные средства

327. Запрещается эксплуатация судна при некомплектности и неисправности спасательных средств.

Нет конкретики в описании комплектности и исправности индивидуальные спасательные средства. Спасательные жилеты для детей; Спасательные жилеты и круги (отражатели); Комплект снабжения спасательной шлюпки.

3. Противопожарное оборудование

328. Техническая эксплуатация противопожарного оборудования и снабжения, стационарных систем пожаротушения, первичных огнегасительных средств пожаротушения, пожарной сигнализации, а также средств пассивной конструктивной противопожарной защиты и активных средств борьбы с возникшим пожаром должна соответствовать положениям инструкций, разработанных эксплуатантом и изготовителем.

329. Должно быть организовано хранение первичных огнегасительных средств пожаротушения, пожарного инвентаря и передвижных приборов пожаротушения в определённых легкодоступных местах и контролироваться содержание их в полном порядке и постоянной готовности к немедленному действию. Запрещается использовать противопожарное оборудование, стационарные системы и передвижные приборы пожаротушения, первичные огнегасительные средства пожаротушения, первичные огнегасительные средства пожаротушения и пожарный инвентарь не по прямому назначению.

Отсутствует конкретика. Противопожарное снабжение. Снабжение переносными огнетушителями; покрывала для тушения; Противопожарный инструмент; Комплект снаряжения для пожарных.

4. Огни, визуальная сигнализация.

373. Основанием для запрещения эксплуатации судна является неисправность:

в) сигнальных и отличительных фонарей, машинных телеграфов (или средств связи, их заменяющих).

321. Техническое обслуживание средств сигнализации и связи выполняется с целью поддержания их в исправном техническом состоянии и готовности к действию. На всех судах средства дневной и ночной сигнализации (гудки, сирены, фонари, отмашки, колокола и мегафоны) должны удовлетворять требованиям настоящего технического регламента и обеспечивать хорошо видимый и слышимый обмен сигналами с идущими и стоящими судами и берегом при любой погоде.

Нет информации о конкретных требованиях фразы «должны удовлетворять требованиям настоящего технического регламента».

Нет конкретики, аналогичной документам: Сигнальные фигуры; Правила плавания ВВП (ПП ВВП) ст.5, п.47); Дополнительные сигнальные огни (три красных, белый) ПП ВВП ст.4, п.42); Сигнальный флаг; ПП ВВП ст.2, п.9).

Аварийное снабжение

238. Аварийное, противопожарное снабжение и спасательные средства должны размещаться на штатных местах, аварийных и пожарных постах.

Можно сравнить со следующими документами: Набор такелажного инструмента; Размещение аварийного снабжения; Надпись, освещение аварийного снабжения.

6. В ТР отсутствует информация о навигационном снабжении судов, тогда как в документах РКО это подробно описано:

Судовой колокол; Судовые часы, бинокль призмальный, кренометр, наметки (футштоки); Барометр, термометр (для класса О, класса Р, плавающих на озёрах).

При описании нарушений на судах не всегда имеются достаточные возможности конкретизировать нарушения на основе требований Техрегламента, на что обращают внимание надзорные органы при осуществлении своих полномочий в отношении портового контроля. В итоге у инспектора остаётся один единственный документ – Техрегламент, который не в полной мере может описать все нарушения.

Кроме этого, представим частный пример, связанный с заполнением судовых журналов. Так, в редакции Федерального закона от 03.07.2016 N 367-ФЗ, в статье 14. Судовые документы, указано:

4. Судовая роль и указанные в подпункте 8 пункта 1 настоящей статьи журналы ведутся в соответствии с правилами, установленными федеральным органом исполнительной власти в области транспорта.

8) судовой журнал, машинный журнал (для судна с механическим двигателем, эксплуатируемого членами экипажа судна без совмещения должностей);

Судовой журнал хранится на судне в течение двух лет со дня внесения в него последней записи. По истечении указанного срока судовой журнал сдается на хранение в орган, осуществляющий государственную регистрацию судов. Данный орган обеспечивает хранение судового журнала не менее чем десять лет в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти в области транспорта.

Судовой журнал предоставляется для ознакомления с ним и снятия с него копий лицам, имеющим право на получение соответствующей информации в соответствии с законодательством Российской Федерации. В случае продажи судна за пределы Российской Федерации судовой журнал предоставляется для ознакомления с ним и снятия с него копий лицам, имеющим право на получение соответствующей информации.

Эта запись в КВВТ значится с июля 2016 года. Судовые журналы с 2018 года должны сдаваться на хранение в соответствующие Администрации внутреннего водного транспорта, где они были зарегистрированы.

Подчеркнем, что со времени вышеуказанного издания прошло восемь лет, однако до настоящего времени в российском законодательстве не обозначены Правила хранения судовых и машинных журналов. Если задаться вопросом о значении этих журналов, то первый же ответ будет: это пенсия в 55 лет для судоводителя. Из этого следует, что журналы необходимы в ситуациях, связанных с работой конкретного судоводителя на судне или в связи с исчезновением фирмы. В итоге формируются вопросы к прокуратуре и следственному комитету по делам прошедших лет. Перечисленные аспекты непосредственным образом связаны с вопросами безопасности судоходства.

Нет нормативного документа о наличии некорректированных лоцманских карт участка реки на котором совершается судоходство. Ранее это было прописано в правилах плавания по ВВП. Пример аварии, в которой один из факторов отсутствие на судне корректированной карты.

Теплоход «БТМ-618» 11.08.19 вышел в рейс с баржей «НС-3016» гружёной железобетонными блоками для подводных переходов, с осадкой 234 см, что было предельно допустимо при движении по р. Томь, где на это время гарантированная глубина составляла 250 см. Согласно Правилам плавания на ВВП (п.п. 79, 81, приложение № 5) при такой глубине запас под днищем должен быть не менее 15 см.

На теплоходе «БТМ-618» находилась некорректированная карта реки Обь от устья реки Томь до селения Соснино (2011 г.в.) – карта, где судовой ход на перекате Баранакровский обозначен проходящим вдоль левого берега реки и переваливающим на правый берег, тогда как на корректированной карте (начиная с 2015 года) судовой ход сначала переваливает с левого берега на правый и идет ближе к правому берегу реки.

В связи с тем, что имеющаяся на судне карта не была откорректирована, судоводитель, основываясь на указанных в ней сведениях, вёл состав, придерживаясь левого берега, идя правой кромкой старого несуществующего судового хода и после расхождения с встречным составом правым бортом и видимо понял, что оказался за пределами судового хода, можно предположить, стал резко переваливать к правому берегу на перевальный знак; при резком повороте состава появился крен на левый борт от течения и центробежной силы инерции, в связи с этим увеличилась осадка по

левому борту, и в это время и произошёл удар баржи «НС-3016» о подводное препятствие на 1220,0 км р. Обь. Баржа утонула на глубине 7 метров и находится там до сих пор.

Автор сделал анализ статей на тему нормативной базы по изменению законов для инспекции государственного портового контроля. Была статья капитана И. Крымова «Между прошлым и будущим» в журнале «морские вести» № 3 за 2019 год [12]. В этой статье он поднял вопрос о новых Правилах плавания по ВВП. По корректировке лоцманских карт вопрос не поднимался.

Статья Бутченко В.Н. и Крепека С.В. «Проблемы правового обеспечения государственного портового контроля за судами и плавучими объектами на внутренних водных путях Российской Федерации» статья напечатана «Труды 22-го научно – промышленного комплекса», проходившего в г.Нижний Новгород с 27 по 29 мая [13]. В статье отмечены недостатки правового регулирования соответствующих отношений и даны предложения по совершенствованию законодательства в данной сфере.

После аварии танкеров в Керченском проливе и экологической катастрофой Президент страны В.В. Путин поставил задачу перед правительством пересмотреть нормативную базу. Эта статья поможет разобраться в недочётах правовой и нормативной базе государственного портового контроля.

Заключение

В результате проведенного анализа нормативно-правовых основ системы обеспечения безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте государственным портовым контролем сделаны следующие выводы:

1. Отменены документы, определяющие конкретные показатели, предписывающие меры обеспечения различных сфер безопасности судов внутреннего водного транспорта.

2. Нововведённые документы, в частности, Техрегламент, по позициям, важным для обеспечения безопасности, не содержит достаточно конкретных требований для описания нарушений, выявляемых инспекторами государственного портового контроля. В то же время инспекторам данного контроля не предписано ссылаться на иные нормативные требования, конкретизирующие порядок обеспечения безопасности судов внутреннего водного транспорта.

3. Дополнительно, в частности, полностью отсутствуют требования к маломерным, прогулочным и спортивным парусным судам, используемым в коммерческих целях; отсутствуют требования к соблюдению пожарной безопасности на судах.

4. Отсутствует нормативный документ, устанавливающий требования к судам и плавучим объектам постройки до февраля 2012 года и процессам их эксплуатации.

5. Современный государственный портовый контроль лишён возможности эффективно выполнять функцию, возложенную на него Кодексом внутреннего водного транспорта Российской Федерации по обеспечению безопасности судоходства на внутреннем водном транспорте.

6. Предлагаем схему внесения законопроекта в Государственную думу Российской Федерации: при внесении в КВВТ какого-либо проекта, изменения или поправок, должен быть проект правил или другой нормативно-правовой документ, прописанный Государственной думой в КВВТ. Без проекта этого документа Государственной думе не следует рассматривать внесённые изменения в КВВТ. Предложенная

рекомендация позволит оптимизировать работу контрольных органов внутреннего речного транспорта.

7. Вернуть в Правила плавания судов по ВВП о наличии на борту откорректированной карты судоходного участка.

Таким образом, в целях устранения пробелов правового регулирования в сфере безопасности эксплуатации внутреннего водного транспорта, существует актуальная в настоящее время необходимость совершенствования нормативных правовых актов в указанной области правоотношений.

Список литературы

1. Федеральный закон от 07.03.2001 № 24-ФЗ «Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_30650/?ysclid=m4webuymop162750994
2. Приказ Минтранса России от 27 ноября 2020 № 521 «Об утверждении Порядка назначения проверок судов и иных плавучих объектов на основании оценок рисков нарушения обязательных требований и проведения таких проверок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400054906/?ysclid=m4we9n6s3y188291590>
3. Приказ Минтранса России от 06 ноября 2020 № 464 «Об утверждении Перечня нарушений обязательных требований, служащих основаниями для временного задержания судна или иного плавучего объекта, и предельных сроков этого задержания» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://mintrans.gov.ru/file/397738>
4. Приказ Минтранса России от 17 августа 2012 № 314 «Об утверждении Положения о капитане бассейна внутренних водных путей» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://base.garant.ru/70241572/?ysclid=m4weckj8sq975265572>
5. Приказ Минтранса России от 17 августа 2012 № 313 «Об утверждении Порядка и условий выдачи разрешения на переход судна или иного плавучего объекта к месту устранения выявленных нарушений» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://base.garant.ru/70236988/?ysclid=m4webrtgro331888018>
6. Приказ Минтранса России от 15 августа 2012 № 309 «Об утверждении Порядка централизованного учёта результатов государственного портового контроля в информационной системе государственного портового контроля» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://base.garant.ru/70232132/?ysclid=m4web245p1130011718>
7. Приказ Минтранса России от 15 августа 2012 № 308 «Об утверждении Порядка подготовки и содержания плановых (рейдовых) заданий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://base.garant.ru/70235950/?ysclid=m4weaa7phn879219538>
8. Постановление Правительства РФ от 12 августа 2010 г. N 623 «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://base.garant.ru/199131/?ysclid=m4wfaqqa6m895691705>
9. Приказ Министерства транспорта РФ от 01.12.2014 № 326 «О признании недействующими на территории Российской Федерации некоторых актов СССР и РСФСР» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/3/4398/?ysclid=m4wejb9xwl656913469>
10. Постановление Правительства России от 26.10.2020 № 1742 «О признании утратившими силу актов и отдельных положений актов Правительства Российской Федерации, об отмене некоторых актов и отдельных положений актов федеральных органов исполнительной власти, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении мероприятий по контролю при осуществлении федерального транспортного надзора, федерального государственного контроля (надзора) в области транспортной безопасности, а также обязательные требования в

- области технического осмотра транспортных средств» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:<http://government.ru/docs/all/130562/>
11. Приказ Минтранса России от 04.12.2020 № 541 «О признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых актов СССР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления СССР, и утратившими силу некоторых актов РСФСР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления РСФСР, в области транспорта» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-mintransa-gossii-ot-04122020-n-541-o-priznanii/?ysclid=m4wel8kdph596923233>
 12. Крымов И.В. Между прошлым и будущим //Морские вести России №3, 2019 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://morvesti.ru/analitika/1692/81020/>
 13. Бутченко В.Н. Проблемы правового обеспечения государственного портового контроля за судами и плавучими объектами на внутренних водных путях Российской Федерации / В.Н. Бутченко, С.В. Крепак//Великие реки – 2020 : Труды 22-го международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород 27-29 мая 2020 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. – С.202. – EDN JTJSSW

References

1. Federal Law No. 24-FZ dated 07.03.2001 "Code of Inland Waterway Transport of the Russian Federation" [Electronic resource]. – Access mode: URL:https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_30650/?ysclid=m4we6yy mop162750994
2. Order No. 521 of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated November 27, 2020 "On Approval of the Procedure for Assigning Inspections of Ships and Other Floating Objects based on risk assessments of violations of mandatory Requirements and conducting such inspections" [Electronic resource]. – Access mode: URL:<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400054906/?ysclid=m4we9n6s3y188291590>
3. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated November 06, 2020 No. 464 "On approval of the List of violations of Mandatory Requirements that serve as grounds for Temporary detention of a vessel or other floating object, and the deadlines for this detention" [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://mintrans.gov.ru/file/397738>
4. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated August 17, 2012 No. 314 "On approval of the Regulations on the Captain of the basin of inland Waterways" [Electronic resource]. – Access mode: URL:<https://base.garant.ru/70241572/?ysclid=m4weckj8sq975265572>
5. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated August 17, 2012 No. 313 "On approval of the Procedure and conditions for issuing permits for the transfer of a vessel or other floating object to the place of elimination of identified violations" [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://base.garant.ru/70236988/?ysclid=m4webrtgro331888018>
6. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated August 15, 2012 No. 309 "On approval of the Procedure for centralized Accounting of the results of State port control in the information system of State Port Control" [Electronic resource]. – Access mode: URL:<https://base.garant.ru/70232132/?ysclid=m4web245p1130011718>
7. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated August 15, 2012 No. 308 "On approval of the Procedure for the preparation and content of planned (raid) tasks" [Electronic resource]. – Access mode: URL:<https://base.garant.ru/70235950/?ysclid=m4weaa7phn879219538>
8. Resolution of the Government of the Russian Federation dated August 12, 2010 No. 623 "On approval of the technical Regulations on the safety of inland waterway transport facilities" [Electronic resource]. – Access mode: URL:<https://base.garant.ru/199131/?ysclid=m4wfaqqa6m895691705>
9. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated December 01, 2014 No. 326 "On invalidation of certain Acts of the USSR and the RSFSR on the territory of the

- Russian Federation" [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/3/4398?ysclid=m4wejb9xwl656913469>
10. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 10/26/2020 No. 1742 "On Invalidation of Acts and Certain Provisions of Acts of the Government of the Russian Federation, on the Cancellation of Certain Acts and Certain Provisions of Acts of Federal Executive Authorities Containing Mandatory Requirements, compliance with which is assessed during control Measures in the Implementation of Federal Transport Supervision, federal State control (supervision) in the field of transport security, as well as mandatory requirements in the field of technical inspection of vehicles" [Electronic resource]. – Access mode: URL: <http://government.ru/docs/all/130562/>
 11. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 04.12.2020 No. 541 "On the recognition of Certain Acts of the USSR, their Individual Provisions, as well as Letters, Instructions and Instructions Issued by the central Bodies of State Administration of the USSR, as Invalid in the Territory of the Russian Federation, and Certain Acts of the RSFSR, their Individual Provisions, as well as letters, instructions and Instructions, published by the central bodies of state administration of the RSFSR, in the field of transport" [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-mintransa-rossii-ot-04122020-n-541-o-priznanii/?ysclid=m4wel8kdp596923233>
 12. Krymov I.V. "Between the past and the future" Marine News magazine, 2019
 13. Butchenko VN., Krepak S.V. "Problems of legal support of state port control over ships and floating objects on the inland waterways of the Russian Federation". Proceedings of the 22nd Scientific and Industrial Complex. Nizhny Novgorod, May 29, 2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Фомин Андрей Александрович, доцент кафедры судовождения Института «Морская академия», Сибирский государственный университет водного транспорта, (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: pscogbu@yandex.ru

Andrey A. Fomin, Associate Professor at the Marine Academy Institute, Siberian State University water transport (FSBEI HE "SGUVT"), 33 Shchetinkina St., Novosibirsk, 630099, e-mail: pscogbu@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.02.2025; опубликована онлайн 20.03.2025.
Received 20.02.2025; published online 20.03.2025.

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 journal@vsuwt.ru либо gaeva.oa@yandex.ru. 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 gaeva.oa@yandex.ru, либо направляется в бумажном виде по адресу г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5, к.971).

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: <http://orcid.org/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 языке 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 10 ссылок;
- приветствуются ссылки на англоязычные источники;
- на свои статьи (самоцитирование) не более 20-25% от общего числа ссылок
- ссылки на статьи периодических изданий (за последние 5 лет), опубликованные в рецензируемых научных журналах, индексируемых в РИНЦ, Scopus, WoS, должны составлять не менее 25%;
- 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://вф-река-море.рф>» преобразуется в <http://xn-----7kcgqcbassog3b.xn--p1ai/>.

Для перевода русского текста на латиницу используются правила **British Standard 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.

**Научные проблемы
водного транспорта**

**Russian Journal of Water
Transport**

№82(1), 2025

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 15,63. Уч.-изд. л. 21,88.
Заказ. 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 ООО «Нижегородская типография». Адрес 603000,
Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Варварская, 10/25.

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.

Адрес редакции и издателя:
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5

Управление научных исследований
и инновационной деятельности
© ВГУВТ, 30.03.2025

Научные проблемы водного транспорта № 82 (1) 2025