



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

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

## Научные проблемы водного транспорта

№70 (1) 2022

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

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

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

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

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

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

**Адрес учредителя, издателя и редакции:** 603091, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5, Тел. +8(831) 419-51-84

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

- 2.5.17 Теория корабля и строительная механика
- 2.5.18 Проектирование и конструкция судов
- 2.5.19 Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства
- 2.5.20 Судовые энергетические установки и их элементы
- 05.22.19 Эксплуатация водного транспорта, судовождение
- 08.00.05 Экономика и управление (по отраслям)

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

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



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

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

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

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

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

## **Редакция и Редколлегия**

### **Главный редактор**

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

### **Заместители главного редактора**

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

Корнев Андрей Борисович, к.т.н., доцент, проректор по научной работе, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

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

### **Ответственный редактор**

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

### **Ответственный секретарь**

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

### **Члены Редколлегии**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Иванов Валерий Михайлович, к.т.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;

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

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

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

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

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

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

Мордовченков Николай Васильевич, д.э.н. профессор, Княгининский университет, г. Нижний Новгород, Россия;

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

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

Отделкин Николай Станиславович, д.т.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

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

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

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

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

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

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

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

#### **Редакционный совет**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Шаталов В.В., профессор, Генеральный директор ОАО КБ "Вымпел", Нижний Новгород, Россия.



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

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

# Russian Journal of Water Transport №70 (1) 2022

The previous name "Bulletin of VSAWT" (2002-2019.)

The journal is devoted to the topical issues of water transport in Russia and publishes scientific materials, research results, methods and technologies in such important areas for the industry as shipbuilding, ship repair, environmental safety of a ship, operation of ship power plants, hydraulic engineering, navigation, navigation safety, economics, logistics and transport management.

The purpose of the journal is the scientific area creation for dissemination of advanced knowledge in the field of water and other kinds of transport in Russia and abroad and for the increasing authority of national publications in global scientific community. The materials of the issue are recommended for researches, teachers of higher educational institutions, engineers, graduate students and students of the relevant specialties.

The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor) certificate PI No. FS77-77658 dated January 17, 2020. Subscription index in the united catalog "Press of Russia": 70191.

The journal has been published since 2002, **4 times a year**; the form of issue is *printed, networked*, language *Russian and English*

**Founder and publisher:** Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volga State University of Water Transport"

**Founder, publisher and editorial address:** 603091, Russian Federation, Nizhny Novgorod, st. Nesterova, 5, Tel. +8 (831) 419-51-84

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

- 2.5.17 Theory of the ship and structural mechanics
- 2.5.18 Ship design and construction
- 2.5.19 Technology of shipbuilding, ship repair and organization of shipbuilding production
- 2.5.20 Ship power plants and their elements
- 05.22.19 Operation of water transport, navigation
- 08.00.05 Economics and management (in different industry areas)

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

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



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

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

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

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

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

## Editorial Team

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

**Editor In chief deputy:** Valeriy.I. Mineev, Dr. Sci. (Econ.), professor, Volga state unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, Russia

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

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

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

**Executive Secretary:** Olga A. Raeva, Volga state unuversity 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;

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

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

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

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

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

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

Valeriy M. Ivanov, Cand. Sci. (Tech.), 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;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### **Editorial Council**

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

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

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

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

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

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

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

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

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





## **Конструкторское бюро ВГУВТ**

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

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

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



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



# СОДЕРЖАНИЕ

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

**Е.Г. Бурмистров, Д.А. Кромов**

Анализ причин и районов локализации износов наружной обшивки корпусов судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания ..... 15

**Ю.Г. Кабалдин, М.С. Аносов, Д.А. Рябов, Д.А. Шатагин, А.А. Хлыбов, Ю.И. Матвеев**

Оценка влияния термической обработки на параметры структуры и хладостойкость металлов, полученных аддитивным электродуговым выращиванием ..... 30

**А.Э. Корепанов, Е.П. Роннов**

Обоснование главных размерений тримарана из условия пассажироместимости в задачах исследовательского проектирования ..... 39

**Я.О. Фиактистов, Ю.Н. Цветков**

Механизм воздействия на поверхность материалов при изнашивании в условиях ультразвуковой кавитации ..... 48

## **Эксплуатация судового энергетического оборудования**

**А.Н. Бердник**

Состояние и проблемы газотурбинного наддува четырёхтактных судовых дизелей .. 64

**А.В. Кулагин**

Формирование информационных потоков при диагностировании судовых энергетических установок..... 77

**К.Ю. Федоровский, Н.К. Гриненко**

Замкнутые системы охлаждения судовых энергоустановок с теплоотводом через судовую обшивку..... 87

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

**А.П. Бафанов**

Анализ современного состояния и направлений развития пассажирского транспорта до 2035 г..... 98

**И.И. Ганчерёнок, Н.Н. Горбачёв, А.О. Ничипорук, Н.Е. Шумовская, О.А. Харченко**  
Проблемы цифровизации внутреннего водного транспорта ..... 110

**О.А. Казьмина, С.А. Казьмин, Н.Ю. Пышкина, А.А. Холопова**

Концепция создания единого цифрового портала транспортных вузов..... 125

**Н.Н. Ползунова**

Управление стейкхолдерами инновационных проектов, реализуемых транспортными предприятиями..... 137

**А.А. Сироткин**

Аспекты исследования и оценки информационной прозрачности в цепях поставок..... 147

**В.В. Трошлин, И.А. Арустамов**

Роль государственно-общественного управления в процессах взаимодействия «сухих» и морских портов ..... 158

**А. А. Фунтусов**  
Эффект снижения предельной интенсивности грузовой обработки транспортных средств при увеличении задействованного числа технологических линий ..... 171

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

**В.Ю. Корьев, М.В. Никулина, Ю.И. Платов, И.В. Уставщиков**  
Проблемы и методы обновления речных судов..... 189

# CONTENTS

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

***Evgeny G. Burmistrov, Dmitriy A. Kromov***

Analysis of the causes and areas of localization of wear of the outer plating of the hulls of inland and mixed (river-sea) navigation ..... 15

***Yuri G. Kabaldin, Maksim S. Anosov, Dmitry A. Ryabov, Dmitry A. Shatagin, Alexander A. Khlybov, Yuri I. Matveev***

Evaluation of the effect of heat treatment on the structure parameters and cold resistance of metals produced by additive electric arc growth ..... 30

***Alexey E. Korepanov, Evgeniy P. Ronnov***

Substantiation of the main dimensions of the trimaran from the passenger capacity condition in the tasks of research design ..... 39

***Yaroslav O. Fiaktistov, Yuriy N. Tsvetkov***

Mechanism of the attack on metal surface in wear under ultrasonic cavitation ..... 48

## ***Operation of ship power equipment***

***Aleksey N. Berdnik***

Status and problems of turbocharging four-stroke marine diesel engines ..... 64

***Andrey V. Kulagin***

Formation of information flows during diagnostics of ship power plants ..... 77

***Konstantin Yu. Fedorovsky, Nadezhda K. Grinenko***

Closed cooling systems of ship power plants with heat sleeve through ship's cladding ..... 87

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

***Artem P. Bafanov***

Analysis of the current state and directions of development of passenger transport until 2035 ..... 98

***Igor I. Hancharonak, Nikolai N. Gorbachyov, Andrey O. Nichiporuk, Natalia E. Shumovskaya, Olga A. Kharchenko***

Problems of digitalization of inland water transport ..... 110

***Olesya A. Kazmina, Sergei A. Kazmin, Nadezhda Y. Pyshkina, Anna A. Kholopova***

The concept of creating a single digital portal of transport universities ..... 125

***Natalia N. Polzunova***

Management of stakeholders of innovative projects implemented by transport enterprises ..... 137

***Artem A. Sirotkin***

Aspects of research and evaluation of information transparency in supply chains ..... 147

***Vladimir V. Troilin, Igor A. Arustamov***

The role of state and public administration in the processes of interaction of "dry" and sea ports ..... 158

**Anatoly A. Funtusov**

A theoretical analysis of the phenomenon of diminishing marginal productivity of gangs employed for (un)loading a vehicle ..... 171

***Operation of water transport, navigation and safety  
of navigation***

**Vadim I. Koryev, Marina V. Nikulina, Juri I. Platov, Ivan V. Ustavshchikov**

Problems and methods of updating river vessels ..... 189

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

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

УДК 629.5.083.5: 621.182.56

<https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.244>

#### **Анализ причин и районов локализации износов наружной обшивки корпусов судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания**

**Е.Г. Бурмистров<sup>1</sup>**

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

**Д.А. Кромов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Волжский государственный университет водного транспорта», г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>2</sup>*ООО «Борская судоремонтная компания», г. Бор, Нижегородская обл., Россия*

**Аннотация.** В данной статье выполнен анализ районов локализации износов листов наружной обшивки корпусов судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания и причин их вызывающих. Отмечено, что с проблемой износа листов наружной обшивки сопряжены задачи обеспечения водонепроницаемости и прочности корпусов судов, от которых зависит сохранение судами своего функционального назначения как плавучих транспортных инженерно-технических сооружений. Результаты исследования показывают, что: 1) износы наружной обшивки судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания исследованных групп (буксиры-толкачи, нефтерудовозы, сухогрузные и пассажирские суда) имеют различную локализацию; 2) локализация износов зависит от района эксплуатации, главных размерений и конструктивных особенностей судов; 3) износы обусловлены коррозионным, эрозионным и абразивным воздействием внешней среды, структурными изменениями металла в сварных швах и околошовных зонах, а также низким качеством лакокрасочной защиты корпусов судов, недостаточным вибродемпфированием судовых механизмов, в отдельных случаях, неудовлетворительной центровкой судовых механизмов и валопроводов; 4) местные остаточные деформации (вмятины, бухтины, ребристость), частота их образования, появление и развитие трещин по сварным швам и целому металлу обусловлены потерей устойчивости связей вследствие их износа; 5) между величинами износа и остаточными деформациями листов наружной обшивки имеется корреляционная связь. Установление вида корреляционной зависимости требует специального изучения.

**Ключевые слова:** корпус судна, наружная обшивка, износы, повреждения, районы локализации, требования Регистра.

## **Analysis of the causes and the localization areas of the hull outer plating wear of inland and mixed (river-sea) navigation ships**

**Evgeny G. Burmistrov<sup>1</sup>**

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

**Dmitriy A. Kromov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>2</sup>*«Bor Ship Repair Company» LLC, Bor, Nizhny Novgorod Region, Russia*

**Abstract.** This article analyzes the localization areas of the hull outer plating wear of inland and mixed (river-sea) navigation ships and the causes of them. It is noted that the problem of wear of outer plating sheets is associated with the tasks of ensuring watertightness and strength of ship hulls, on which the preservation of the functionality of ships as floating transport engineering structures depends. The results of the study show that: 1) wear of the outer skin of inland and mixed (river-sea) navigation ships of the studied groups (pusher tugs, oil ore carriers, dry cargo and passenger ships) have different localization; 2) the localization of wear depends on the area of operation, the main dimensions and design features of the ships; 3) wear is caused by corrosive, erosive and abrasive effects of the external environment, structural changes in the metal in welds and near-weld zones, as well as poor quality of paint and varnish protection of ship hulls, insufficient vibration damping of ship mechanisms, in some cases, unsatisfactory alignment of ship mechanisms and shafting; 4) local residual deformations (dents, crooks, ribbing), the frequency of their formation, the appearance and development of cracks in welds and the whole metal are due to the loss of stability of bonds due to their wear; 5) there is a correlation between the wear values and residual deformations of the outer skin sheets. Establishing the type of correlation dependence requires special study.

**Keywords:** ship hull, outer plating, wear, damage, localization areas, Register requirements.

### **Введение**

Эффективность эксплуатации судна, исправность его технического состояния неразрывно связаны с решением проблемы износа листов наружной обшивки каждого конкретного корпуса и сопряжёнными с ней задачами обеспечения его водонепроницаемости и необходимой местной и общей прочности [1-4]. Успешность решения этих проблем на этапе судоремонта по сути определяет, сохранит ли судно свой функционал как плавучее инженерно-техническое сооружение, предназначенное для перевозки грузов и пассажиров или каких-либо других специфических функций.

Проблемами износа связей корпусов судов занимались многие отечественные и зарубежные учёные. Известны, в частности, работы Н.Е. Петровой, Н.В. Бурнашевой, В.В. Огневой, В.А. Компанеца, О.Е. Сурова, В.А. Веселова, М.В. Китаева, П.О. Пастухова, Хоанг Минь Шона и др. Однако выполнявшиеся ими исследования направлены на изучение износов как физического процесса, относящегося к судну в целом или только к его корпусу. В то же время известно (например, из работ [5-7]), что износ обшивки распределяется по длине, ширине корпуса и высоте борта крайне неравномерно. Кроме того, сам износ (как физический процесс) может иметь различную физическую природу [8, 9] и зависит от совокупности внешних и внутренних факторов, воздействующих на судно в процессе его эксплуатации.

Поэтому целью исследования авторов данной статьи являлся анализ причин и районов локализации износов наружной обшивки корпусов судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания. В качестве объектов исследования были приняты корпуса металлических судов. В качестве предмета исследования – износы наружной обшивки различной природы и локализации.



В качестве основных задач исследования ставились следующие:

- 1) проанализировать износы наружной обшивки судов внутреннего и смешанного (река-море) различных типов, назначения, размерений, конструктивных особенностей с точки зрения их локализации по длине, ширине и высоте борта;
- 2) выявить связь между локализацией износов по районам корпуса судна и их физической природой и причинами появления;
- 3) установить взаимосвязь между износами связей (величиной износа, его интенсивностью) и появлением местных остаточных деформаций (вмятин, бухтин, ребристости), а также трещин.

### **Материалы и методы**

Исследования выполнялись на базе ООО «Борская судоремонтная компания» и кафедры «Проектирование и технология постройки судов» ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта» в период с 2020 г. по настоящее время. Для исследований применялись методы математической статистики. Рассматривались статистические данные (результатам дефектации корпусов судов), имеющиеся в распоряжении ООО «Борская судоремонтная компания» (БРСК) за предыдущие 10 лет. Для анализа принимались выборки по судам разных типов и классов, поднадзорных Российскому Речному Регистру: буксиры-толкачи пр. ОТ-1500 и ОТ-2000 (10 ед.); нефтерудовозы пр. 1553 и 1570 (7 ед.); сухогрузы пр. 507, 507А, 19610 и 19611 (15 ед.); пассажирские пр. 81080 (3 ед.). Все рассматриваемые суда имеют стальной цельносварной корпус. Материал наружной обшивки корпуса – преимущественно углеродистые стали Ст3 и Вст3сп с отдельными элементами (ширстрек, ледовый пояс) у некоторых судов из низколегированной стали 09Г2С. Совместно с износами (главным образом, наружной обшивки) исследовались остаточные деформации, графические интерпретации которых представлены на рис. 1. В качестве методической основы исследования приняты основные положения, описывающие научные подходы к оценке технического состояния корпусов судов и износостойкости их материалов, изложенные в работах [2, 5, 7], а также в Правилах классификационных обществ [12, 13].

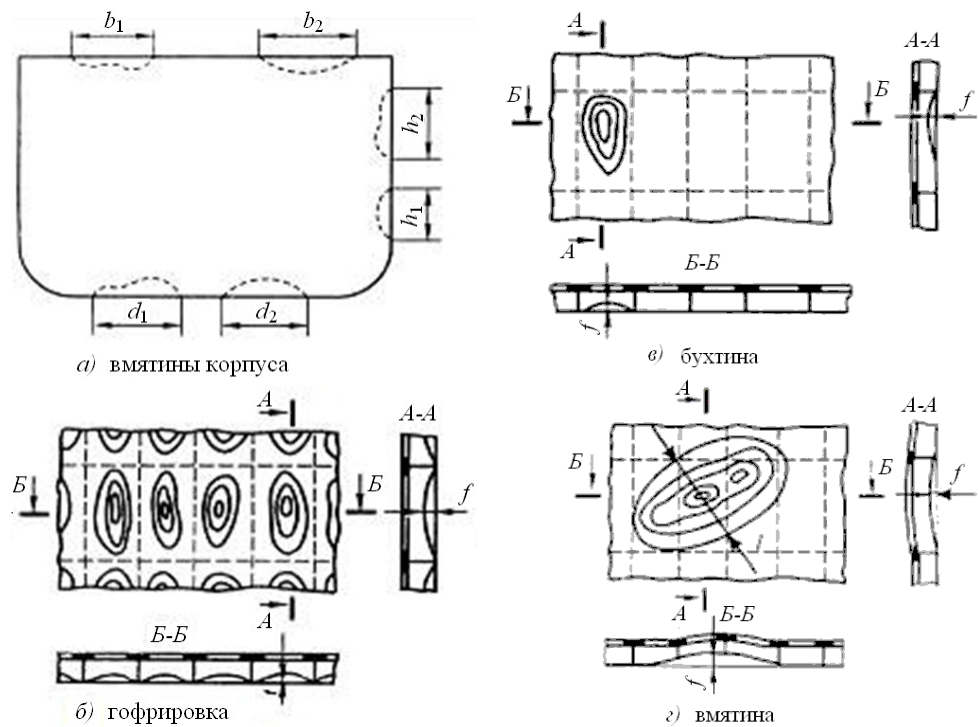


Рис. 1. Виды дефектов обшивки корпусов судов [12, 13]

### Результаты

**Влияние износа корпуса судна на его прочность.** Из работ [1, 4, 8] и др. известно, что прочность корпуса напрямую зависит от возраста судна. Чем дольше судно эксплуатируется, тем сильнее «стареет» его корпус. Старение проявляется в форме:

- 1) уменьшения толщины листов обшивки вследствие абразивного и коррозионного износа (сплошная и язвенная коррозия, истирания и проч.);
- 2) нарушения целостности наружной обшивки (трещины, разрывы, пробоины и др.);
- 3) изменение первоначальной конструктивной формы корпуса в результате деформаций, вызванных эксплуатационными особенностями или перегрузками (прогиб, перегиб).

Как следствие, уменьшается общая прочность корпуса судна, ухудшаются его характеристики и мореходные качества как при ходе «на волнении», так и «на тихой воде».

Некоторые формы проявления «синдрома старения» судов и ожидаемые последствия этого процесса, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Последствия некоторых дефектов корпусных конструкций**

Вид дефекта	Форма проявления	Последствия
Коррозионный износ	Уменьшение площади поперечного сечения связей, моментов сопротивления, моментов инерции	Повышение номинальных напряжений, уменьшение критических напряжений
	Изменение формы поверхности связей	Локальная концентрация напряжений, изменение критических напряжений
	Изменение механических свойств материала	Изменение пределов текучести и прочности, относительного удлинения, хрупких и усталостных характеристик
	Свищи	Нарушение непроницаемости
Остаточные деформации	Изменение плоской или прямолинейной формы связей	Уменьшение несущей способности набора и листов
	Изменение механических свойств материала	Охрупчивание
Трещины	Уменьшение рабочей площади связей	Повышение номинальных напряжений
	Изменение напряжённого состояния в районе трещины	Повышение концентрации напряжений
	Нарушение целостности	Нарушение непроницаемости корпуса

Вопросы обоснования современных технологий восстановления общей прочности корпусов судов, основанные на аналитических и экспериментальных зависимостях для описания параметров дефектов, расчёта их нормативных значений, определения запасов общей прочности судна с дефектами и т.п. подробно описаны в работе [9]. Там же приведены результаты анализа влияния дефектов корпуса судна на его общую прочность и способы восстановления общей прочности, обеспечивающие наименьшие затраты материалов, труда и времени в зависимости от планируемого срока дальнейшей эксплуатации судна. Поэтому в данном исследовании авторы в большей степени сосредоточились на выявлении районов локализации износов и дефектов, что представляется весьма важным для расчёта технологических параметров восстановления общей прочности корпуса, а также для выбора стратегии ремонта.

**Выявление районов локализации износов и повреждений.** Из исследования [10] следует, что районы локализации износов наружной обшивки судов в значительной степени определяются:

- 1) типом и назначением судна;
- 2) назначением избыточных толщин и их корректировкой на этапе проектирования судна с учётом особенностей предполагаемого района эксплуатации, агрессивности внешней среды, а также веществ, перевозимых в различных цистернах, танках и отсеках;
- 3) конструктивными особенностями судна (форма обводов корпуса, шероховатость обшивки и т.п.);

4) технико-эксплуатационными характеристиками (скорость хода, продолжительность рейса, автономность плавания и проч.);

5) возрастом судна.

Все факторы являются значимыми, однако в рамках данного исследования особый интерес вызывают факторы, обусловленные типом и конструктивными особенностями (размерениями, формой корпуса) судов. В этой связи рассматривались выборки по четырём принципиально разным (по типу, размерениям и форме корпуса) группам судов: 1) буксиры-толкачи; 2) нефтерудовозы; 3) сухогрузные суда и 4) пассажирские суда.

Общими, выявленными у судов всех групп, являются износы обшивки коррозионного, эрозионного и механического происхождения. Кроме того, весьма распространённым видом износов по всем группам судов являются износы по стыкам и пазам сварных швов наружной обшивки (т.н. дорожная коррозия). Такие дефекты выявляются практически в 80%, а для «возрастных» судов – в 100% случаев. Вызваны, очевидно, структурными изменениями металла в зоне термического влияния, возможно, возникновением гальванической пары (электрохимической коррозии) из-за изначально неверно подобранных сочетаний марок основного металла и сварочных материалов. По-видимому, именно этим объясняется вспучивание и отслаивание лакокрасочных покрытий изначально именно по сварным швам с созданием условий для развития и последующего распространения коррозии уже и на основной металл. Поэтому эти дефекты подлежат устранению, так как в местах стыков листового металла, а именно в сварных швах, имеет место значительная концентрация напряжений. Как следствие, связи корпуса здесь подвержены большему неблагоприятному воздействию и быстрее приходят в «негодное» состояние (рис. 2).

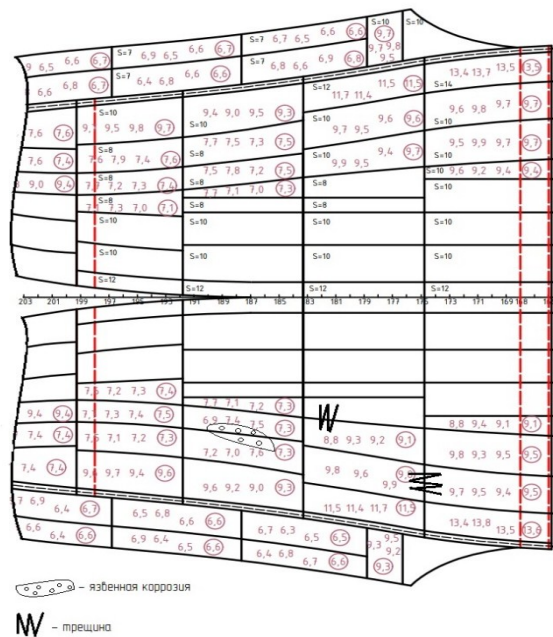


Рис. 2. Локализация дорожной коррозии по стыкам и пазам наружной обшивки бортов корпуса судна-представителя

Несмотря на выявленную для всех групп общность износов, районы их локализации, тем не менее, существенно различаются. Для сравнения на рис. 3 и 4 представлены фрагменты растяжек наружной обшивки (привести их полностью не позволяет формат журнала) судов-представителей, из которых следует, что проблемными, например, для сухогрузов (даже с ледовыми усилениями корпуса) является носовая оконечность на уровне и ниже ватерлинии, а для пассажирских судов – днищевая обшивка в кормовой половине корпуса и слева от ДП, а также первый бортовой пояс и тоже слева от ДП.



Рис. 3. Локализация износов наружной обшивки в носовой части сухогрузного теплохода с ледовым усилением (фрагмент)

Износ и, соответственно, утонение обшивки в носовой части сухогрузов ведёт к потере устойчивости листов, что обычно проявляется в виде её ребристости (гофрировки). Для корпусов в средней части характерны износы бортовых листов в районе привального бруса, а также скулового пояса на участках, подверженных механическим воздействиям, например, при шлюзованиях, швартовке и т.п. (то есть, от трения о стенки шлюза, причальную стенку), что ведёт к повреждению защитного лакокрасочного покрытия и развитию коррозионных процессов. Износ листов днищевой обшивки имеет другую природу. В основном это абразивный износ от плавания в условиях мелководья. Для днищевых листов в районе машинного отделения к этому, по-видимому, добавляются значительные знакопеременные вибрационные воздействия от работающих двигателей и некачественно отцентрованных валопроводов. Это вызывает усталость металла и приводит к

появлению трещин не только по сварным швам в стыках и пазах обшивки, но и по целому металлу. Выявленные районы локализация таких дефектов именно в этих районах подтверждают правильность данного предположения.

Выявленные проблемы корпусов пассажирских теплоходов обусловлены, очевидно, не только воздействием указанных выше внешних факторов, но и характерным расположением различных цистерн (фекальных (стационарных), балластных, питьевой воды и др.) и кингстонах ящиков, изнутри корпуса примыкающих непосредственно к обшивке днища и/или борта. Вследствие одновременного воздействия агрессивной среды (вода, фекально-сточные воды, жидкий балласт) снаружи и изнутри корпуса имеет место ускоренный износ металла. Агрессивное воздействие воды и воздуха в сочетании с механическим воздействием также вызывают ускоренный износ обшивки в районе ватерлинии (см. характерный пример на рис. 4, левый борт, 1-й бортовой пояс).

Более подробно районы локализации выявленных дефектов по изученным типам судов приведены в табл. 2.

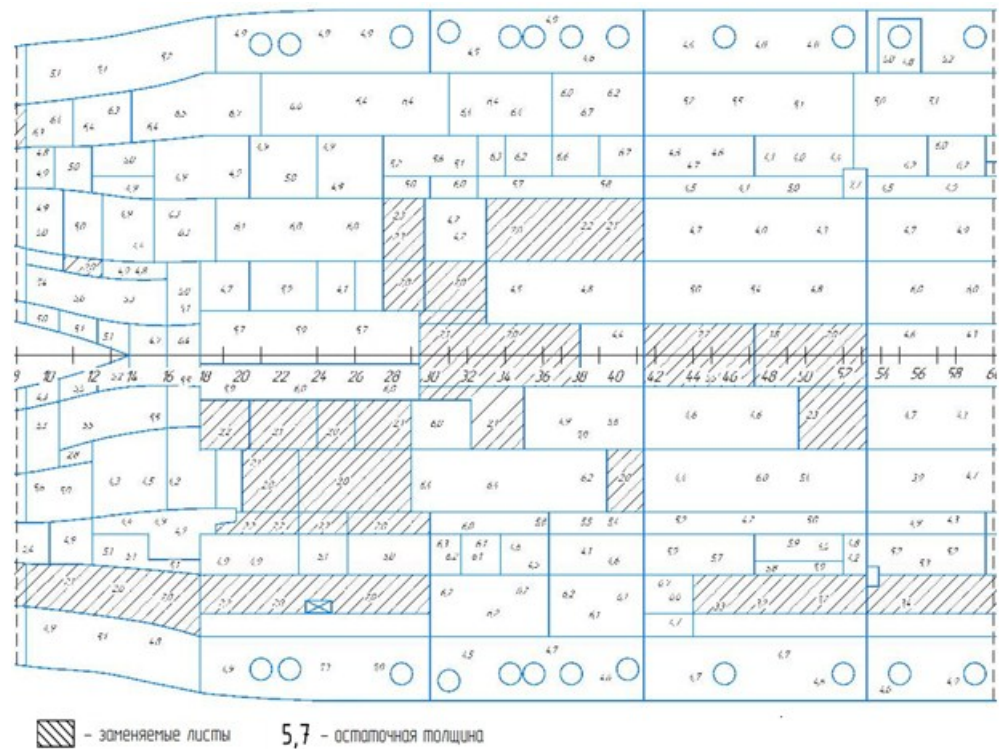


Рис. 4. Растяжка наружной обшивки кормовой части пассажирского теплохода (фрагмент)

Таблица 2

**Локализация износов наружной обшивки корпусов судов**

Тип судна	Районы локализации износов	Анализ причин износов
Буксир-толкач	1 и 2-й пояса от ДП (носовая часть).	Носовая часть корпуса толкачей подвержена значительному внешнему механическому

	<p>Скуловой пояс (носовая часть)                  Правый борт, левый борт (носовая часть)                  3 и 4 пояса от ДП (кормовая часть)</p>	<p>воздействию из-за сложных условий эксплуатации (буксировка судов, толкание отдельных барж и составов, ломка льда). Кроме износа здесь имеют место такие остаточные деформации как вмятины, бухтины, гофрировки и т.д.</p> <p>Повреждение лакокрасочного покрытия по всей длине корпуса приводит к язвенному износу, сплошной и локальной коррозии [14, 15].</p> <p>Физический износ обусловлен частичной или полной потерей работоспособного состояния судна вследствие его эксплуатации и(или) длительного отстоя. Помимо этого износ обшивки корпуса по всей длине связан со «старением корпуса», которое выражается в уменьшении толщины листовых элементов – износа корпуса.</p> <p>«Возрастные» суда имеют значительный срок эксплуатации (35 лет и более). Дефектации и ремонты обшивки их корпуса производились неоднократно [16]. В ходе планового ремонта судна, в целях экономии, замена обшивки, как правило, производится фрагментами (производственники иронично называют это «методом художественной штопки»), когда изношенные участки листов (а не лист целиком) вырезаются и заменяются новыми. Сварка производится «внатяг», вследствие чего имеет место значительная концентрация напряжений в сварных соединениях, основной металл здесь быстрее приходит в «негодное» состояние.</p>
<p>Нефтерудовоз</p>	<p>1-й и 2-й пояса днищевой обшивки; скуловой пояс по обоим бортам 85% длины; днищевая обшивка по обоим бортам в кормовой оконечности; кормовой подзор; бортовая обшивка в районе переменной ватерлинии (преимущественно в средней части корпуса)</p>	<p>Суда этого типа имеют большую длину. В процессе эксплуатации судна дефекты обшивки корпуса (как правило, это вмятины, локализующиеся по бортам, днищу, палубам и др.) могут возникать в результате сжатия корпуса льдами, столкновения с другими судами, при ударе груза о палубу, замерзания воды в цистернах и др.</p> <p>Местами возникновения трещин являются вырезы в углах перекрытий, сварные швы, пересечения набора с поперечными переборками и др.</p> <p>Значительный износ листов обшивки обусловлен абразивным воздействием среды в средней части корпуса, потёртостями в местах контакта со стенками шлюзовых камер, причальными стенками и т.п. [16]. Вследствие этих причин имеют место повреждения лакокрасочного покрытия корпуса на значительных площадях, что приводит к сплошной и локальной коррозии, а также, к язвенному износу.</p>

Сухогрузный теплоход	1-й и 2-й пояса днищевой обшивки (преимущественно в носовой оконечности); скуловой пояс по обоим бортам на 70...75% длины судна; днищевая обшивка в кормовой оконечности (под МО); кормовой подзор (над движителями); бортовая обшивка в средней части корпуса (особенно под деревянными привальными брусьями)	Значительная гофрировка обшивки объясняется частичной потерей устойчивости листов вследствие значительного её утонения (особенно у судов без ледовых усилений). Ускоренная коррозия под деревянными привальными брусьями вызвана водонабуханием древесины, активным испарением из неё воды под действием солнечных лучей, плохой прокрашиваемостью металла под брусьями. Причины износа металла на скуловых поясах те же, что и рассмотренные выше для нефтерудовозов. Износ днищевой обшивки в районе МО обусловлен, по-видимому, особенностями конструкции корпусов судов в этом районе, неудовлетворительным вибродемпфированием механизмов МО, невысоким качеством центровки двигателей и валопроводов и т.п. причинами. Как следствие имеют место вибрационные трещины. Причём не только по сварным швам, но и по целому металлу.
Пассажирский теплоход	килевой пояс (преимущественно в средней и кормовой частях корпуса); 1-й, 2-й и 3-й пояса днищевой обшивки на оба борта от ДП (как правило, в кормовой части); скуловые пояса (по всей длине судна); Обшивка, преимущественно левого борта носовее мидель-шпангоута	Особенностью конструкции пассажирских теплоходов являются встроенные цистерны (по сути, являются элементами конструкции корпуса) различного назначения. Именно в районах расположения цистерн локализуются наиболее значительные износы листов наружной обшивки, что связано с одновременным воздействием на них агрессивной среды как снаружи, так и изнутри корпуса. Вследствие этого разрушение металла здесь происходит гораздо быстрее, чем в других районах. Кроме того, больший износ обшивки левого борта, очевидно, объясняется более частыми швартовками именно левым бортом.

### Обсуждение

Таким образом, выявленные по результатам анализа экспликации износов и дефектов, представленных на растяжках наружной обшивки [17] обследованных судов, износы наружной имеют выраженную локализацию, которая зависит от конструктивного типа и назначения судна, его размерений и условий эксплуатации. Для буксиров-толкачей это определённые пояса днищевой обшивки в носовой и кормовой частях корпуса, а также скуловой пояс и обшивка бортов преимущественно в носовой оконечности. У нефтерудовозов износы в основном локализуются по днищевым и скуловым поясам примерно на 2/3 длины корпуса, в кормовом подзоре, а также по бортам в районе переменной ватерлинии. Проблемными районами корпусов сухогрузных судов являются 1-й и 2-й пояса днищевой обшивки преимущественно в носовой оконечности, скуловые пояса по обоим бортам, днищевая обшивка в кормовой оконечности в районе МО и кормовой подзор, а также бортовая обшивка в средней части корпуса. Для пассажирских теплоходов характерен повышенный износ днищевой обшивки в средней и кормовой частях корпуса, скуловых поясов по всей длине судна, а также обшивки левого борта носовее мидель-шпангоута.



Физическая природа выявленных износов различна. В первом и втором случаях – это значительное внешнее механическое воздействие, обусловленное условиями плавания (буксировка/толкание составов, ломка льда и др.), повреждение лакокрасочного покрытия, «старение» металла, неверно выбранная технология варки вставок при ремонтах, абразивное воздействием среды, в том числе при контакте со стенками шлюзовых камер, причальными стенками и т.п., эрозионный износ, кавитация от работающих двигателей.

Для обследованных сухогрузных теплоходов причины износов, кроме указанных выше, обусловлены также неудовлетворительным качеством окраски корпуса при ремонтах, неудовлетворительным вибродемпфированием механизмов МО, невысоким качеством центровки двигателей и валопроводов. Износ обшивки в кормовом подзоре, как и у нефтерудовозов, по-видимому, имеет кавитационную природу.

У пассажирских судов, кроме прочего, износ обусловлен неудачными конструкторскими решениями при размещении цистерн различного назначения. В результате металл обшивки изнашивается одновременно и снаружи и изнутри корпуса. Интенсивному износу подвергается также подкрепляющий набор. Кроме того, для судов данной группы характерны более частые швартовки. Поэтому обшивка левого борта испытывает активное абразивное воздействие при трении о причальные сооружения.

Общими для всех групп являются износы по стыкам и пазам сварных швов наружной обшивки, вызванные, по-видимому, структурными изменениями металла в зоне термического влияния, и, в отдельных случаях, электрохимической коррозией из-за неверно подобранных сочетаний марок основного металла и сварочных материалов.

Локализация различных деформаций листов наружной обшивки в целом коррелирует с локализацией износов по длине и ширине корпусов судов исследованных групп, так как в их основе лежит потеря устойчивости, обусловленная утонением металла вследствие износа связей [18, 19]. То есть выполняется условие, когда изменение значений одной величины сопутствует систематическому изменению значений другой величины. Однако установление вида корреляционной зависимости как статистической взаимосвязи двух или более случайных величин (либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми), требует специального изучения.

### **Заключение**

По результатам исследования можно отметить ряд обстоятельств:

- 1) износы наружной обшивки судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания исследованных групп (буксиры-толкачи, нефтерудовозы, сухогрузные и пассажирские суда) имеют различную локализацию;
- 2) локализация износов зависит от района эксплуатации, главных размерений и конструктивных особенностей судов;
- 3) износы обусловлены коррозионным, эрозионным и абразивным воздействием внешней среды, структурными изменениями металла в сварных швах и околошовных зонах, а также низким качеством лакокрасочной защиты корпусов судов, недостаточным вибродемпфированием судовых механизмов, в отдельных случаях, неудовлетворительной центровкой судовых механизмов и валопроводов;
- 4) местные остаточные деформации (вмятины, бухтины, ребристость), частота их образования, появление и развитие трещин по сварным швам и целому металлу обусловлены потерей устойчивости связей корпуса вследствие их износа;

5) между величинами износа и остаточными деформациями листов наружной обшивки имеется корреляционная связь. Установление вида корреляционной зависимости требует специального изучения.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность начальнику Отдела технического контроля ООО «Борская судоремонтная компания» А. Малёшину и инженеру-технологу той же компании Д. Макаровой за помощь в подборе материала для анализа, помощь в организации и производстве замеров остаточных толщин наружной обшивки обследованных судов, консультационную поддержку при подготовке данной статьи.

### **Список литературы**

1. Что такое Износ обшивки корпуса корабля, что означает ... / Библиофонд: Морской словарь [Электронный ресурс]. Заголовок с экрана. Режим доступа: [https://slovari.bibliofond.ru/sea\\_word/%D0%98%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D1%81%20%D0%BE%D0%B1%D1%88%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%B8%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%B0%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D1%8F](https://slovari.bibliofond.ru/sea_word/%D0%98%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D1%81%20%D0%BE%D0%B1%D1%88%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%B8%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%B0%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D1%8F) / (дата обращения 12.02.2022 г.)
2. Барышников, С.О. Научные основы технологии восстановления общей прочности корпуса судна при ремонте / Автореф. дис. на соиск. учёной степени д-ра. техн. наук: 05.08.04 / Сергей Олегович Барышников – Астрахань, 2012. – 42 с.
3. Kompanets V.A., Surov O.E. Idle-time Corrosive wear of hull plating: A Study. В сборнике: Procedia Engineering. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017. 2017. С. 739-745.
4. Бурнашева, Н.В., Кудрин М.А. Влияние коррозионного износа на прочность корпусных конструкций морских судов / Н.В. Бурнашева, М.А. Кудрин // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2020, №4(394). – С. 76-81.
5. Петрова, Н.Е. Совершенствование оценки технического состояния судна в целях повышения безопасности мореплавания / Дис. на соиск. учёной степени канд. техн. наук: 05.22.19; / Петрова Наталья Евгеньевна. – Мурманск, 2006. – 185 с.
6. Огнева, В.В. Анализ факторов, определяющих скорость изнашивания корпусов судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания [Текст]: Статья / В.В. Огнева, Е.Г. Бурмистров // Труды 16-го конгресса международного научно-промышленного форума «Великие Реки». – Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2014. – С. 317-321.
7. Хоанг Минь Шон. Контроль технического состояния конструкций корпуса судна на основе оценки риска / Автореф. дис. на соиск. учёной степени канд. техн. наук: 05.08.04 / Хоанг Минь Шон – Астрахань, 2013. – 20 с.
8. Виды и причины износа корпуса [Электронный ресурс] / Морская библиотека : Режим доступа : <https://seaspirit.ru/tag/tehnologiya-sudoremonta>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 10.02.2022 г.).
9. Уласов, А.М. Метод вероятностной оценки остаточного ресурса корпуса судна и его элементов / А.М. Уласов, Е.Г. Бурмистров // Речной транспорт (XXI век). – №2, 2021. – С. 46-50.3.

10. Цветков, Ю.Н. Методические основы прогнозирования износостойкости судостроительных сплавов при гидроэрозии / Автореф. дис. на соиск. учёной степени д-ра техн. наук: 05.08.04. / Цветков Юрий Николаевич. – СПб.: СПГУВК, 1995. – 47 с.
11. Петрова, Н.Е. Изменение технического состояния корпуса судна в процессе эксплуатации / Н.Е. Петрова «Вестник МГТУ», том 12, №1, 2009 г. – С. 39-41.
12. Правила Российского Речного Регистра, Издательство: Российский Речной Регистр, Страниц: – 1430 с.
13. Правила классификации и постройки морских судов (НД №2-020101-114). Ч II: Корпус. Санкт-Петербург: Рос. Морской Регистр судоходства, 2019. – 279 с.
14. Kitaev M.V., Surov V.A., Pastukhov P.O. A Study of the ice-resistant protective Coatings effect on the deterioration of the outdoor covering of ice vessels and icebreakers. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems. BRISTOL, 2021. С. 012026.
15. Veselov V.A., Surov O.E., Kitaev M.V., Pastukhov P.O. Tests of paint and varnish ice-resistant protective coatings of Ice class vessels. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems. BRISTOL, 2021. С. 012027.
16. Бимбереков, П.А. Ускоренная дефектация и ремонт корпусов судов в эксплуатации / Дис. на соиск. учёной степени канд. техн. наук.: 05.08.04. / Бимбереков Павел Александрович – Новосибирск, 2009. – 174 с.
17. Растяжка наружной обшивки и настила верхней палубы [Электронный ресурс]. Заголовок с экрана. Режим доступа: <https://mybiblioteka.su/8-89868.html> (дата обращения 12.02.2022 г.).
18. Петрова, Н.Е. Результаты замеров толщин листов настилов, обшивок, элементов балок набора / Н.Н. Петрова, В.М. Орешкина, Ж.В. Кумова, А.Л. Петров // Международный журнал экспериментального образования. – 2017, №2. – С. 83-84.
19. Surov O.E., Kompanets V.A. Estimation of authenticity of results of measuring residual thicknesses of ship structures. В сборнике: Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference. 2016. С. 346-351.

#### References

1. What is the Wear of the ship's hull plating, which means ... / Bibliofond: Marine vocabulary [Electronic resource]. Screen title. Access mode: [https://slovari.bibliofond.ru/sea\\_word/%D0%98%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D1%81%20%D0%BE%D0%B1%D1%88%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%B8%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%B0%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D1%8F/](https://slovari.bibliofond.ru/sea_word/%D0%98%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D1%81%20%D0%BE%D0%B1%D1%88%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%B8%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%B0%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D1%8F/) (accessed 02/12/2022)
2. Baryshnikov S.O. Scientific bases of the technology for restoring the overall strength of the ship's hull during repair / Abstract of the thesis. dis. for the competition degree of Dr. tech. Sciences: 05.08.04 / Sergey Olegovich Baryshnikov - Astrakhan, 2012. - 42 p.

3. Kompanets V.A., Surov O.E. Idle-time Corrosive wear of hull plating: A Study. In the collection: Procedia Engineering. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017. 2017. pp. 739-745.
4. Burnasheva, N.V., Kudrin M.A. Influence of corrosion wear on the strength of hull structures of marine vessels / N.V. Burnasheva, M.A. Kudrin // Proceedings of the Krylov State Research Center. - 2020, No. 4 (394). - S. 76-81.
5. Petrova, N.E. Improving the assessment of the technical condition of the vessel in order to improve the safety of navigation / Dis. for the competition degree of Cand. tech. Sciences: 05.22.19; / Petrova Natalya Evgenievna. - Murmansk, 2006. - 185 p.
6. Ogneva, V.V. Analysis of the factors that determine the wear rate of the hulls of inland and mixed (river-sea) navigation [Text]: Article / V.V. Ogneva, E.G. Burmistrov // Proceedings of the 16th Congress of the International Scientific and Industrial Forum "Great Rivers". - Nizhny Novgorod: Publishing house of FBOU VPO "VGAVT", 2014. - S. 317-321.
7. Hoang Minh Son. Control of the technical condition of ship hull structures based on risk assessment / Abstract of the thesis. dis. for the competition degree of Cand. tech. Sciences.: 08/05/04 / Hoang Minh Son - Astrakhan, 2013. - 20 p.
8. Types and causes of hull wear [Electronic resource] / Marine Library: Access mode: <https://seaspirit.ru/tag/texnologiya-sudoremonta>, free. - Zagl. from the screen (accessed February 10, 2022).
9. Ulasov, A.M. Method of probabilistic assessment of the residual life of the ship's hull and its elements / A.M. Ulasov, E.G. Burmistrov // River transport (XXI century). - No. 2, 2021. - P. 46-50.3.
10. Tsvetkov, Yu.N. Methodological bases for predicting the wear resistance of shipbuilding alloys during hydroerosion / Abstract of the thesis. dis. for the competition degree of Dr. tech. Sciences: 05.08.04. / Tsvetkov Yuri Nikolaevich. - St. Petersburg: SPGUVK, 1995. - 47 p.
11. Petrova, N.E. Changes in the technical condition of the ship's hull during operation / N.E. Petrov "Bulletin of MSTU", Volume 12, No. 1, 2009 - P. 39-41.
12. Rules of the Russian River Register, Publisher: Russian River Register, Pages: - 1430 p.
13. Rules for the classification and construction of sea vessels (ND No. 2-020101-114). CH II: Corps. St. Petersburg: Ros. Maritime Register of Shipping, 2019. - 279 p.
14. Kitaev M.V., Surov V.A., Pastukhov P.O. A Study of the ice-resistant protective Coatings effect on the deterioration of the outdoor covering of ice vessels and icebreakers. In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems. BRISTOL, 2021, p. 012026.
15. Veselov V.A., Surov O.E., Kitaev M.V., Pastukhov P.O. Tests of paint and varnish ice-resistant protective coatings of Ice class vessels. In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems. BRISTOL, 2021, p. 012027.
16. Bimberekov, P.A. Accelerated defect detection and repair of ship hulls in operation / Dis. for the competition degree of Cand. tech. Sciences.: 05.08.04. / Bimberekov Pavel Aleksandrovich - Novosibirsk, 2009. - 174 p.
17. Stretching of the outer skin and upper deck flooring [Electronic resource]. Over-the-heads from the screen. Access mode: <https://mybiblioteka.su/8-89868.html> (accessed 12.02.2022).

18. Petrova, N.E. The results of measurements of the thicknesses of sheets of flooring, sheathing, elements of beams of the set / N.N. Petrova, V.M. Oreshkina, Zh.V. Kumova, A.L. Petrov // International Journal of Experimental Education. - 2017, No. 2. - S. 83-84.
19. Surov O.E., Kompanets V.A. Estimation of authenticity of results of measuring residual thicknesses of ship structures. In the collection: Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference. 2016. S. 346-351.

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

**Бурмистров Евгений Геннадьевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: burmistrov\_e\_g@mail.ru

**Evgeny G. Burmistrov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Design and Technology of Ship Construction, Volga State University of Water Transport, 5 Nesterova str., Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: burmistrov\_e\_g@mail.ru

**Кромов Дмитрий Александрович**, инженер-технолог, ООО «Борская судоремонтная компания», 606440, Нижегородская обл., г. Бор, ул. М. Горького, д. 23 А. e-mail: dkromov15@gmail.com

**Dmitry A. Kromov**, process engineer, «Borskaya Shiprepair Company» LLC, 606440, Nizhny Novgorod Region, Bor, st. M. Gorky, 23 A. e-mail: dkromov15@gmail.com

Статья поступила в редакцию 13.02.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 13.02.2022; published online 21.03.2022.

УДК 620.178.7 + 620.172.

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.245>

## **Оценка влияния термической обработки на параметры структуры и хладостойкость металлов, полученных аддитивным электродуговым выращиванием**

**Ю.Г. Кабалдин<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4300-6659>

**М.С. Аносов<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8150-9332>

**Д.А. Рябов<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0486-598X>

**Д.А. Шатагин<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1293-4487>

**А.А. Хлыбов<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6559-7819>

**Ю.И. Матвеев<sup>2</sup>**

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

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

**Аннотация.** Надежность эксплуатации деталей судового оборудования в значительной степени зависит от способов получения заготовок и последующей термической обработки. Учитывая, что в настоящее время развивается судоходство в районах крайнего Севера, повышение работоспособности судовых машин и механизмов при низких (отрицательных) температурах является весьма актуальным. В работе проведено исследование влияния вида и режима термической обработки на структуру и параметры хладостойкости сталей 09Г2С и 07Х25Н13, полученных аддитивным электродуговым выращиванием. Показано, что на оптимальных режимах печати в стали 09Г2С наблюдается относительно равномерная и мелкозернистая структура материала, тогда как в сплаве 07Х25Н13 наблюдается дендритная структура. Термическая обработка исследуемых сплавов приводит к более равномерному распределению структурных составляющих в металлах, а в стали 07Х25Н13 дендриты разрушаются, что приводит к уменьшению анизотропии свойств материала. Также термическая обработка приводит к значительному снижению внутренних остаточных напряжений в материале. Результаты исследования ударной вязкости в широком диапазоне пониженных температур показывают, что в исходном состоянии после наплавки исследуемые сплавы обладают значительной анизотропией ударной вязкости (до 8 и 25% для сплава 09Г2С и 07Х25Н13 соответственно). Термическая обработка значительно снижает анизотропию свойств исследуемых сплавов, и повышает значения ударной вязкости. Так, для стали 09Г2С после термической обработки наблюдается повышение ударной вязкости более чем в 1,5 раза во всем диапазоне температур. Проведенные исследования позволили выявить диапазон температур вязко-хрупкого перехода и показатели ударной вязкости сплавов 09Г2С и 07Х25Н13, что имеет большое практическое значение при изготовлении деталей и элементов конструкций Северного исполнения для судов, работающих в арктических условиях.

**Ключевые слова:** судовое оборудование, 09Г2С, 07Х25Н13, хладостойкость, электродуговая наплавка, ударная вязкость, анизотропия, вязко-хрупкий переход, термическая обработка.

## **Evaluation of the effect of heat treatment on the structure parameters and cold resistance of metals produced by additive electric arc growth**

**Yuri G. Kabaldin**<sup>1</sup>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4300-6659>

**Maksim S. Anosov**<sup>1</sup>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8150-9332>

**Dmitry A. Ryabov**<sup>1</sup>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0486-598X>

**Dmitry A. Shatagin**<sup>1</sup>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1293-4487>

**Alexander A. Khlybov**<sup>1</sup>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6559-7819>

**Yuri I. Matveev**<sup>2</sup>

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

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

**Abstract.** The reliability of operation of ship equipment parts largely depends on the methods of obtaining blanks and subsequent heat treatment. Taking into account the fact that shipping is currently developing in the regions of the Far North, improving the performance of ship machinery and mechanisms at low (negative) temperatures is very relevant. In this work, we studied the influence of the type and mode of heat treatment on the structure and parameters of cold resistance of 09Mn2Si and 07Cr25Ni13 steels obtained by additive electric arc growth. It is shown that, under optimal printing conditions, a relatively uniform and fine-grained material structure is observed in 09Mn2Si steel, while a dendritic structure is observed in the 07Cr25Ni13 alloy. Heat treatment of the alloys investigated leads to a more uniform distribution of structural components in metals, and in steel 07Cr25Ni13 the dendrites are destroyed, which leads to a decrease in the anisotropy of material properties. Also, heat treatment leads to a significant reduction in internal residual stresses in the material. The results of the study of impact strength in a wide range of low temperatures show that in the initial state after surfacing, the investigated alloys have a significant anisotropy of impact strength (up to 8 and 25% for alloy 09Mn2Si and 07Cr25Ni13, respectively). Heat treatment significantly reduces the anisotropy of the properties of the studied alloys and increases the values of impact strength. So for steel 09Mn2Si after heat treatment, an increase in impact strength by more than 1.5 times is observed over the entire temperature range. The studies carried out made it possible to identify the temperature range of the ductile-brittle transition and the impact strength of 09Mn2Si and 07Cr25Ni13 alloys, which is of great practical importance in the manufacture of parts and structural elements of the Northern version for ships operating in arctic conditions.

**Keywords:** marine equipment, 09Mn2Si, 07Cr25Ni13, cold resistance, electric arc surfacing, impact strength, anisotropy, ductile-brittle transition, heat treatment.

### **Введение**

Работоспособность деталей судового оборудования непосредственно зависит от технологии их изготовления на всех этапах производственного процесса. С развитием современных технологий получения изделий методами 3D-печати [1] открываются большие возможности по получению деталей и конструкций сложной формы на одном рабочем месте с использованием гибридных технологий (печать и механическая обработка). Среди большого разнообразия методов 3D-печати одним из наиболее универсальных является метод электродуговой наплавки проволокой [2-6].

Для изделий, работающих в условиях пониженных температур, необходим учет механических характеристик и показателей хладостойкости в широком диапазоне температур. Как показывает анализ литературных данных, в настоящее время есть большое количество работ, где проведена оценка хладостойкости и механических свойств при пониженных температурах металлов, полученных методом обработки из проката [7,8]. Подобные исследования для металлов, полученных путем 3D-печати электродуговой наплавкой в литературе отсутствуют.

Также известно, что при наплавке наблюдается анизотропия механических свойств материала [9]; величину и характер ее изменения при понижении температуры также необходимо исследовать в рамках проводимых исследований.

В связи с этим целью исследования является оценка показателей хладостойкости и анизотропии свойств металла, полученного электродуговой наплавкой.

### **Материалы и методы исследования**

В работе исследовались образцы, полученные на специализированном стенде для 3D-печати электродуговой наплавкой с возможностью последующей механической обработки [10]. В качестве материалов для исследования выступали стали 09Г2С и 07Х25Н13, выбранные с учетом их хорошей свариваемости и обладающие высокими показателями хладостойкости. Образцы были получены на определенных ранее оптимальных режимах печати материалов [11]

Для изготовления образцов были получены стенки шириной порядка 10 мм габаритами 100x200 мм., после чего из стенок в продольном и поперечном направлении относительно наплавки были вырезаны образцы на ударный изгиб. Всего для исследования было изготовлено порядка 60 образцов.

Геометрия образцов на ударный изгиб выбрана в соответствии с ГОСТ9454-78 с габаритами 5x10x55 с V-образным концентратором, который применяется для исследования металлов, функционирующих в особо ответственных конструкциях.

Испытания на ударный изгиб проводились на маятниковом копре МК-300. Образцы для испытаний предварительно охлаждали с учетом требований приведенных ранее стандартов с использованием разработанных криокамер. Для контроля температуры в процессе испытаний использовались датчики pt100 контактного типа с точностью измерения температуры  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Исследование микроструктур образцов проводили с использованием оптического микроскопа KYENCE-VHX 1000 при увеличениях x200, x500, x1000.

Известно, что одним из наиболее эффективных методов повышения хладостойкости и механических свойств является термическая обработка сплавов. В связи с этим часть изготовленных образцов подвергали термической обработке (ТО).

Для стали 09Г2С были выбраны следующие виды и режимы ТО: отжиг  $930^\circ\text{C}$ , нормализация  $930^\circ\text{C}$  и закалка  $930^\circ\text{C}$  с отпуском  $550^\circ\text{C}$ . Сталь 07Х25Н13 прошла аустенизацию при температуре  $1100^\circ\text{C}$ .

Оценка температуры вязко-хрупкого перехода производилась на основании фрактографических исследований изломов образцов. За температуру вязко-хрупкого перехода  $t_{50}$ , принималась температура, при которой в изломе наблюдается равное соотношение вязкой и хрупкой составляющей.

### **Результаты экспериментальных исследований. Обсуждение результатов эксперимента**

Получены микроструктуры материала образцов в исходном состоянии. Результаты микроструктурных исследований приведены на рис. 1.



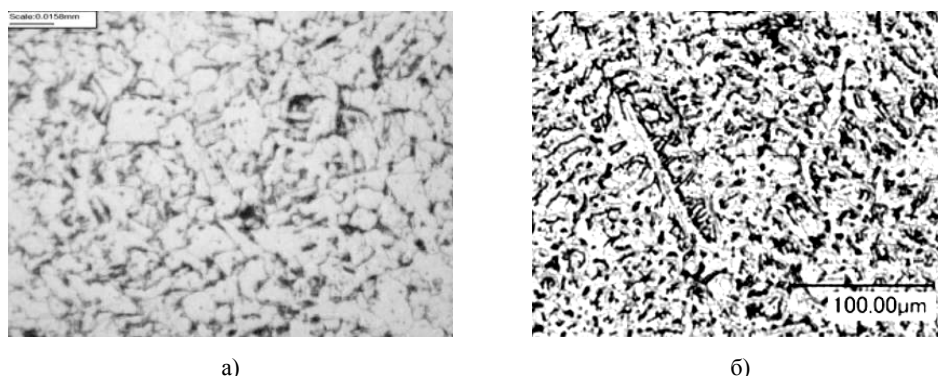


Рис. 1. Микроструктуры стали 09Г2С (а) и 07Х25Н13 (б) после наплавки (x1000)

При выбранных ранее режимах печати в структуре стали 09Г2С (рис. 1а) образуется относительно однородная структура с зернами феррита в среднем 10 – 15 мкм, наличие дефектов в виде пор не наблюдается. Анализ структуры стали 07Х25Н13 (рис. 1б), показал, что структура стали состоит из дендритов аустенита и заполняющей междендритное пространство  $\sigma$ -фазы.

На рис. 2 показаны микроструктуры сплавов после проведения термической обработки. Для стали 09Г2С с точки зрения в качестве наиболее благоприятной термической обработки выбрана нормализация, а для стали 07Х25Н13 - аустенизация.

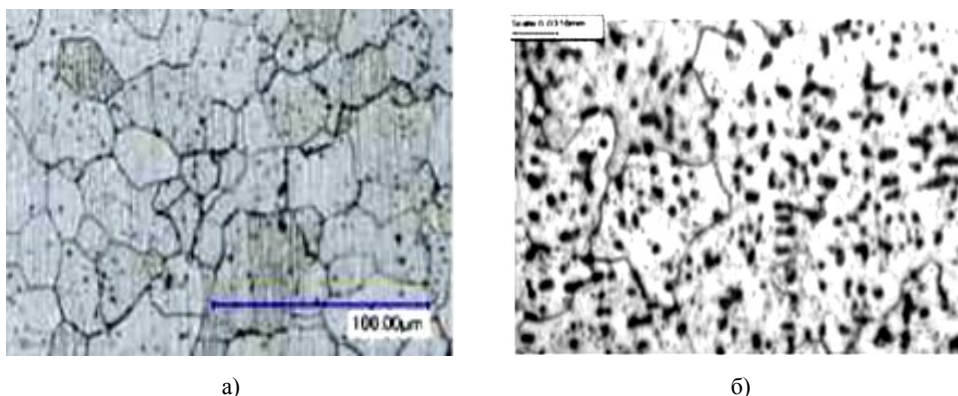


Рис. 2. Микроструктуры стали 09Г2С после нормализации 930°C (а) и 07Х25Н13 после аустенизации 1100°C (б) (x1000)

После термической обработки в образцах из стали 09Г2С зерна феррита приобрели более равновесную форму, а их размер увеличился. После отжига размер зерна вырос с 10 (7,6–11 мкм) до 8 (16 -23 мкм) балла, а после нормализации с 10 (7,6 – 11 мкм) до 9 (11 – 16 мкм.) балла. В микроструктуре после термической обработки не наблюдается перлита в связи с тем, что содержащийся в нем цементит после перекристаллизации распределился по границам феррита. После нормализации внутренние суммарные остаточные напряжения в образцах снизились с 2050 МПа до 650 МПа.

После проведения аустенизации в структуре стали 07Х25Н13 дендритов не наблюдается, что уменьшает анизотропию механических свойств.

По результатам испытаний получены зависимости ударной вязкости исследуемых сплавов при пониженной температуре. Данные зависимости показаны на рис. 3 и 4 для стали 09Г2С и стали 07Х25Н13 соответственно.

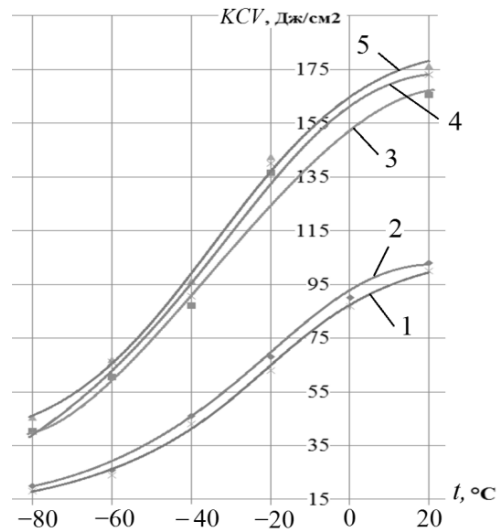


Рис. 3. Зависимость ударной вязкости стали 09Г2С при различной термической обработке (1 – образцы в поперечном направлении относительно наплавки, 2 – образцы в продольном направлении относительно наплавки и после 3 – отжиг 930°C, 4 – нормализация 930°C, 5 – закалка 930°C и отпуска 550°C)

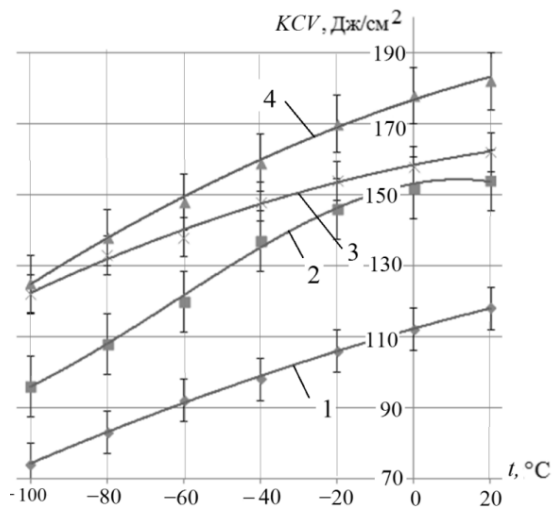


Рис. 4. Зависимость ударной вязкости стали 07Х25Н13 в исходном состоянии и после аустенизации (1- образцы в продольном направлении относительно наплавки, 2 – образцы в вырезанных в поперечном направлении относительно наплавки, 3- поперечные образцы, прошедшие аустенизацию 1100°C, 4- продольные образцы прошедшие аустенизацию 1100°C)

На основе полученных зависимостей ударной вязкости стали 09Г2С можно отметить, что исходная анизотропия ударной вязкости не превышает 8%. Ударная вязкость монотонно снижается при понижении температуры, достигая критически

низкого уровня (ниже 20 Дж/см<sup>2</sup>) при температуре 60°C. Термическая обработка позволяет значительно увеличить значения ударной вязкости во всем диапазоне температур. Наиболее эффективными видами термической обработки является закалка с высоким отпускком и нормализация, позволяющие добиться повышения ударной вязкости более чем в 1.7 раза. При этом анизотропия ударной вязкости после всех видов термической обработки не превышала 2%.

Полученные зависимости ударной вязкости сплава 07X25H13 показывают монотонное снижение ударной вязкости с понижением температуры. Однако даже при температуре -100°C уровень ударной вязкости остается на достаточно высоком уровне (выше 70 Дж/см<sup>2</sup>). Однако анизотропия ударной вязкости для сплава достаточно высокая во всем диапазоне температур и составляет порядка 30%. Термическая обработка за счет структурных изменений (рис. 2б) позволяет значительно повысить уровень ударной вязкости и значительно снизить анизотропия ударной вязкости до 10%.

На основании макроанализа изломов сплавов и последующих электронно-микроскопических исследований установлены температуры вязко-хрупкого перехода исследуемых сплавов. Результаты оценки приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Диапазон температур вязко-хрупкого перехода исследуемых сплавов**

Материал	Вид ТО, режим ТО/ направление вырезки образцов	Диапазон температур вязко-хрупкого перехода, T <sub>50</sub> , °C
Сталь 09Г2С	Продольные образцы без ТО	-34 ... -41
	Поперечные образцы без ТО	-32 ... -38
	Отжиг 930°C	-36 ... -44
	Нормализация 930°C	-39 ... -46
	Закалка 930°C, отпуск 550°	-41 ... -49
Сталь 07X25H13	Продольные образцы без ТО	Наблюдается только вязкая составляющая в изломе, вязко-хрупкий переход отсутствует
	Поперечные образцы без ТО	
	Продольные образцы после аустенизации 1100°C	
	Поперечные образцы после аустенизации 1100°C	

Анализ результатов по определению температур вязко-хрупкого перехода показывает, что для стали 07X25H13 вязко-хрупкого перехода не наблюдается как в исходном состоянии, так и после проведения термической обработки.

Для стали 09Г2С температура вязко-хрупкого перехода зависит от структурного состояния материала, т.е. термической обработки. Так, в исходном состоянии для исследуемого сплава диапазон температур вязко-хрупкого перехода находится в пределах от 32 до 41°C. Наименьшая температура вязко-хрупкого перехода наблюдается для сплава после закалки и высокого отпуска и не превышает 41°C.

### **Выводы по работе**

1. Структурное состояние сплавов 09Г2С и 07X25H13 сильно зависят от вида и режима последующей термической обработки. Термическая обработка после наплавки позволяет значительно понизить анизотропию ударной вязкости исследуемых сплавов.
2. При понижении температуры наблюдается монотонное снижение ударной вязкости исследуемых материалов. Сплав 09Г2С в исходном состоянии не рекомендуется

эксплуатировать при температуре ниже  $-35^{\circ}\text{C}$  в связи с высокой вероятностью его хрупкого разрушения и значительным снижением уровня ударной вязкости, особенно при температуре ниже  $-60^{\circ}\text{C}$ . Сплав 07X25H13 сохраняет достаточно высокий уровень ударной вязкости во всем исследуемом диапазоне температур и не имеет температуры вязко-хрупкого перехода.

3. Рекомендованным видом термообработки для стали 09Г2С выступает закалка с высоким отпуском или нормализация. При этом виде термообработки эксплуатация сплава безопасна до температур порядка  $-40^{\circ}\text{C}$ . Рекомендованным видом термообработки для стали 07X25H13 выступает аустенизация, значительно снижающая анизотропию свойств сплава (до 10%) и повышающая уровень ударной вязкости.

### Благодарности

Исследование выполнено по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (кандидатов наук) МК-370.2021.4 на тему «Оценка хладостойкости и изучение механизмов разрушения металлов, полученных на основе 3D-печати для обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов в условиях Арктики и Крайнего Севера»

### Список литературы

1. Malladi, Avinash and Sarma, S.B.S. 3D Metal Printing Technologies. The IUP Journal of Mechanical Engineering 10(1) (2017): 48-54.
2. Filippo Montevercchi, Giuseppe Venturini, Antonio Scippa, Gianni Campatelli. Finite Element Finite Element Modelling of Wire-arc-additive manufacturing Process. *Procedia CIRP* 55 (2016): 109–114. DOI:10.1016/j.procir.2016.08.024
3. S. Williams, Martina Filomeno, Addison Adrian, Ding Jialuo, G. Pardal, P. Colegrove. Wire+Arc Additive Manufacturing *Materials Science and Technology* 32(7) (2016): 641-647. DOI:10.1179/1743284715Y.0000000073
4. M.A. Jackson, A. Van Asten, J.D. Morrow, S. Min, F.E. Pfeifferkorn. Energy consumption model for additive-subtractive manufacturing processes with case study *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology* 5(4) (2018): 459-466. DOI:10.1007/s40684-018-0049-y
5. Pinto-Lopera Jesús Emilio et al. Real-Time Measurement of Width and Height of Weld Beads in GMAW Processes *Sensors* 16(9) (2016): 1500. DOI:10.3390/s16091500
6. Johnnieew Zhong Li, Mohd Rizal Alkahari, Nor Ana Rosli. Review of Wire Arc Additive Manufacturing for 3D Metal Printing *International Journal of Automation Technology* 13(3) (2019): 346-353. DOI:10.20965/ijat.2019.p 0346
7. Горынин И. В. Конструкционные материалы – важный компонент надежности и экологической безопасности инфраструктуры Арктики / Арктика: экология и экономика. 2015. № 3 (19). С. 82–87.
8. Солнцев Ю. П., Ермаков Б. С., Слепцов О. И. Материалы для низких и криогенных температур: энциклопедический справочник. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. 768 с.: ил. ISBN 978-5-93808-157-4.
9. Карташев М. Ф., Пермяков Г. Л., Трушников Д. Н., Миндибаев М. Р. Исследование влияния деформационного упрочнения на механические свойства образцов из сплава АМг5, полученных способом многослойной наплавки / *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2019. Том. 17. №3. С. 38-45. DOI: 10.18503/1995-2732-2019-17-3-38-45
10. Kabaldin, Y.G., Shatagin, D.A., Anosov, M.S. et al. Diagnostics of 3D Printing on a CNC Machine by Machine Learning *Russian Engineering Research* 41 (2021): 320–324. DOI:10.3103/S1068798X21040109
11. Кабалдин Ю.Г и др. Исследование влияния режимов 3D-печати на структуру и хладостойкость стали 08Г2С / Кабалдин Ю.Г., Аносов М.С., Рябов Д.А., Колчин П.В., Шатагин Д.А., Киселев А.В. // Вестник Магнитогорского государственного

технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. № 4. С. 64–70.  
DOI:10.18503/1995-2732-2021-19-4-64-70

#### References

1. Malladi, Avinash and Sarma, S.B.S. 3D Metal Printing Technologies. The IUP Journal of Mechanical Engineering 10(1) (2017): 48-54.
2. Filippo Montevercchi, Giuseppe Venturini, Antonio Scippa, Gianni Campatelli. Finite Element Finite Element Modelling of Wire-arc-additive manufacturing Process. Procedia CIRP 55 (2016): 109–114. DOI:10.1016/j.procir.2016.08.024
3. S. Williams, Martina Filomeno, Addison Adrian, Ding Jialuo, G. Pardal, P. Colegrove. Wire+Arc Additive Manufacturing Materials Science and Technology 32(7) (2016): 641-647. DOI:10.1179/1743284715Y.0000000073
4. M.A. Jackson, A. Van Asten, J.D. Morrow, S. Min, F.E. Pfefferkorn. Energy consumption model for additive-subtractive manufacturing processes with case study International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology 5(4) (2018): 459-466. DOI:10.1007/s40684-018-0049-y
5. Pinto-Lopera Jesús Emilio et al. Real-Time Measurement of Width and Height of Weld Beads in GMAW Processes Sensors 16(9) (2016): 1500. DOI:10.3390/s16091500
6. Johnnieew Zhong Li, Mohd Rizal Alkahari, Nor Ana Rosli. Review of Wire Arc Additive Manufacturing for 3D Metal Printing International Journal of Automation Technology 13(3) (2019): 346-353. DOI:10.20965/ijat.2019.p.0346
7. Gorynin I.V. «Konstruktsionnyye materialy – vazhnyy komponent nadezhnosti i ekologicheskoy bezopasnosti infrastruktury Arktiki» (Structural materials are an important component of the reliability and environmental safety of the Arctic infrastructure) Arktika: ekologiya i ekonomika 3(19) (2015): 82–87.
8. Solntsev Yu. P., Ermakov B. S., Sleptsov O. I. Materialy dlya nizkikh i kriogennykh temperatur: entsiklopedicheskiy spravochnik. SPb.: KHIMIZDAT, 2008. 768 p.
9. Kartashev M. F., Permyakov G. L., Trushnikov D. N., Mindibaev M. R. «Issledovaniye vliyaniya deformatsionnogo uprochneniya na mekhanicheskiye svoystva obraztsov iz splava AMg5, poluchennykh sposobom mnogosloynoy naplavki» (Investigation of the influence of strain hardening on the mechanical properties of specimens from the AMg5 alloy obtained by the method of multilayer surfacing). Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova 17(3) (2019): 38-45. DOI: 10.18503/1995-2732-2019-17-3-38-45
10. Kabaldin, Y.G., Shatagin, D.A., Anosov, M.S. et al. Diagnostics of 3D Printing on a CNC Machine by Machine Learning Russian Engineering Research 41 (2021): 320–324. DOI:10.3103/S1068798X21040109
11. Kabaldin Yu.G., Anosov M.S., Ryabov D.A. et al. «Issledovaniye vliyaniya rezhimov 3D-pechati na strukturu i khladostoykost' stali 08G2S» (Study of the influence of 3D printing modes on the structure and cold resistance of steel 08Mn2Si) Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova 19(4) (2021): 64–70. DOI:10.18503/1995-2732-2021-19-4-64-70

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

**Кабалдин Юрий Георгиевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроения», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: uru.40@mail.ru

**Yuri G. Kabaldin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology and Equipment of Mechanical Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 603950, e-mail: uru.40@mail.ru

**Аносов Максим Сергеевич**, к.т.н., доцент кафедры «Технология и оборудование

**Maksim S. Anosov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the

машиностроения», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: anosov-maksim@list.ru

**Рябов Дмитрий Александрович**, ассистент кафедры «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: ryabovdm1996@gmail.com

**Шатагин Дмитрий Александрович**, к.т.н., доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроения», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: dmitsanych@gmail.com

**Хлыбов Александр Анатольевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: hlybov\_52@mail.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

Department of Technology and Equipment for Mechanical Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 603950  
e-mail: anosov-maksim@list.ru

**Dmitry A. Ryabov**, Assistant of the Department of Materials Science, Materials Technology and Heat Treatment of Metals, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 603950  
e-mail: ryabovdm1996@gmail.com

**Dmitry A. Shatagin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Equipment for Mechanical Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 603950,  
e-mail: dmitsanych@gmail.com

**Alexander A. Khlybov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Materials Science, Materials Technology and Heat Treatment of Metals, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 603950,  
e-mail: hlybov\_52@mail.ru

**Yuri I. Matveev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Operation of Ship Power Plants, Volga State University of Water Transport, 603951,  
e-mail: matveeveseu@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.02.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 15.02.2022; published online 21.03.2022.

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi70.234

## **Обоснование главных размерений тримарана из условия пассажировместимости в задачах исследовательского проектирования**

**А.Э. Корепанов<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0894-0799>

**Е.П. Роннов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** В статье приводится исследование зависимости между пассажировместимостью и главными размерениями пассажирских судов-тримаранов. Состояние данного вопроса на сегодня недостаточно изучено т.к. нет методики, позволяющей определить, какими будут главные размерения центрального корпуса и аутригеров и их расположении относительно друг друга по длине и ширине судна в зависимости от необходимого размещения пассажиров на судне. Областью исследования является проектирование судов, в частности – проектирование пассажирских судов-тримаранов, а объектом является определение главных размерений судна-тримарана из условия обеспечения пассажировместимости. В статье отражены архитектурно-конструктивные особенности судна-тримарана в зависимости от расположения на нем аутригеров. На основании анализа данных получены зависимости для определения главных размерений корпуса тримарана исходя из расположения на нем заданного числа пассажиров.

**Ключевые слова:** судно-тримаран, аутригеры, пассажировместимость, размерения судна, площадь пассажирского салона, уровень комфортабельности, площадь занимаемая пассажирскими креслами.

## **Substantiation of the trimaran main dimensions from the passenger capacity condition in the research design tasks**

**Alexey E. Korepanov<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0894-0799>

**Evgeniy P. Ronnov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The article presents a study of the relationship between passenger capacity and the main dimensions of the passenger vessels-trimarans. The state of this issue has not been sufficiently studied today because there is no methodology to determine what the main dimensions of the central hull and outriggers will be and their location relative to each other along the length and the width of the vessel, depending on the necessary passenger accommodation on the vessel. The field of research is the design of ships, in particular the design of the passenger trimaran vessels, and the object is to determine the main dimensions of the trimaran vessel from the conditions of passenger capacity. The article reflects the architectural and design features of the trimaran vessel, depending on the location of outriggers on the vessel. Based on the data analysis, dependencies were obtained to determine the main dimensions of the trimaran hull based on the location of a given number of passengers on the vessel.

**Keywords:** trimaran vessel, outriggers, passenger capacity, dimensions of the vessel, passenger compartment area, comfort level, passenger seats' area.

### Введение

Одним из основных вопросов для скоростных пассажирских судов-тримаранов является обоснование их главных размерений из условия размещения необходимого количества пассажиров [1]. При решении этой задачи необходимо учитывать как архитектурно-конструктивные особенности тримаранов [2], [3], так и возможные варианты оптимального расположения пассажирских мест в пассажирском салоне [4]-[6].

Архитектурно-конструктивные особенности тримарана прежде всего связаны с наличием аутригеров [7], которые могут различно располагаться относительно центрального корпуса как по длине, так и по ширине судна (см. рис. 1), что влияет на расположение пассажирского салона и его размеры.

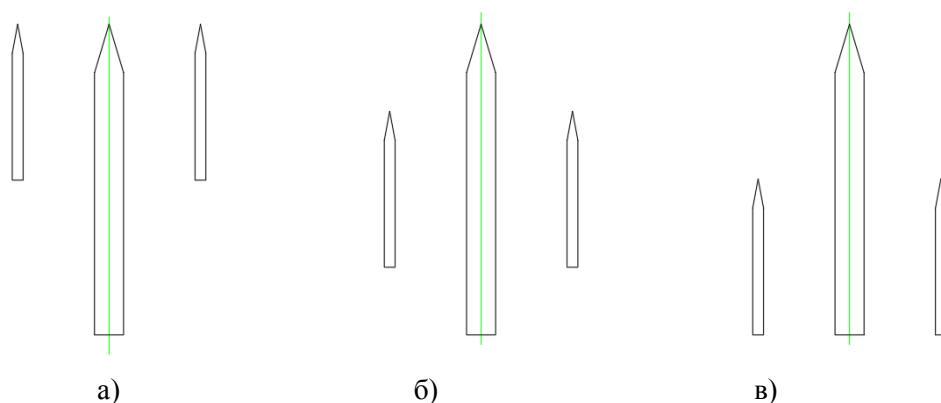


Рис. 1. Схема возможного расположения аутригеров относительно центрального корпуса тримарана: а) носовое; б) центральное; в) кормовое

При большой пассажировместимости эти суда могут иметь двухъярусную надстройку [8], [9]. Размещение пассажиров, как правило, производится в общих пассажирских салонах с предоставлением места для сидения [10], [11]. Это обусловлено тем, что скоростные пассажирские суда работают на сравнительно коротких линиях, обслуживая так называемых «деловых» пассажиров [12]-[14].

В настоящее время отсутствует методика, позволяющая определять главные размерения тримарана в зависимости от заданной пассажировместимости при различном расположении аутригеров относительно центрального корпуса, принимаемого из условия обеспечения надлежащего уровня мореходных качеств судна.

### Методы и результаты

Преимуществом судов-тримаранов является их большая (общая) площадь палуб  $S_0$ .

У тримаранов с одноярусной надстройкой общая площадь палуб  $S_0$  включает в себя площадь надстройки  $S_n$  и служебную  $S_{сл}$ :

$$S_0 = S_n + S_{сл} \quad (1)$$



Служебная площадь состоит из площади для размещения судовых устройств, палубных механизмов и палубных пространств необходимых для обслуживания данных устройств и перемещения пассажиров:

$$S_{сл} = S_{су} + S_M + S_{пп} \quad (2)$$

где,  $S_{су}$  – площадь судовых устройств;

$S_M$  – площадь палубных механизмов;

$S_{пп}$  – площадь палубных пространств.

Площадь надстройки  $S_n$  используется для размещения в пассажирском салоне пассажиров, экипажа, а также служебных помещений:

$$S_n = S_{пс} + S_э + S_{сн} \quad (3)$$

где,  $S_{пс}$  – площадь пассажирского салона;

$S_э$  – площадь для размещения экипажа;

$S_{сн}$  – площадь служебных помещений расположенных в надстройке.

В пассажирском салоне наряду с пассажирскими креслами предусматривается багажное отделение, санитарно-гигиенические помещения, буфет. Тогда площадь пассажирского салона  $S_{пс}$  [15], [16] составит следующую сумму площадей:

$$S_{пс} = S_n + S_{бo} + S_{сг} + S_б \quad (4)$$

где,  $S_n$  – площадь для размещения пассажиров;

$S_{бo}$  – площадь багажного отделения;

$S_{сг}$  – площадь санитарно-гигиенических помещений;

$S_б$  – площадь буфета.

Площадь надстройки, занимаемая экипажем  $S_{эк}$ , включает в себя площадь дежурного помещения, санитарно-гигиенических помещений, хозяйственных и судовых кладовых:

$$S_э = S_{эд} + S_{эг} + S_{эк} \quad (5)$$

где,  $S_{эд}$  – площадь дежурного помещения;

$S_{эг}$  – площадь санитарно-гигиенических помещений;

$S_{эк}$  – площадь хозяйственных и судовых кладовых.

К служебным помещениям в надстройке относят рулевую рубку и машинное отделение:

$$S_{сн} = S_{рр} + S_{мо} \quad (6)$$

где,  $S_{рр}$  – площадь рулевой рубки;

$S_{мо}$  – площадь части машинного отделения, расположенного на главной палубе в надстройке.

Площадь для размещения пассажиров в пассажирском салоне включает в себя сумму площадей, приходящихся на одного пассажира в салоне с местами для сидения [17], площадь магистральных проходов в пассажирском салоне и площадь зазоров между креслом и внутренней стенкой надстройки:

$$S_n = \sum S_i + S_{мп} + S_з \quad (7)$$

где,  $S_i$  – площадь, приходящаяся на одного пассажира;

$S_{мп}$  – площадь магистральных проходов в салоне;

$S_з$  – площадь зазоров между креслом и внутренней стенкой надстройки.

Площадь, приходящаяся на одного пассажира с местами для сидения в салонах разного класса, регламентируется санитарными нормами и зависит от условий

эксплуатации, длительности рейса, степени комфорта<sup>1</sup>. Для отечественных и зарубежных скоростных пассажирских судов это значение  $S_i$  колеблется в пределах 0,36-0,65 (см. рис. 2).

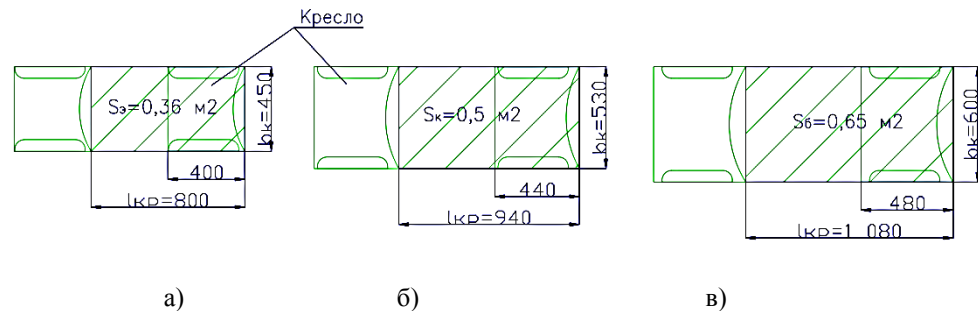


Рис. 2. Площадь, приходящаяся на одного пассажира в салоне разного класса: а) эконом-класса; б) комфорт-класса; в) бизнес-класса

Проведя статистический анализ данных площадей, приходящихся на одного пассажира, с местами для сидения в салоне разного класса на скоростных судах, таких как «Валдай-45Р», «Метеор-120Р», «Комета», «Dolphin Ulsan», «Benchijigua», «Condor Liberation», «White Rabbit», «Fantome Cat», «Red Jet 7», «Ocean Wave», отвечающим требованиям Правил, применяемых к судам внутреннего и смешанного (река-море) плавания, а также на авиационном<sup>2</sup> и железнодорожном транспорте<sup>3</sup>, была принята усредненная площадь для пассажирских судов-тримаранов, приходящаяся на одного пассажира из расчета уровня комфортабельности, которая составила 0,5 м<sup>2</sup> с размерами кресел комфорт-класса и расстояния между рядами кресел 0,94м.

Ширина пассажирского салона  $V_c$  может быть найдена исходя из числа кресел в ряду между продольными проходами, числа продольных проходов, а также величины зазоров между крайними в ряду креслами и стенками салона:

$$V_c = n_k \times b_k \times (n_n + 1) + b_n \times n_n \quad (8)$$

где,  $b_k$  – ширина кресла;

$n_k$  – количество кресел в ряду между продольными проходами;

$b_n$  – ширина продольного прохода;

$n_n$  – количество продольных проходов;

Ширина надстройки  $V_n$  определяется шириной пассажирского салона и коэффициентом, учитывающим величину между крайними в ряду креслами и стенками надстройки:

$$V_n = V_c \times k_n \quad (9)$$

где,  $k_n$  – коэффициент, учитывающий величину между крайними в ряду креслами и стенками надстройки обусловленный наличием книц и набора надстройки, и как правило составляет не более 5% от ширины пассажирского салона  $V_c$ .

На рисунке 3 в качестве примера показано расположение пассажирских мест в салоне в зависимости от количества проходов с четырьмя креслами.

1 <https://www.nauticexpo.ru/prod/west-mekan/product-31805-572694.html>

2 <https://aviatrap.ru/aircrafts/airbus/30-aircrafts/airbus/118-airbus-a320-seating-plan>

3 <https://studfile.net/preview/6188354/>

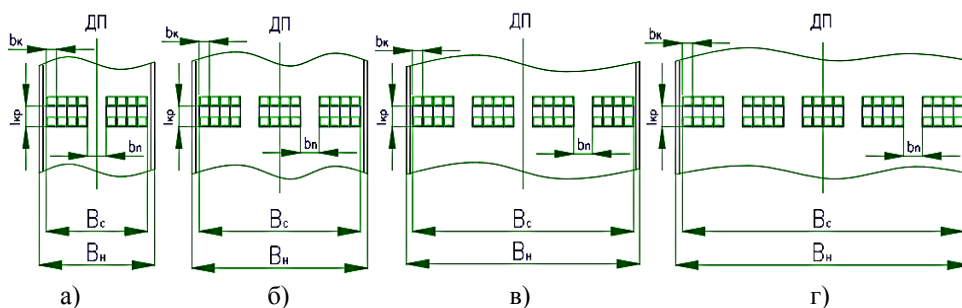


Рис. 3. Схемы расположения кресел в пассажирском салоне в зависимости от количества продольных проходов: а) один проход; б) два прохода; в) три прохода; г) четыре прохода

Длина надстройки  $L_n$  определяется необходимой длиной пассажирского салона и длиной служебной части надстройки, в которой размещается экипаж и санитарно-гигиенические, хозяйственные и ботовые помещения для него, а также общесудовые служебные помещения (ходовая рубка, палубная часть машинного отделения):

$$L_n = L_c + L_{сл} \quad (10)$$

где,  $L_c$  – длина пассажирского салона;  
 $L_{сл}$  – длина служебной части надстройки.

Длина пассажирского салона, то есть пассажирской части надстройки можно определить исходя из заданной пассажировместимости, принятой схемой размещения кресел в одном ряду и дополнительной площадью в соответствии с условием (4):

$$L_c = [n_1/n_k \times (n_p + 1)] \times l_{кр} \times k_d = \sum L_m \times k_d \quad (11)$$

где,  $n_1$  – пассажировместимость по количеству пассажиров на главной палубе;  
 $l_{кр}$  – расстояние между рядами (спинками) кресел (см. рис. 3);  
 $k_d$  – коэффициент, учитывающий дополнительные площади по условию (4);  
 $\sum L_m$  – суммарная длина пассажирских мест.

Проанализировав ряд скоростных пассажирских судов-тримаранов и катамаранов, в число которых входили такие суда-тримараны как «Dolphin Ulsan», «Benchijigua», «Condor Liberation» и катамараны, такие как «Fantome Cat», «Red Jet 7», «Ocean Wave» были получены зависимости между: длиной корпуса тримарана, длиной надстройки, длиной пассажирского салона и суммарной длиной пассажирских мест. Зависимость этих соотношений относится только к первому ярусу, расположенному на главной палубе.

Тогда значение коэффициента  $k_d$  принимается равным  $k_d = 1,2-1,3$  (см. табл. 1), полученного путем статистического анализа.

Таблица 1

Характеристики скоростных пассажирских судов-тримаранов и катамаранов

Название судна	$L_K, \text{ м}$	$L_H, \text{ м}$	$L_C, \text{ м}$	$\sum L_M, \text{ м}$	$k_K=L_K/L_H$	$k_H=L_H/L_C$	$k_d=L_C/\sum L_M$
Тримараны							
Dolphin Ulsan	55	35,7	32,7	27	1,54	1,09	1,21
Benchijigua	126,7	73,4	67,5	58,2	1,73	1,09	1,16
Condor Liberation	102	64,5	57	46,1	1,58	1,13	1,24
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ	-	-	-	-	1,62	1,10	1,20
Катамараны							
Fantome Cat	31,7	24,1	19,4	14,9	-	1,24	1,30
Red Jet 7	40,7	30	26,6	21	-	1,13	1,27
Ocean Wave	26,5	19,8	14,2	10,7	-	1,39	1,33
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ	-	-	-	-	-	1,25	1,30

Если тримаран по архитектурно-конструктивному типу имеет двухъярусную пассажирскую надстройку, то пассажировместимость на главной палубе может быть принята по выражению:

$$n_1 = k_n \times n_{\text{пас}} \tag{12}$$

где,  $n_{\text{пас}}$  – заданная общая пассажировместимость;

$k_n$  – коэффициент палубности, принимается  $k_n=0,65-0,7$  – при двухъярусной надстройке, и  $k_n=1$  – при одноярусной.

При постоянной ширине надстройки длина ее служебной части однозначно должна соответствовать площадям, занимаемым экипажем и служебным помещениям (выражение 5 и 6).

Тогда среднюю длину надстройки можно принять равной:

$$L_H = L_C \times k_n \tag{13}$$

где,  $k_n = 1,1-1,25$  – коэффициент, учитывающий общую длину надстройки.

Ширина тримарана однозначно определяется расположением аутригеров по ширине относительно центрального корпуса, принимаемого как вариантный параметр по условию минимума гидродинамического сопротивления.

Длина тримарана определяется длиной его центрального корпуса и зависит от средней длины надстройки и расположения аутригеров по длине (см. рис. 4).

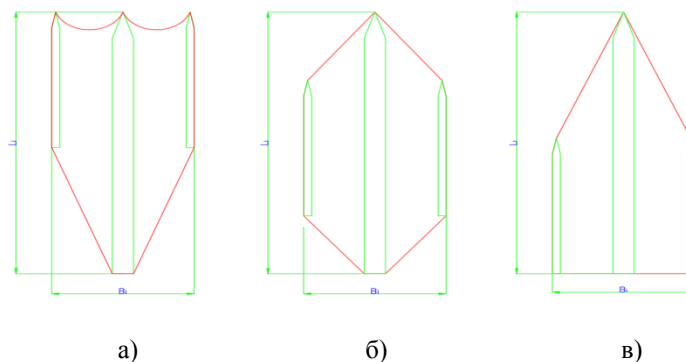


Рис. 4. Схема общей площади палуб при: а) носовом расположении аутригеров; б) центральном расположении аутригеров; в) кормовом расположении аутригеров

Численное моделирование возможного расположения площадей палуб при этих вариантах показало, что влияние расположения аутригеров незначительно и на стадиях исследовательского проектирования может не учитываться. Тогда длину центрального корпуса  $L_k$  можно принимать только в зависимости от длины надстройки:

$$L_k = L_n \times k_k \quad (14)$$

где,  $k_k$  – коэффициент, учитывающий отличие длины центрального корпуса от необходимой длины надстройки.

По статистическим данным (табл. 1) и результатам численного моделирования коэффициент, учитывающий отличие длины центрального корпуса от необходимой длины надстройки, может быть принят  $k_k = 1,62$ .

### **Заключение**

Результаты анализа позволяют сформулировать следующие выводы:

установлена зависимость между пассажироместимостью и главными размерениями тримарана, которая может быть использована на этапе исследовательского проектирования при оптимизации проектных характеристик пассажирских судов- тримаранов;

предложено выражение для определения размеров пассажирского салона в зависимости от пассажироместимости и конфигурации расположения в нем пассажирских кресел и их рядов;

получена статистическая зависимость между длиной корпуса тримарана, длиной надстройки, длиной пассажирского салона и суммарной длиной пассажирских мест;

проанализирован размер площади, приходящейся на одного пассажира в салонах с местами для сидения на скоростных судах, авиационном и железнодорожном транспорте и принято значение данной удельной характеристики для судов-тримаранов.

### **Список литературы**

1. Леви Б. З. Пассажирские суда прибрежного плавания. Л.: Судостроение. 1975. 320 с.
2. Federico Cavallaro, Silvio Nocera. Integration of passenger and freight transport: A concept-centric literature review. *Research in Transportation Business & Management*. Available online 30 September 2021. 100718.
3. Francesco Bruzzone, Federico Cavallaro, Silvio Nocera. The integration of passenger and freight transport for first-last mile operations. *Transport Policy*. Volume 100. January 2021. Pp. 31-48.
4. Семин А. А. Классификация способов оценки комфортабельности, как составляющий элемент проектирования судов и организации обслуживания пассажиров // *Вестник Одесского национального морского университета*. 2013. № 1. С. 180-187.
5. Семин А. А. Влияние комфортабельности на выбор главных размерений пассажирских круизных судов внутреннего и смешанного плавания // *Вестник Одесского национального морского университета*. 2005. Выпуск 17. С. 39-45.
6. Alessandro Carchen, Tomaso Gaggero, Giovanni Besio, Alessandro Mazzino, Diego Villa. A method for the probabilistic assessment of the on-board comfort on a passenger vessel route. *Ocean Engineering*. Volume 225. 1 April 2021. 108702.
7. Роннов Е. П., Корепанов А.Э. Тримараны: состояние и перспективы развития // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. 2019. № 60. С. 92-97.
8. Jerolim Andric, Pero Prebeg, Marin Palaversa, Vedran Zanic. Influence of different topological variants on optimized structural scantlings of passenger ship. *Marine Structures*. Volume 78. July 2021. 102981.

9. Diane Royal, Sharon R. Roseman. Co-passenger and the gendering of a mobile ferry space. *Journal of Transport Geography*. Volume 92. April 2021. 103000.
10. José I. Castillo-Manzano, Lourdes López-Valpuesta. What does cruise passengers' satisfaction depend on? Does size really matter? *International Journal of Hospitality Management*. Volume 75. September 2018. Pp. 116-118.
11. James Mak, Christopher Sheehy, Shannon Toriki. The passenger vessel services act and America's cruise tourism industry. *Research in Transportation Economics*. Volume 26. Issue 1. 2010. Pp. 18-26.
12. Wayne K. Talley. Passenger Ferry Vessels and Cruise Ships: Safety and Security. *International Encyclopedia of Transportation*. 2021. Pp. 290-295.
13. Claudio Ferrari, Alessio Tei. Maritime Company Passenger Management/Liner Industry. *International Encyclopedia of Transportation*. 2021. Pp. 587-592.
14. Нгуен Г. Х., Некрасов В. А. Определение количества перевезенных пассажиров и продолжительности прямого сложного рейса быстроходного пассажирского судна с учетом стохастических факторов // *Вестник НУК*. 2013. № 1. С. 27-29.
15. Ашик В. В. Проектирование судов. Ленинград.: Издательство «Судостроение». 1985. 320 с.
16. Роннов Е. П. Проектирование судов внутреннего плавания. Нижний Новгород.: Издательство ФГОУ ВПО «ВГАВТ». 2009. 288 с.
17. Ваганов А. М. Проектирование скоростных судов. Ленинград.: Издательство «Судостроение», 1978. 279 с.

#### References

1. Levi B. Z. Passazhirskie suda pribrezhnogo plavaniya [Coastal passenger vessels]. L.: Sudostroenie. 1975. 320 s.
2. Federico Cavallaro, Silvio Nocera. Integration of passenger and freight transport: A concept-centric literature review. *Research in Transportation Business & Management*. Available online 30 September 2021. 100718.
3. Francesco Bruzzone, Federico Cavallaro, Silvio Nocera. The integration of passenger and freight transport for first-last mile operations. *Transport Policy*. Volume 100. January 2021. Pp. 31-48.
4. Semin A. A. Klassifikatsiya sposobov otsenki komfortabel'nosti, kak sostavlyayushchii element proektirovaniya sudov i organizatsii obsluzhivaniya passazhirov [Classification of comfort assessment methods as a component element of ship design and passenger service organization] *Vestnik Odesskogo natsional'nogo morskogo universiteta*. 2013. № 1. S. 180-187.
5. Semin A. A. Vliyanie komfortabel'nosti na vybor glavnykh razmerenii passazhirskikh kruiznykh sudov vnutrennego i smeshannogo plavaniya [The influence of comfort on the choice of the main dimensions of passenger cruise ships of domestic and mixed navigation] *Vestnik Odesskogo natsional'nogo morskogo universiteta*. 2005. Vypusk 17. S. 39-45.
6. Alessandro Carchen, Tomaso Gaggero, Giovanni Besio, Alessandro Mazzino, Diego Villa. A method for the probabilistic assessment of the on-board comfort on a passenger vessel route. *Ocean Engineering*. Volume 225. 1 April 2021. 108702.
7. Ronnov E. P., Korepanov A.EH. Trimaran: sostoyanie i perspektivy razvitiya [Trimaran: state and prospects of development] *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta*. 2019. № 60. S. 92-97.
8. Jerolim Andric, Pero Prebeg, Marin Palaversa, Vedran Zanic. Influence of different topological variants on optimized structural scantlings of passenger ship. *Marine Structures*. Volume 78. July 2021. 102981.
9. Diane Royal, Sharon R. Roseman. Co-passenger and the gendering of a mobile ferry space. *Journal of Transport Geography*. Volume 92. April 2021. 103000.
10. José I. Castillo-Manzano, Lourdes López-Valpuesta. What does cruise passengers' satisfaction depend on? Does size really matter? *International Journal of Hospitality Management*. Volume 75. September 2018. Pp. 116-118.

11. James Mak, Christopher Sheehey, Shannon Toriki. The passenger vessel services act and America's cruise tourism industry. *Research in Transportation Economics*. Volume 26. Issue 1. 2010. Pp. 18-26.
12. Wayne K. Talley. Passenger Ferry Vessels and Cruise Ships: Safety and Security. *International Encyclopedia of Transportation*. 2021. Pp. 290-295.
13. Claudio Ferrari, Alessio Tei. Maritime Company Passenger Management/Liner Industry. *International Encyclopedia of Transportation*. 2021. Pp. 587-592.
14. Nguen G. X., Nekrasov V. A. Opredelenie kolichestva perevezennykh passazhirov i prodolzhitel'nosti pryamo-go slozhnogo reisa bystrokhodnogo passazhirskogo sudna s uchetom stokhasticheskikh faktorov [Determination of the number of passengers transported and the duration of a direct complex voyage of a high-speed passenger vessel, taking into account stochastic factors] *Vestnik NUK*. 2013. № 1. S. 27-29.
15. Ashik V. V. Proektirovanie sudov [Ship design]. Leningrad.: Izdatel'stvo «SudostroeniE». 1985. 320 s.
16. Ronnov E. P. Proektirovanie sudov vnutrennego plavaniya [Design of inland navigation vessels]. Nizhnii Novgorod.: Izdatel'stvo FGOU VPO «VGAVT». 2009. 288 s.
17. Vaganov A. M. Proektirovanie skorostnykh sudov [Design of high-speed vessels]. Leningrad.: Izdatel'stvo «SudostroeniE», 1978. 279 s.

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

**Корепанов Алексей Эдуардович**, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, Россия, e-mail: a.e.korepanov@yandex.ru

**Alexey E. Korepanov**, graduate student, Volga State University of Water Transport, 603951, Nizhny Novgorod, Nesterova, 5, Russian Federation, e-mail: a.e.korepanov@yandex.ru

**Роннов Евгений Павлович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, Россия, e-mail: eronnov@mail.ru

**Evgeniy P. Ronnov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Shipbuilding Design and Technology Department, Volga State University of Water Transport, 603951, Nizhny Novgorod, Nesterova, 5, Russian Federation, e-mail: eronnov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.01.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 18.01.2022; published online 21.03.2022.

УДК: 620.193.16

DOI: 10.37890/jwt.vi70.235

## **Механизм воздействия на поверхность материалов при изнашивании в условиях ультразвуковой кавитации**

**Я. О. Фиактистов<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1800-5569>

**Ю. Н. Цветков<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2089-1299>

<sup>1</sup>*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», г. Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** Проведены две серии опытов на отожжённых сплавах: технической меди, латуни Л60 и алюминиевом сплаве АМг4,0. В первой серии цилиндрические образцы из указанных материалов сначала осаживали на прессе до разных степеней деформации, затем разрезали образцы и измеряли их микротвёрдость в районах, примыкающих к центру образца. По результатам первой серии опытов строили калибровочные графики – зависимости микротвёрдости от интенсивности деформаций. Во второй серии экспериментов проводили испытания этих же сплавов на кавитационное изнашивание на ультразвуковом магнитострикционном вибраторе в пресной воде при частоте колебаний концентратора равной 22 кГц и амплитуде колебаний его торца около 28 мкм. В течение инкубационного периода изнашивания проводили регистрацию максимально достижимого значения микротвёрдости. По полученному максимальному значению микротвёрдости с калибровочных графиков «снимали» значение критической степени деформации, соответствующее началу разрушения поверхности при кавитационном воздействии. Указанное значение деформации позволило произвести оценку жёсткости напряжённого состояния поверхности металлов при кавитационном воздействии на ультразвуковом магнитострикционном вибраторе. Полученные значения коэффициентов жёсткости напряжённого состояния позволили сделать вывод, что кавитационное воздействие на поверхность материала при его испытании на ультразвуковом магнитострикционном вибраторе осуществляется посредством ударов микроструй.

**Ключевые слова:** кавитационное изнашивание, ультразвуковой магнитострикционный вибратор, латунь, техническая медь, алюминиево-магниевый сплав, инкубационный период изнашивания, пластическая деформация, упрочнение металла, ударные волны, микроструйки.

## **Mechanism of the attack on metal surface in wear under ultrasonic cavitation**

**Yaroslav O. Fiaktistov<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1800-5569>

**Yuriy N. Tsvetkov<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2089-1299>

<sup>1</sup>*Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education «Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping», Saint-Petersburg, Russia*

**Abstract.** Two series of tests of annealed metal materials — copper, brass L60 and aluminum-magnesium alloy AMg4,0 — were carried out. The first series consists firstly in upsetting the cylindrical samples of the listed above alloys on a press to a different strain rate, then cutting the deformed samples and measuring the microhardness of the area



adjacent to the center of the samples. The first series results in constructing the calibration plots of microhardness as a function of strain. During the second series the tests of the same materials for cavitation wear in the fresh water on the ultrasonic vibratory apparatus were carried out. The frequency and the amplitude of the apparatus horn vibration were 22 kHz and 28  $\mu\text{m}$  respectively. The microhardness of the surface samples exposed to cavitation attack was measured after the definite time periods within the incubation period and the maximum value of microhardness was registered. Marking the maximum microhardness value on the calibration plot yields the strain rate reached on the surface under cavitation attack before the removal of wear particles begins. On the basis of the found values of the strain the stress state rigidity of the surface layers under cavitation attack was evaluated. The obtained coefficients of stress state rigidity allowed drawing the conclusion, that cavitation attack on the material being tested on the ultrasonic vibratory apparatus occurs through the microjets impacts.

**Keywords:** cavitation wear, mechanism of cavitation attack, ultrasonic vibratory apparatus, brass, technical copper, aluminum-magnesium alloy, incubation period of wear, plastic deformation, cold-working of metal, shock waves, microjets.

### **Введение**

Кавитационное изнашивание — разрушение поверхности в потоке жидкости при ударах струй или воздействии ударных волн, образующихся при схлопывании кавитационных каверн — может быть серьёзным препятствием для эффективной эксплуатации судового оборудования. Кавитационный износ возникает на водоохлаждаемых поверхностях втулок и блоков цилиндров судовых высокооборотных дизелей [1, 2] и является частой причиной ремонта элементов судового движительного комплекса — лопастей и направляющих насадок гребных винтов [3, 4]. Перечисленные элементы судового оборудования относятся к ответственным элементам, от состояния которых зависит безопасность плавания судна. Поверхность очагов кавитационного износа на лопастях винтов имеет рваный рельеф, поэтому очаги износа могут снижать КПД гребных винтов в случае возникновения их в концевых сечениях лопастей или прочность движителя при возникновении износа в корне лопасти. На поверхностях втулок цилиндров кавитационный износ представляет собой скопление отдельных очень глубоких язвин, глубина которых может достигать половины толщины втулки, что чревато нарушением герметичности рабочего пространства цилиндра и, как следствие, возникновением аварийной ситуации. Основной путь снижения и предотвращения кавитационного износа — увеличение износостойкости материалов, применяемых для изготовления и ремонта изнашиваемых элементов судового оборудования [5–9]. Однако успешная реализация указанного направления зависит от правильного выбора режимов лабораторных испытаний на кавитационный износ разрабатываемых материалов

В настоящее время такие испытания проводят чаще всего в условиях вибрационной кавитации на ультразвуковых магнитострикционных вибраторах (МСВ) [10]. Однако до сих пор не выяснены все особенности испытаний на МСВ: открытым остаётся вопрос, каким образом осуществляется перенос энергии от кавитационного облака к поверхности изнашиваемого сплава. Например, в работах [11] и [12] был проведён анализ энергии и характера импульсов давления, измеренного с помощью миниатюрных датчиков, установленных под торец концентратора, при этом выводы получились разными. Авторы работы [11] пришли к заключению, что основной механизм переноса энергии от кавитационного облака к поверхности — ударные волны от кооперативного схлопывания пузырьков. Тогда как

в работе [12] утверждается, что разрушение производится вследствие ударов микроструй от отдельно схлопывающихся пузырьков.

Вопрос о механизме кавитационного воздействия на ультразвуковом МСВ важен для обоснованного выбора установки для проведения испытаний судостроительных сплавов на кавитационный износ, а также для объяснения многих эффектов, сопровождающих процесс кавитационного изнашивания на МСВ.

Цель работы — анализ механизма передачи энергии от кавитационной зоны к поверхности, подвергающейся изнашиванию в условиях ультразвуковой кавитации на МСВ.

### **Выбор метода исследования**

В представленной работе использовали подход, изложенный в работе [13], т. е. проводился анализ механизма передачи энергии кавитационной зоны к поверхности металла по реакции металла на кавитационное воздействие. Такой подход обусловлен тем, что непосредственное определение механизма передачи энергии в условиях, когда осуществляется кооперативное схлопывание множества пузырьков, невозможно.

Как известно, на начальной стадии кавитационного изнашивания металлических материалов, называемой инкубационным периодом, потерь массы практически нет. На этой стадии происходит упрочнение поверхностных слоёв. И именно характер упрочнения металла в пределах инкубационного периода, т. е. до начала отделения частиц износа может пролить свет на механизм воздействия на поверхность со стороны кавитационного облака. Известно, что по сравнению со статическим приложением нагрузки, силовое воздействие с ультразвуковой частотой изменяет характер пластического течения металла. Например, деформирование металла незакреплёнными (свободными) шариками (без применения прижимного усилия), ударяющими по поверхности с ультразвуковой частотой [14], ведёт к большему повышению твёрдости, а упрочнение получается более равномерным и стабильным по сравнению со статическим прижатием индентора к поверхности. В машиностроении широко применяются технологии обработки, основанные на приложении ультразвуковых колебаний к деформирующему или режущему инструменту [15]. Ультразвуковые колебания повышают подвижность дислокаций, появляется возможность их «переползания» из заблокированных плоскостей скольжения [16], как следствие, пластическая деформация сопровождается более существенным повышением плотности дислокаций, а значит и твёрдости, так как с увеличением плотности дислокаций твёрдость увеличивается [17].

При кавитационном изнашивании имеет место повторяющееся ударное воздействие струй (или волн) на поверхность, при этом при каждом ударе возникают большие пластические деформации, которые постепенно накапливаются до достижения критической величины, при которой происходит образование трещин и последующее отделение частиц износа. То есть, по сути, пластическое деформирование происходит не непрерывно, как при традиционном статическом нагружении, например сжатии, а разбивается на отдельные шаги. Сравнивая максимальную степень упрочнения — её можно оценить, измеряя микротвёрдость поверхности — при кавитационном воздействии на МСВ и при статическом одноосном сжатии, можно сделать вывод о том, с какой частотой происходит нагружение поверхности при испытании на ультразвуковом МСВ и, как следствие, о механизме кавитационного воздействия на поверхность.

Таким образом, для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие задачи:

- получить зависимость изменения микротвёрдости металла в течение инкубационного периода кавитационного воздействия на ультразвуковом МСВ и определить максимально достижимое в пределах инкубационного периода значение микротвёрдости;
- построить зависимость микротвёрдости от степени деформации при статическом сжатии образцов металла;
- определить по зависимости микротвёрдости от степени деформации значение деформации, соответствующее значению микротвёрдости, максимально достижимому при кавитационном воздействии.

**Методика эксперимента**

Для испытаний были выбраны три сплава с преимущественно однофазной структурой: техническая медь МЗ, латунь Л60, алюминиевый сплав АМг4,0. Исходное состояние материалов и их термообработка перед испытаниями приведены в таблице.

Эксперименты включали в себя предварительные и основные испытания, причём все эксперименты, относящиеся к конкретному сплаву из вышеперечисленных, проводили на образцах, изготовленных из одного и того же прутка (таблица).

Предварительные испытания проводили для определения характеристик пластичности, необходимых для анализа результатов основных испытаний. В рамках предварительных опытов определяли истинное удлинение сплавов при одноосном растяжении. Испытания на одноосное растяжение проводили на цилиндрических образцах, изготовленных по рекомендациям ГОСТ 1497-84, с отношением рабочей длины к диаметру, равным пяти. Диаметр образцов из меди и сплава АМг4,0 равнялся 5,0 мм, а латуни Л60 — 6,0 мм. По результатам опытов регистрировали относительное сужение при разрыве (таблица 1), и определяли диаметр  $d_{ш}$  шейки и радиус  $R$  контура шейки (рис. 1).

*Таблица 1*

**Термообработка и характеристики пластичности испытанных металлических материалов**

Материал	Исходное состояние	Термообработка	Относительное сужение при разрыве	$d_{ш}$ , мм	$R$ , мм
Медь техническая	Катаный пруток Ø16	Отжиг при 700 °С	0,87	1,75	1,4
Латунь Л60	Катаный пруток Ø16	Отжиг при 650 °С	0,64	3,57	4,9
Алюминиевый сплав АМг4,0	Катаный пруток Ø16	Отжиг при 310 °С	0,69	2,78	2,50

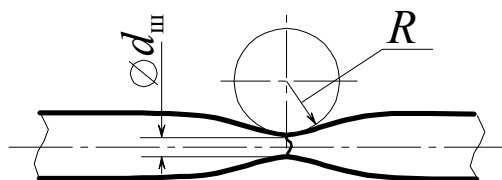


Рис. 1 Схема измерений шейки разорванного образца

Как видно из таблицы, для испытаний были выбраны именно деформируемые сплавы, так как опыт применения для этих целей литейных сплавов, в частности силумина [13], оказался неудачным. Дело в том, что для литейных сплавов значение относительного сужения при разрыве, определённое по результатам на одноосное растяжение, сильно зависит от технологии литья, т. е. наличия дефектов, а поэтому не отражает пластичность собственно материала. В то же время при кавитационном воздействии важна пластичность микрообъёмов сплава, т. е. макродефекты литья, по всей видимости, не оказывают влияния на характер упрочнения сплава при кавитационном воздействии.

Основные испытания состояли из двух серий. В первой серии определяли упрочнение сплавов в условиях кавитационного изнашивания. Во второй серии опытов исследовали упрочнение сплавов при статическом нагружении в условиях одноосного сжатия.

Образцы в основных испытаниях имели форму цилиндров диаметром  $d_0 \approx 16$  мм и высотой  $h_0 \approx 24$  мм. Перед испытаниями на кавитационное изнашивание рабочую (торцевую) поверхность образцов шлифовали на шкурках разной зернистости, а затем полировали. А торцевые поверхности образцов, испытываемых на сжатие, только шлифовали.

Испытания на кавитационное изнашивание проводили на ультразвуковом магнестрикционном вибраторе (МСВ) (рис. 2) в мягкой пресной воде при температуре  $20 \pm 3$  оС. Частота колебаний концентратора 4 составляла около 22 кГц, а амплитуда колебаний его торца — примерно 28 мкм. В процессе испытаний МСВ периодически выключали, образцы 5 вынимали из оправки 6, высушивали и взвешивали на аналитических весах с дискретностью показаний 0,1 мг, а затем проводили измерения микротвёрдости.

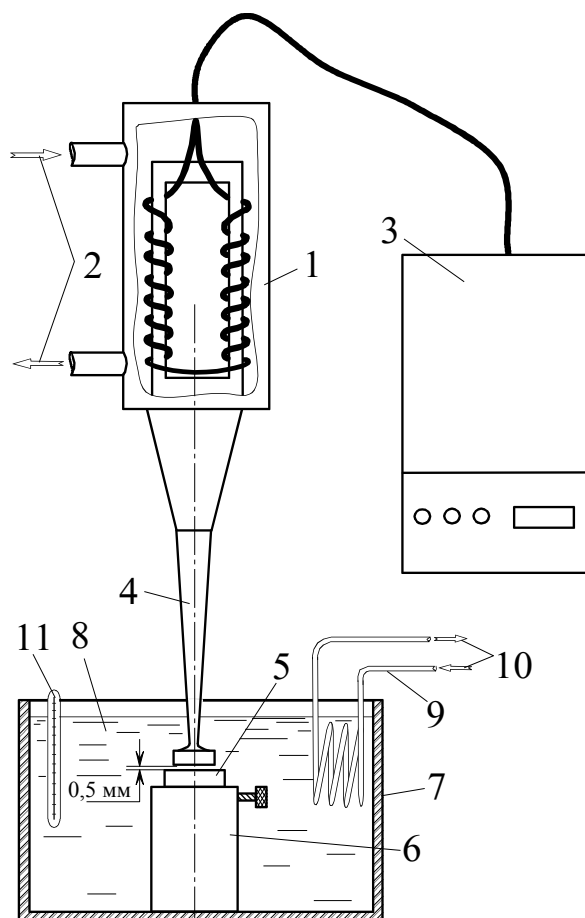


Рис. 2. Схема испытаний на магнестрикционном вибраторе: 1 — ультразвуковой излучатель; 2 и 10 — подвод охлаждающей воды; 3 — генератор ультразвуковых колебаний; 4 — концентратор колебаний; 5 — образец; 6 — крепёжная оправка; 7 — ванночка с водой; 8 — вода; 9 — охлаждающий змеевик; 11 — термометр

Значения микротвёрдости определяли на приборе ПМТ-3 при трёх нагрузках на индентор Виккерса: 0,196; 0,49 и 0,98 Н. При каждой нагрузке наносили шесть отпечатков — по три отпечатка на каждом из двух испытанных образцов — всего 18 отпечатков, и за результат брали среднее арифметическое значение.

По результатам испытаний строили зависимости потерь массы и микротвёрдости от продолжительности кавитационного воздействия.

Для испытаний на сжатие брали по несколько образцов каждого сплава и осаживали образцы каждого сплава на прессе до разной степени деформации (рис. 3). Интенсивность деформации  $e_i$  вычисляли по формуле:

$$e_i = -\ln \frac{h_k}{h_0},$$

где  $h_0$  и  $h_k$  — высота образца до и после сжатия.

После сжатия образцы меди разрезали вдоль оси образца (вариант А, рис. 3), а образцы латуни и алюминиевого сплава — по меридиональному сечению (вариант Б, рис. 3).

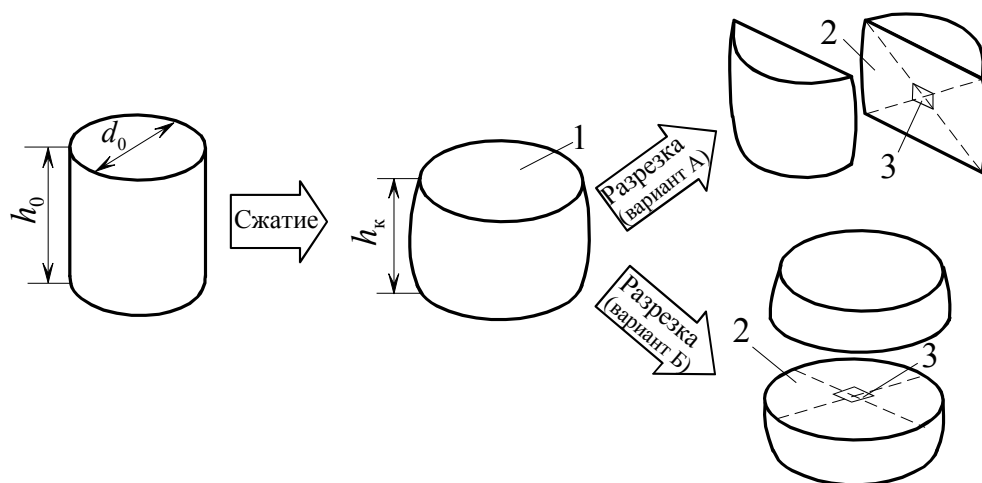


Рис. 3. Вид образца в исходном состоянии, после сжатия и последующей резки

После резки образцов полученную поверхность 2 (рис. 3) шлифовали на разных абразивных шкурках, начиная с грубой и заканчивая мелкозернистой, а затем тщательно полировали на влажном сукне. Такая обработка была необходима, чтобы убрать наклёпанный слой с поверхности 2, образующийся после резки. Несмотря на то, что на торцы 1 образцов перед осаждением на прессе наносили смазочный материал, не удалось избежать «бочкообразности» сжатых образцов, т. е. в районах, которые примыкали к торцевым и исходно цилиндрическим поверхностям образцов, напряжённое состояние отклонялось от одноосного. Поэтому измерения микротвёрдости проводили в центре 3 сечений. Применяемые нагрузки на индентор и количество отпечатков были такими же, что и при измерении микротвёрдости поверхности после кавитационного воздействия. По результатам измерений строили зависимость микротвёрдости от интенсивности деформации.

#### Анализ результатов эксперимента

На рис. 4–6 приведены зависимости потерь массы  $\Delta M$  от продолжительности  $t$  кавитационного воздействия. По этим зависимостям определяли условную продолжительность инкубационного периода, используя рекомендации [10], т. е. по точке пересечения с осью времени касательной  $I$ , проведенной к участку наибольшей скорости изнашивания. Для наглядности на рис. 4–6 наряду с графиками  $\Delta M(t)$  приведены также зависимости микротвёрдости  $H_\mu$  от продолжительности  $t$  испытаний на МСВ. Если сопоставить графики  $\Delta M(t)$  и  $H_\mu(t)$ , то видно, что инкубационный период делится на чередующиеся стадии упрочнения и разупрочнения. На стадиях упрочнения микротвёрдость возрастает, а на стадиях разупрочнения снижается. По зависимостям  $H_\mu(t)$  определяли максимальное значение микротвёрдости, получаемое в конце стадии упрочнения, которое затем необходимо было сравнивать со значением максимального упрочнения, достигаемого при статическом деформировании.

Зависимости микротвёрдости от интенсивности деформаций, полученные по результатам испытаний на одноосное сжатие, представлены на рис. 7, 8 и 9.

Горизонтальные прямые 1 на рис. 7–9 соответствует предельному значению микротвёрдости  $H_{\mu}$ , зарегистрированному на поверхности сплавов при кавитационном воздействии (рис. 4–6). Если предположить, что зависимость твёрдости от интенсивности деформаций является единой независимо от схемы напряжённого состояния [18], а ультразвуковая частота не оказывает влияние на кинетику упрочнения сплава, то по точке пересечения линии 1 с графиком  $H_{\mu}(e_i)$  можно получить критическое значение деформации, т.е. соответствующее началу разрушения материала при кавитационном воздействии.

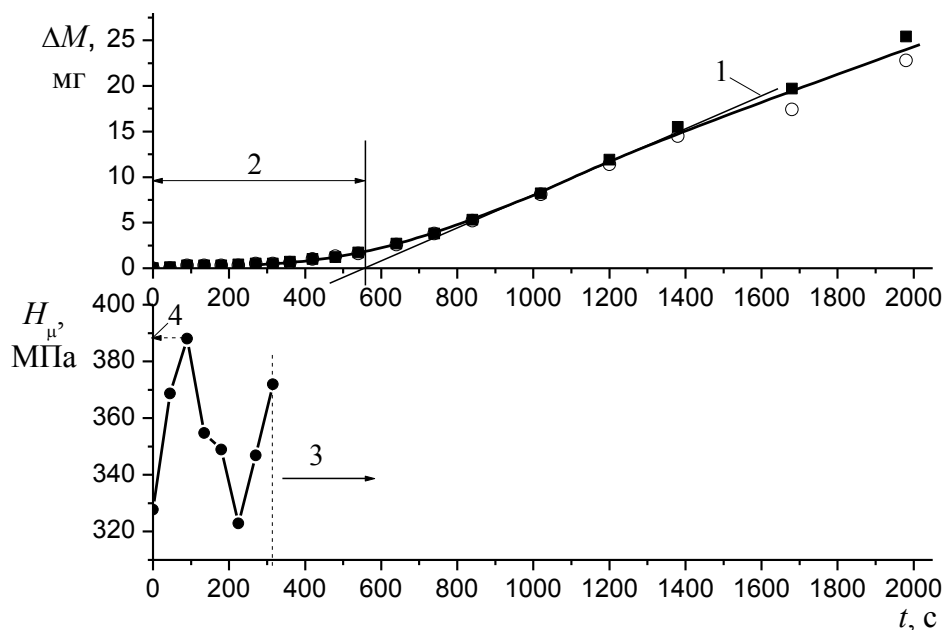


Рис. 4. Кинетика изменения потерь массы (вверху) и упрочнения поверхности (внизу) при кавитационном изнашивании технической меди: ■ — первый образец; ○ — второй образец; 1 — касательная (см. текст); 2 — условный инкубационный период; 3 — зона развитого рельефа (чёткие отпечатки не получаются); 4 — максимальная микротвёрдость

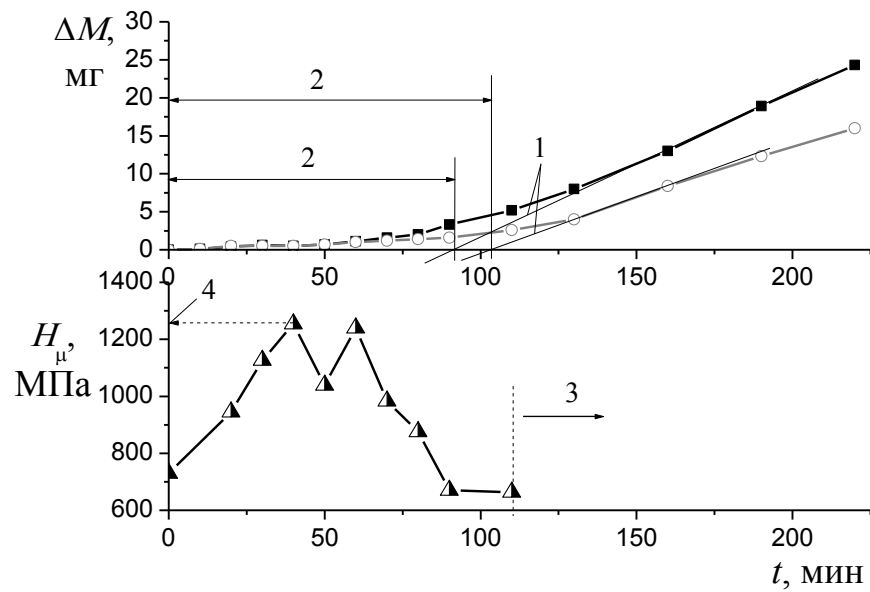


Рис. 5. Кинетика изменения потерь массы (вверху) и упрочнения поверхности (внизу) при кавитационном изнашивании латуни Л60: ■ — первый образец; ○ — второй образец; 1 — касательная (см. текст); 2 — условный инкубационный период; 3 — зона развитого рельефа (чёткие отпечатки не получаются); 4 — максимальная микротвёрдость

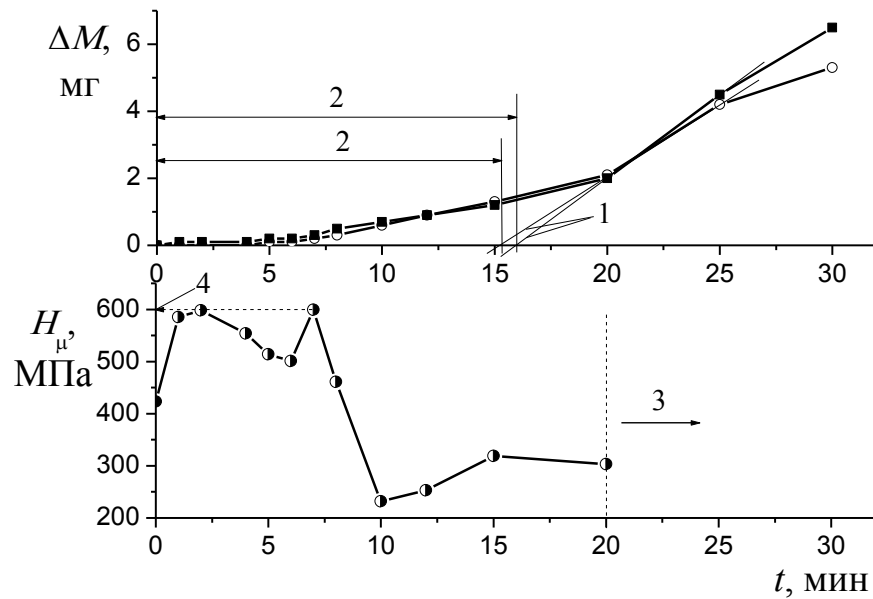


Рис. 6. Кинетика изменения потерь массы (вверху) и упрочнения поверхности (внизу) при кавитационном изнашивании сплава АМг4,0: ■ — первый образец; ○ — второй образец; 1 — касательная (см. текст); 2 — условный инкубационный период; 3 — зона развитого рельефа (чёткие отпечатки не получаются); 4 — максимальная микротвёрдость



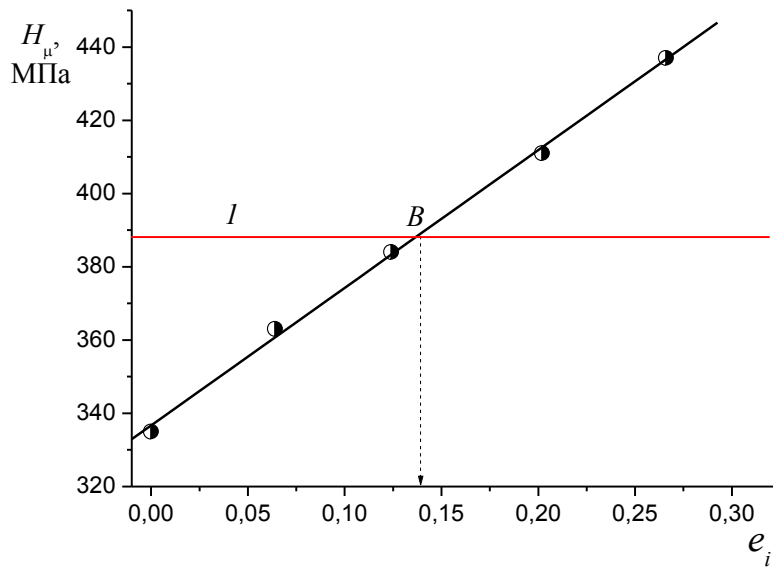


Рис. 7. Зависимость микротвёрдости меди от интенсивности деформации при одноосном сжатии

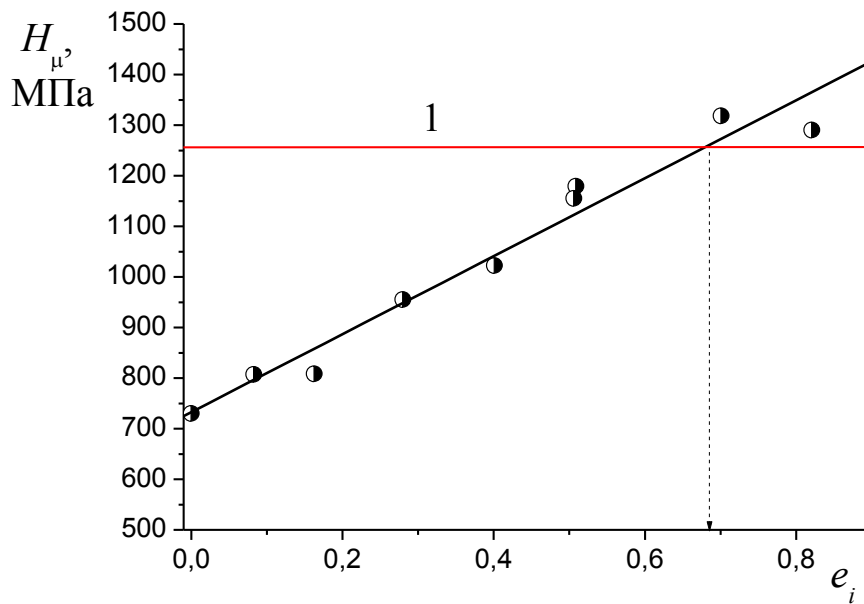


Рис. 8. Зависимость микротвёрдости латуни Л60 от интенсивности деформации при одноосном сжатии

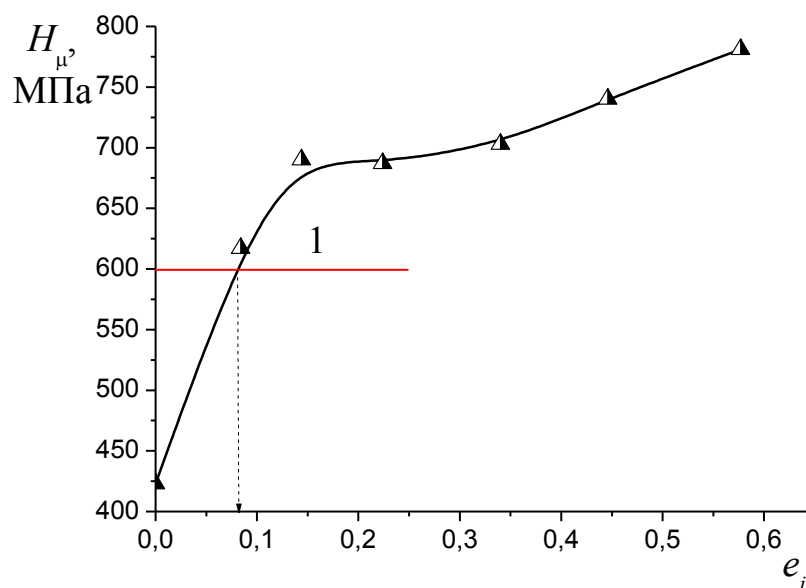


Рис. 9. Зависимость микротвёрдости алюминиевого сплава АМг4,0 от интенсивности деформации при одноосном сжатии

Обработка данных различных исследователей, приведённых в работе [19], позволила получить принципиальный вид зависимости критической степени деформации  $e_{кр}$  от коэффициента жёсткости напряжённого состояния  $\Pi$ , предложенного Г. А. Смирновым-Аляевым [20] в форме:

$$\Pi = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i} \quad (1)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные напряжения,  $\sigma_i$  – интенсивность напряжений.

Для уточнения вида зависимостей  $e_{кр}(\Pi)$  для испытанных меди, латуни Л60 и сплава АМг4,0 необходимо было найти значения неизвестных постоянных коэффициентов. Значения постоянных в зависимостях  $e_{кр}(\Pi)$  получили следующим образом. По результатам обмера шеек разорванных образцов вычисляли степень деформации в шейке по формуле

$$e_{кр} = \ln \frac{1}{1 - \psi},$$

где  $\psi$  — относительное сужение при разрыве (см. табл. 1).

А, основываясь на работах Н.Н. Давиденкова и Н. И. Спиридоновой, по радиусу контура шейки и её диаметру вычисляли коэффициент  $\Pi$ :

$$\Pi = 1 + \frac{3 d_{ш}}{4 R}.$$

Подстановка найденных значений  $e_{кр}$  и  $\Pi$  для области шейки разорванных образцов позволила вычислить неизвестные коэффициенты и получить для меди, латуни Л60 и сплава АМг4,0 соответственно следующие зависимости  $e_{кр}(\Pi)$ :

$$e_{кр} = 2,55(1 - 0,1 П) \quad (2)$$

$$e_{кр} = 4,45 \exp(-0,95П) \quad (3)$$

$$e_{кр} = 1,98 \exp(-0,286П) \quad (4)$$

Как видно из графиков рис. 7–9, критические значения деформации, т. е. значения, соответствующие началу разрушения при кавитационном воздействии, составили: для меди  $e_{кр} = 0,14$  (рис. 7), для латуни Л60  $e_{кр} = 0,68$  (рис. 8), а для алюминиевого сплава АМг4,0  $e_{кр} = 0,08$  (рис. 9). Подставив перечисленные значения в выражения (2), (3) и (4) соответственно, получим следующие значения коэффициента жёсткости схемы напряжённого состояния, реализуемой на поверхности при кавитационном воздействии: для меди  $П \approx 9,5$ ; латуни  $П \approx 2,0$ ; алюминиевого сплава АМг4,0  $П \approx 11$ .

Согласно формуле (1) одноосному растяжению соответствует  $П = +1$ , при двухосном равном растяжении  $П = +2$ , а при трёхосном равном растяжении  $П = +\infty$ . Таким образом, значения коэффициентов жёсткости схемы напряжённого состояния, полученные для условий кавитационного воздействия на ультразвуковом МСВ указывает на то, что на поверхности сплавов возникает очень жёсткое напряжённое состояние, более жёсткое, чем при одноосном растяжении. Так для латуни оно соответствует двухосному равному растяжению, а в случае изнашивания меди и алюминиевого сплава в схеме появляется третье главное напряжение.

На первый взгляд, полученные значения коэффициента жёсткости кажутся завышенными и следовало бы ожидать их скорее отрицательными, чем положительными. Однако, если принять, что основной механизм воздействия — удары микроструй, то такие значения коэффициента  $П$  объяснимы. Известно, что вдавливание индентора в поверхность сопровождается поднятием металла вокруг отпечатка, т. е. образованием валика. Опыты по статическому вдавливанию конусов в поверхность показывают, что наибольшие значения коэффициента  $П$  (в упомянутых опытах они соответствовали чистому сдвигу, т. е.  $П = 0$ ), оказались у металла именно на контуре пятна контакта [1]. При схлопывании кавитационных пузырьков удары (см. стрелки на рис. 10) происходят с очень высокими скоростями, и при одновременном ударе нескольких струй в соседние участки поверхности образуются несколько близко расположенных вмятин, а металл между ними выжимается с большой скоростью вверх. Образуется валик (гребень) А и очевидно, что в первую очередь трещины образуются у вершины гребня, так как именно у вершины возникают растягивающие напряжения в плоскости параллельной поверхности. И чем выше гребень, и меньше радиус его скругления, тем больше доля растягивающих напряжений в материале, примыкающем к вершине гребней [21]. Образование частиц износа происходит, по всей видимости, в результате передеформирования материала гребней [22].

Возникновение объёмного напряжённого состояния, когда все три главных напряжения являются растягивающими, указывает на то, что скорости удара очень высоки и достигают нескольких сот метров в секунду. При таких больших скоростях течения металла гребня (см. чёрную стрелку), что наблюдается у сравнительно мягких металлов (меди, сплава АМг4,0), возникают также нормальные напряжения перпендикулярные поверхности из-за большого градиента скорости течения металла, т.е. напряжённое состояние становится объёмным.

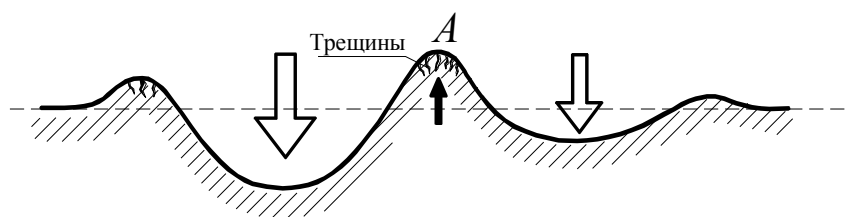


Рис. 10. Схема возникновения растягивающих напряжений в поверхности при ударах микроструй (направление ударов показано стрелками)

Если бы основным механизмом передачи энергии к поверхности были ударные волны от кооперативного схлопывания пузырьков в кавитационном облаке, то тогда было бы зарегистрировано значительно более высокое упрочнение поверхности, так как механическое воздействие на поверхность происходило бы с частотой колебаний концентратора МСВ, т. е. около 22 кГц. Использование в этом случае зависимости  $H_{\mu}(e_i)$ , полученной по результатам пластического деформирования образцов в условиях статического нагружения, для оценки критической степени деформации при кавитационном воздействии, показало бы существенно более высокие значения критической степени деформации.

При передаче энергии от кавитационного облака к поверхности ударными струями, маловероятно попадание микроструй на один и тот же микроучасток поверхности, а значит, и частота нагружения конкретного микрообъёма поверхности будет существенно ниже частоты колебания концентратора МСВ, и эффект влияния ультразвуковой частоты пропадает.

### Заключение

В результате анализа напряжённого состояния поверхности металлов при кавитационном воздействии на ультразвуковых МСВ получены положительные значения коэффициента жёсткости схемы напряжённого состояния. Таким образом, пластическое деформирование поверхности испытанных сплавов происходит в условиях преобладания в схеме напряжённого состояния растягивающих напряжений.

Влияние ультразвуковой частоты на кинетику упрочнения металла при испытании на ультразвуковом МСВ может проявиться только в том случае, если воздействие на поверхность осуществляется посредством ударных волн, образующихся в результате коллективного схлопывания пузырьков в каждом цикле колебаний торца концентратора. В этом случае, при использовании зависимости микротвёрдости от интенсивности пластических деформаций, построенной по результатам одноосного сжатия образцов, были бы получены существенно более высокие значения критической степени деформации поверхностных слоев при кавитационном воздействии, чем зарегистрированные в настоящей работе, а значит, и значения коэффициента жёсткости схемы напряжённого состояния были бы отрицательными.

Основным механизмом передачи энергии от кавитационного облака к поверхности металла, испытываемого на ультразвуковом МСВ, являются ударные микроструи. Вследствие случайного распределения пузырьков в кавитационном облаке под концентратором представляется маловероятным, что в каждом цикле колебаний торца концентратора удар микроструй будет приходиться на один тот же микрообъём поверхности, т. е. исключается влияние ультразвуковой частоты. В то же время одновременный удар нескольких микроструй в участки, окружающие конкретный микрорайон поверхности, может привести к возникновению в последнем значительных растягивающих напряжений.

**Список литературы**

1. Погодаев Л. И., Шевченко П. А. Гидроабразивный и кавитационный износ судового оборудования. — Л.: Судостроение, 1984. — 263 с.
2. Gravalos, I., Kateris, D., Xyradakis, P., Gialamas, Th. Cavitation erosion of wet-sleeve liners: Case study // *Journal of Middle European Construction and Design of Cars (MECCA)*. — 2006. — Vol. IV. — No. 3. — p. 10–16.
3. Георгиевская Е. П. Кавитационная эрозия гребных винтов и методы борьбы с ней. — Л.: Судостроение. — 1978. — 206 с.
4. Цветков Ю. Н. Кавитационное изнашивание металлов и оборудования. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. — 155 с.
5. Sreedhar B. K., Albert S. K., Pandit A. B. Cavitation damage: Theory and measurements – A review // *Wear*. — 2017. — V. 372–373. — P. 177–196.
6. Петров А. И., Скобелев М. М., Ханычев А. Г. Исследование сравнительной стойкости и кавитационной эрозии образцов материалов и покрытий проточной части гидромашин // *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение»*. — 2015. — № 2. — С. 128–137.
7. Kwok C. T., Man H. C., Cheng F. T., Lo K. H. Developments in laser-based surface engineering processes: with particular reference to protection against cavitation erosion // *Surface and Coatings Technology*. — 2016. — No. 291. — P. 189–204.
8. Qiao Y., Cai X., Chen Y., Cui J., Tang Y., Li H., Jiang Z. Cavitation erosion properties of a nickel-free high-nitrogen Fe-Cr-Mn-N stainless steel // *Materials and technology*. — 2017. — Vol. 51. — No. 6. — P. 933–938.
9. Momeni S., Tillmann W., Pohl M. Composite cavitation resistant PVD coatings based on NiTi thin films // *Materials and Design*. — 2016. — No. 110. — P. 830–838.
10. Standard test method for cavitation erosion using vibratory device. ASTM 2010. G32-10.
11. Vyas B., Preece C. M. Stress produced in a solid by cavitation // *Journal of Applied Physics*. — 1976. — V.47. — No 12. — P. 5133–5138.
12. Okada T., Iwai Y. A study of cavitation bubble collapse pressures and erosion, Part 1: A method for measurement of collapse pressures // *Wear*. — 1989. — V. 133. — P. 219–232.
13. Tsvetkov Y., Gorbachenko E., Fiaktistov Y. Hardening Peculiarities of Metallic Materials During Wear Under Ultrasonic Cavitation. In: Murgul V., Pukhkal V. (eds) *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. EMMFT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1258, pp.409–420, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5_35).
14. Кулёмин А. В., Кононов А. В., Стебельков И. А. Повышение усталостной прочности деталей путём ультразвуковой поверхностной обработки // *Проблемы прочности*. — 1981. — №1. — С. 70–74.
15. Марков А. И., Озерова М. А., Устинов И. Д. Применение ультразвука при алмазном выглаживании деталей // *Вестник машиностроения*. — 1973. — №9. — С. 57–61.
16. Абрамов О. В., Хорбенко И. Г., Швевла И. Г. Ультразвуковая обработка материалов М.: Машиностроение, 1984. — 280 с.
17. McLean D. *Mechanical properties of metals*. Wiley; First Edition, 1962, 403 p.
18. Дель Г. Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твёрдости. — М.: Машиностроение, 1971. — 199 с.
19. Колмогоров В. Л. Напряжения, деформации, разрушение. — М.: Металлургиздат, 1970. — 196 с.
20. Смирнов-Аляев Г. А. Механические основы пластической обработки металлов. — Л.: Машиностроение, 1968. — 272 с.
21. Bowden E. P., Brunton J. H. // *Proceedings of Royal Society, London*. — A282. — 1964. — V. 331. — P. 549–565.
22. Vyas B., Preece C. M. Cavitation erosion of face centered cubic metals // *Metallurgical Transactions A*. — 1977 June. — V.8A. — P. 915–923.

**References**

1. Pogodayev, L.I., Shevchenko, P.A. *Gidroabrasivnyi i kavitatsionnyi iznos sudovogo oborudovaniya* [Hydroabrasive and cavitation wear of ship equipment]. L.: Sudostroyeniye, 1984. 263p. (In Russ).
2. Gravalos, I., Kateris, D., Xyradakis, P., Gialamas, Th. Cavitation erosion of wet-sleeve liners: Case study // *Journal of Middle European Construction and Design of Cars (MECCA)*. 2006. Vol IV. No. 3, Pp. 10–16.
3. Georgievskaya, E.P. *Kavitatsionnaya eroziya grebnyh vintov I metody borby s ney* [Cavitation erosion of ship propellers and methods of controlling it]. L.: Sudostroyeniye, 1978. 206p. (In Russ).
4. Tsvetkov, Y. N. *Kavitatsionnoye iznashivaniye metallov i oborudovaniya* [Cavitation wear of metals and equipment]. SPb.: SPbGPU Publ, 2003. 155p. (In Russ).
5. Sreedhar B. K., Albert S. K., Pandit A. B. Cavitation damage: Theory and measurements – A review // *Wear*. — 2017. — V. 372–373. — P. 177–196.
6. Petrov, A. I., Skobelev, M.M., Hanychev, A.G. *Issledovaniye sravnitelnoy stoikosti i kavitatsionnoy erozii obraztsov materialov i pokrytiy protochnoy chasti gidromashin* [Research into the comparative resistance and cavitation erosion of materials samples and coatings of hydraulic machine water passages] // *Vestnik MGTU imeni N. E. Baumana. Seriya «Mashinostroyeniye»*. 2015. № 2. pp.128–137, (In Russ). DOI: 10.18698/0236-3941-2015-2-128-137
7. Kwok C. T., Man H. C., Cheng F. T., Lo K. H. Developments in laser-based surface engineering processes: with particular reference to protection against cavitation erosion // *Surface and Coatings Technology*. 2016. No. 291, Pp. 189–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.02.019>
8. Qiao Y., Cai X., Chen Y., Cui J., Tang Y., Li H., Jiang Z. Cavitation erosion properties of a nickel-free high-nitrogen Fe-Cr-Mn-N stainless steel // *Materials and technology*. 2017. Vol 51. No. 6, Pp. 933–938.
9. Momeni S., Tillmann W., Pohl M. Composite cavitation resistant PVD coatings based on NiTi thin films // *Materials and Design*. 2016. No. 110, Pp. 830–838. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2016.08.054>
10. Standard test method for cavitation erosion using vibratory device. ASTM 2010. G32-10.
11. Vyas B, Preece C. M. Stress produced in a solid by cavitation // *Journal of Applied Physics*. 1976. Vol 47. No 12, Pp. 5133–5138.
12. Okada T., Iwai Y. A study of cavitation bubble collapse pressures and erosion, Part 1: A method for measurement of collapse pressures // *Wear*. 1989. Vol 133, Pp. 219–232.
13. Tsvetkov Y., Gorbachenko E., Fiaktistov Y. Hardening Peculiarities of Metallic Materials During Wear Under Ultrasonic Cavitation. In: Murgul V., Pukhkal V. (eds) *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019*. EMMFT 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1258, pp.409–420, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5_35).
14. Kulemin, A.V., Kononov, A.V., Stebelkov I.A. *Povysheniye ustalostnoy prochnosti denaley putem ulltrazvukovoy poverhnostnoy obrabotki* [Increase in fatigue resistance of parts through ultrasonic surface treatment] // *Problemi prochnosti*. 1981. No.1, Pp. 70–74, (In Russ).
15. Markov, A. I., Ozerova M. A., Ustinov I. D. *Primeneniye ultrazvuka pri almaznom vyglazhivanii detaley* [Use of ultrasonic in diamond smoothing the parts] // *Vestnik mashinostroyeniya*.1973. No.9, Pp. 57–61, (In Russ).
16. Abramov, O.V., Horbenko I.G., Shvegla I.G. *Ultrazvukovaya obrabotka materialov* [Ultrasonic treatment of materials]. M.: Mashinostroyeniye, 1984. 280 p. (In Russ).
17. McLean D. *Mechanical properties of metals*. Wiley; First Edition, 1962, 403 p.
18. Del, G.D. *Opredeleniye napryazheniy v plasticheskoy oblasti po raspredeleniyu tverdsti* [Determination of stresses in plastic area by hardness distribution]. M.: Mashinostroyeniye, 1971. 199 p. (In Russ).
19. Kolmogorov, V. L. *Napryazheniya, deformatsii, razrusheniye* [Stresses, strains, failure]. M.: Metallurgizdat, 1970. 196 p. (In Russ).

20. Smirnov-Alyayev, G. A. *Mechanicheskiye osnovi plasticheskoy obrabotki metallov* [Mechanical basis of plastic metalworking]. L.: Mashinostroyeniye, 1968. 272 p. (In Russ).
21. Bowden E. P., Brunton J. H. // *Proceedings of Royal Society, London. A282.* 1964. Vol 331, pp. 549–565.
22. Vyas B., Preece C. M. Cavitation erosion of face centered cubic metals// *Metallurgical Transactions A.* 1977. Vol 8A. pp. 915–923.

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

**Фиактистов Ярослав Олегович**, старший преподаватель кафедры технологии судоремонта Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7, e-mail: yaroslav3373@mail.com

**Yaroslav O. Fiaktistov** – senior lecturer of ship repair subdepartment Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7, ul. Dvinskaya, Saint-Petersburg, Russia, 198035, e-mail: yaroslav3373@mail.com

**Цветков Юрий Николаевич** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой технологии судоремонта, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7, e-mail: yuritsvet@mail.ru

**Yuriy N. Tsvetkov** – doctor of engineering science, professor, head of ship repair subdepartment, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, d. 5/7, ul. Dvinskaya, Saint-Petersburg, Russia, 198035, e-mail: yuritsvet@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.12.2021; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 02.12.2021; published online 21.03.2022.

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

### **OPERATION OF SHIP POWER EQUIPMENT**

УДК 621.43.052

DOI: 10.37890/jwt.vi70.236

#### **Состояние и проблемы газотурбинного наддува четырёхтактных судовых дизелей**

**А.Н. Бердник**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4043-8085>

*Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия*

**Аннотация.** В настоящее время ни существующие методы расчёта, ни экспериментальные методы исследования, которые трудоёмки и порой невыполнимы, не могут однозначно ответить на вопрос, связанный с выбором рациональной системы газотурбинного наддува поршневого двигателя в зависимости от среднего эффективного давления. Потому, что именно такой параметр, как среднее эффективное давление является не только комплексным параметром, характеризующим эффективную работу поршневого двигателя, но и показателем уровня форсирования поршневого двигателя. В действительности нельзя однозначно говорить о выборе той или иной системы газотурбинного наддува в зависимости от среднего эффективного давления для всех поршневых двигателей. Это связано, прежде всего, с типом, назначением и условиями эксплуатации поршневого двигателя, т. е. дизельный, бензиновый, двух- или четырёхтактный, судовой, автотракторный и т. д. Поэтому в работе рассматриваются не все поршневые двигатели в целом, а именно судовые четырёхтактные дизели, которые большую часть времени работают на номинальном режиме. С точки зрения методического подхода представлен обзор систем газотурбинного наддува судовых дизелей и определено их место в зависимости от среднего эффективного давления. Показана тенденция развития различных систем газотурбинного наддува судовых дизелей в зависимости от уровня форсирования по среднему эффективному давлению.

**Ключевые слова:** четырёхтактный судовой дизель, система газотурбинного наддува, одноступенчатый наддув, двухступенчатый наддув, турбина, компрессор, форсирование, среднее эффективное давление.

#### **Status and problems of turbocharging of four-stroke marine diesel engines**

**Aleksey N. Berdnik**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4043-8085>

*Pacific National University, Khabarovsk, Russia*

**Abstract.** Currently, neither existing calculation methods nor experimental research methods, which are time-consuming and sometimes impossible, can unambiguously answer the question related to the choice of a rational turbocharging system piston engine depending on the average effective pressure. It is due to the fact that such a parameter as the average effective pressure is not only a complex parameter that characterizes the efficient operation



of a piston engine, but also an indicator of the level of forcing of a piston engine. In fact, it is impossible to speak unequivocally about the choice of a particular turbocharging system depending on the average effective pressure for all piston engines. This is primarily due to the type, purpose and operating conditions of the piston engine, i.e. diesel, gasoline, two- or four-stroke, marine, tractor, etc. Therefore, this work is concentrated not on any piston engine in general, but on marine four-stroke diesels, which operate most of the time in nominal mode. As far as methodology is concerned, an overview of turbocharging systems of marine diesel engines is presented and their place is determined depending on the average effective pressure. The article shows the tendency of development of various turbocharging systems of marine diesel engines depending on the level of forcing by the average effective pressure.

**Keywords:** four-stroke marine diesel engine, turbocharging system, single-stage turbocharging, two-stage turbocharging, turbine, compressor, forcing, average effective pressure.

### **Введение**

Судовое мировое дизелестроение начало свой отсчёт на рубеже XIX и XX в. Пройден огромный путь создания и развития судовых дизелей и агрегатов на их базе. Многие страны, в том числе Россия, приняли участие в этом историческом деле.

Сегодня дизели реально вытеснили другие типы энергетических судовых установок благодаря их важным преимуществам:

- большому диапазону агрегатных мощностей (от нескольких до десятков тысяч киловатт);
- высокой топливной экономичности (до 154 г/(кВт·ч)), определяемой эффективным КПД (в перспективе следует ожидать повышения эффективного КПД до 50 % и выше).

В настоящее время выпускается множество судовых дизелей разнообразных моделей, которые обеспечивают потребности судостроения и судоходства. Их принято делить на три группы:

- малооборотные дизели (МОД) с частотой вращения до 250 мин<sup>-1</sup>;
- среднеоборотные дизели с частотой вращения свыше 250 и примерно до 1000–1200 мин<sup>-1</sup>;
- высокооборотные дизели (ВОД) с частотой вращения примерно свыше 1200 мин<sup>-1</sup>.

В данной работе судовые МОД рассматриваться не будут, так как это отдельный большой цикл исследований.

### **Результаты исследования**

Анализ применимости дизелей различных типов показывает, что на малых и средних судах (дедвейтом 2000 т) доминируют СОД и ВОД. При выборе главного двигателя для судов дедвейтом свыше 2000 т. предпочтение пока отдаётся МОД, однако объём применения на таких судах СОД непрерывно возрастает, что объясняется их преимуществами по сравнению с МОД [1].

Дело не только в существенной разнице массогабаритных показателей, но и в частности, в возможности получения дополнительной экономии расхода топлива, которую обеспечивают дизель-редукторные установки СОД по сравнению с МОД с непосредственным приводом гребного винта (благодаря значительному повышению

пропульсивного КПД на 4–7 % с максимально возможным увеличением диаметра гребного винта и одновременным снижением частоты его вращения).

Складывающаяся тенденция частичного вытеснения МОД среднеоборотными дизелями объясняется также прорывом ряда зарубежных компаний по технико-экономическим показателям СОД.

Опыт применения в судовых СОД и ВОД систем газотурбинного наддува показал, что при среднем эффективном давлении  $p_{me} \approx 0,9\text{--}2,0$  МПа, а это диапазон низкого и среднего наддува, преимущественно используется импульсная система газотурбинного наддува и импульсная система газотурбинного наддува с преобразователями импульсов, что отражено в работах многих авторов [2,3,4,5].

Рассматривая современное состояние и тенденции развития судовых СОД, необходимо отметить прежде всего эффективность проведённых ведущими зарубежными фирмами работ по повышению экономичности и мощности этих двигателей.

Снижение расхода топлива достигается многими путями, в том числе:

- повышением максимального давления сгорания  $p_{max}$  до 19 МПа и степени сжатия  $\varepsilon_c$  до 16, что позволяет обеспечить высокую термодинамическую эффективность цикла;
- улучшением эффективности системы газотурбинного наддува при уменьшении потерь энергии выпускных газов, а также согласования системы «дизель-агрегаты наддува»;
- переходом при повышении  $p_{me}$  от чисто импульсной системы газотурбинного наддува к изобарной системе газотурбинного наддува (в том числе и в вариантах с преобразователями импульсов) и увеличения КПД турбокомпрессоров более чем на 70 %.

Практическая реализация перечисленных путей улучшения экономичности и мощности дизелей обеспечила значительный прогресс в процессе модернизации выпускаемых и создания новых моделей судовых СОД. Так, например, уровень форсирования СОД по  $p_{me}$  возрос до 2,3–2,6 МПа. Дизель L58/64 (фирмы MAN B&W) имеет  $p_{me} = 2,3$  МПа, дизель PC30L425 (S.E.M.T. Pielstick)  $p_{me} = 2,31$  МПа, Vasa 46 (Wartsila)  $p_{me} = 2,61$  МПа, ZA40S (Sulzer)  $p_{me} = 2,41$  МПа, M32 (MaK)  $p_{me} = 2,28$  МПа. В 1999 г. поставлен на производство дизель W26X (Wartsila) с  $p_{me} = 2,82$  МПа [1,6,7,8].

Улучшение технико-экономических показателей СОД в немалой степени зависит от развития систем газотурбинного наддува и совершенствования турбокомпрессоров.

С ростом  $p_{me}$  в СОД чётко прослеживается тенденция перехода фирм с импульсных систем газотурбинного наддува на изобарные. Это характерно для ряда фирм-разработчиков: MAN B&W, Sulzer, GMT, Bergen и других.

Вместе с тем, спор между сторонниками изобарного и импульсного наддува в СОД не получил пока однозначного решения. Сторонники импульсной системы газотурбинного наддува выдвигают на передний план лучшую приёмистость двигателя и меньший расход топлива на долевых нагрузках. Фирма Wartsila считает, что преимущества изобарной системы газотурбинного наддува проявляются лишь при высокой постоянной нагрузке, когда уровень  $p_{me}$  превышает 2,3 МПа [1].

Сторонники наддува с постоянным давлением в качестве главного аргумента выдвигают простоту конструкции системы выпуска и меньшую опасность заброса газов во впускной коллектор (о достоинствах изобарного наддува сказано во многих работах, посвящённых использованию различных систем газотурбинного наддува поршневых двигателей).

В настоящее время важнейшее требование к турбокомпрессорам – достаточный наддув во всем диапазоне рабочих режимов дизеля, способствующий хорошему газообмену и наполнению цилиндров. Однако в случае оптимизации системы «дизель-турбокомпрессор» по режиму полной мощности при работе на частичных нагрузках давление наддува и количество подаваемого воздуха оказываются меньше, чем требуется. Существует наиболее радикальный способ оптимизации работы турбокомпрессора во всём рабочем диапазоне режимов – применение турбокомпрессора с изменяемой геометрией проточной части.

При совершенствовании выпускаемых и создании новых судовых ВОД решаются проблемы повышения  $\varepsilon_c$  до 19,  $p_{max}$  до 18 МПа. Сейчас достигнуты удельные эффективные расходы топлива ВОД  $b_e = 189\text{--}190$  г/(кВт·ч).

Задачи повышения мощности и снижения удельной металлоёмкости концентрируются на проблеме повышения форсирования ВОД по  $p_{me}$ . В настоящее время создано новое поколение турбокомпрессоров, обеспечивающих высокий КПД (более 0,7) и степень повышения давления наддувочного воздуха  $\pi_k$  до 6,0 в одной ступени компрессора. Достигнуты величины среднего эффективного давления дизелей  $p_{me}$  до 3,0 МПа (фирма MTU, Германия), некоторые фирмы вышли на  $p_{me} = 2,4\text{--}2,6$  МПа: Paxman (Великобритания), Skania (Швеция), Niigata (Япония) и другие [1,9,10].

Однако высокие механические и тепловые нагрузки в современных судовых ВОД диктуют необходимость обеспечить путём конструктивных и технологических решений умеренную тепловую напряжённость деталей ЦПГ и надёжную работу топливной аппаратуры.

Дальнейший прогресс судовых ВОД зарубежные эксперты связывают: с широким использованием керамических теплостойких покрытий деталей ЦПГ и поиском новых идей по увеличению среднего эффективного давления дизелей.

На рис. 1 представлена иерархическая схема различных систем газотурбинного наддува поршневых двигателей. Однако в действительности не все системы газотурбинного наддува, представленные на рис. 1, нашли широкое применение в области двигателестроения. Прежде всего, это касается двухступенчатой системы газотурбинного наддува и одноступенчатой системы газотурбинного наддува с силовой турбиной. Возможно, это связано с особенностями работы агрегатов наддува в составе поршневого двигателя, а также распределением располагаемого теплоперепада по ступеням турбин и требуемой суммарной степени повышения давления по ступеням компрессоров. Следует также отметить, что современных работ, связанных с использованием двухступенчатой системы газотурбинного наддува недостаточно. Это относится как к отечественному, так и зарубежному двигателестроению.

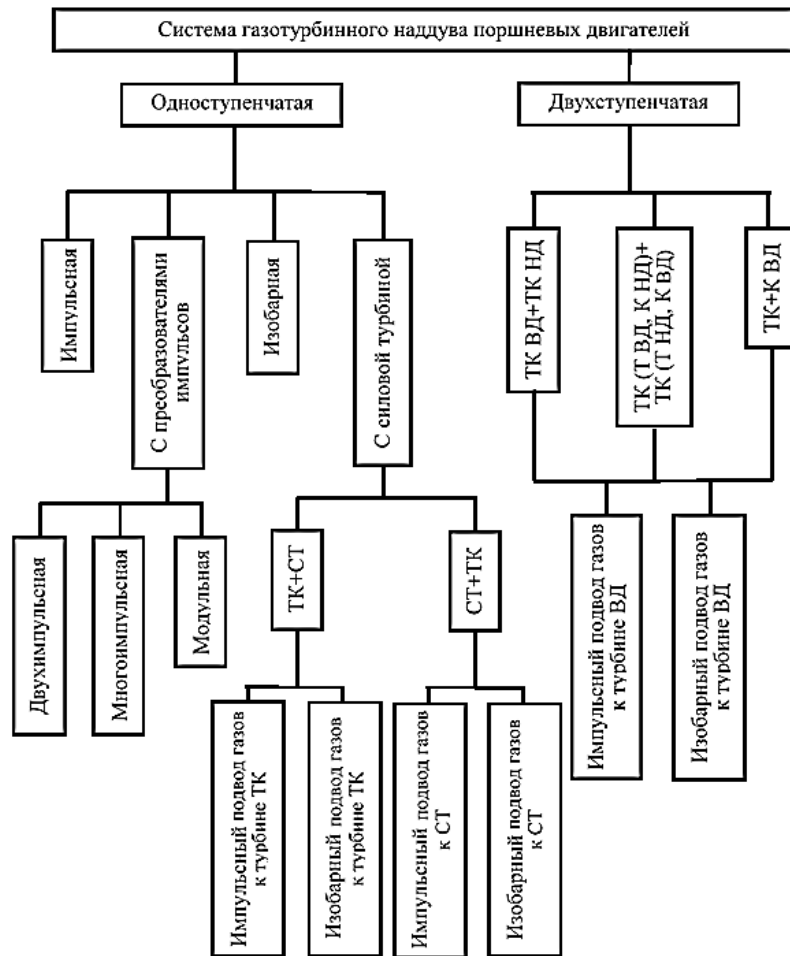


Рис. 1. Иерархическая схема различных систем газотурбинного наддува поршневых двигателей:  
 ТК – турбокомпрессор; СТ – силовая турбина; К – компрессор; Т – турбина; ВД – высокое давление; НД – низкое давление

Двухступенчатая система газотурбинного наддува, несмотря на большой первоначальный интерес, получила очень ограниченное применение. Это связано с тем, что в 70–90-х годах прошлого века степени повышения давления  $\pi_k$  при использовании двухступенчатой системы газотурбинного наддува находились в диапазоне от 3,5 до 4,5 (см. рис. 2), т. е. в пределах близких к достигнутому при одноступенчатом наддуве, и сопровождалась увеличением объема и массы системы наддува [11]. Однако, как было отмечено выше, при степенях повышения давления, больших 3,5–4, адиабатный КПД компрессора начинает падать, что несомненно будет понижать КПД системы газотурбинного наддува в целом.

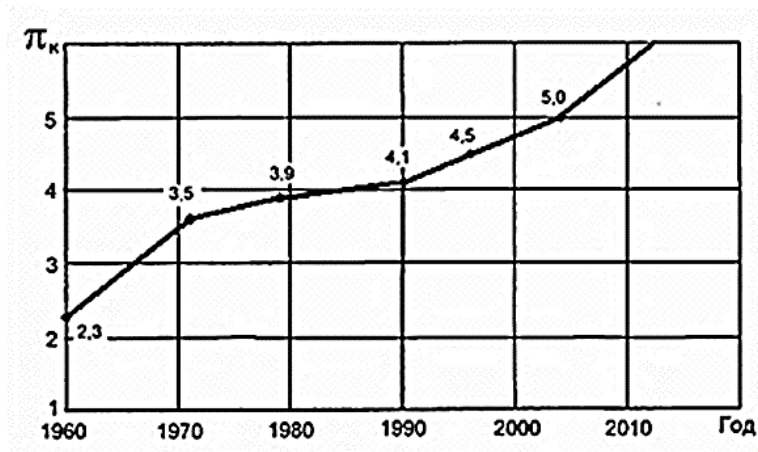


Рис. 2. Изменение степени повышения давления в системе газотурбинного наддува поршневого двигателя

В поршневых двигателях с низким и средним наддувом ( $p_{me} < 2$  МПа) турбина турбокомпрессора является по сути дела утилизационной, так как значения КПД турбокомпрессора и потерь располагаемой работы газов в выпускной системе не являются определяющими, потому что мощность на валу ротора турбокомпрессора мала по сравнению с мощностью на коленчатом валу поршневого двигателя. Так, при  $\pi_k = 1,5$  мощность на валу ротора турбокомпрессора составляет приблизительно 10 % от эффективной мощности на коленчатом валу поршневого двигателя, а при  $\pi_k = 2$  – около 20 %.

В поршневых двигателях с высоким наддувом ( $p_{me} > 2$  МПа) турбина турбокомпрессора уже не может рассматриваться как утилизационная, так как уже при  $\pi_k = 3,5$  мощность на валу ротора турбокомпрессора составляет около 40 % от эффективной мощности на коленчатом валу поршневого двигателя, а при  $\pi_k > 5$  – около 50 %. Поэтому любые потери располагаемой работы сжатого компрессором воздуха или отработавшего в цилиндре газа для обеспечения баланса работ турбины и компрессора должны компенсироваться либо за счёт эффективной работы, либо вводом дополнительного количества теплоты для повышения температуры отработавшего газ в цилиндре поршневого двигателя. И в том, и в другом случае, как это очевидно, ухудшаются эффективные показатели поршневого двигателя с газотурбинным наддувом в целом [12].

На рис. 3 на основе экспериментальных данных показаны области использования различных систем газотурбинного наддува четырёхтактных судовых дизелей в зависимости от среднего эффективного давления.

Можно отметить следующее (см. рис. 3):

- если рассмотреть импульсные системы газотурбинного наддува и импульсные системы газотурбинного наддува с преобразователями импульсов, то можно увидеть, что эти системы доминируют в диапазоне  $p_{me} \approx 0,9-1,8$  МПа. «Выбросы» по  $p_{me}$  до 1,8 МПа имеют место только для двухимпульсной системы газотурбинного наддува с преобразователями импульсов;
- одноступенчатая система газотурбинного наддува с силовой турбиной используется при  $p_{me} \approx 1,75-2,5$  МПа, что практически находится в том же диапазоне среднего эффективного давления для изобарной системы газотурбинного наддува;

- при  $p_{me} \approx 1,6-2,2$  МПа используется изобарная система газотурбинного наддува. Возможно импульсная система газотурбинного наддува с модульными преобразователями импульсов «достигла своей цели» и также попала в область изобарной системы газотурбинного наддува;
- двухступенчатая система газотурбинного наддува (схема ТК ВД+ТК НД) с изобарным подводом газов к турбине ВД имеет область использования по  $p_{me} = 2-3$  МПа. В эту область чётко входит и одноступенчатая система газотурбинного наддува с силовой турбиной (схема ТК+СТ) с изобарным подводом газов к ТК;
- особенный характер прослеживается у двухступенчатой системы газотурбинного наддува (схема ТК ВД+ТК НД) с импульсным подводом газов к турбине ВД. В основном она находится в диапазоне по  $p_{me} = 2,0-2,5$  МПа.

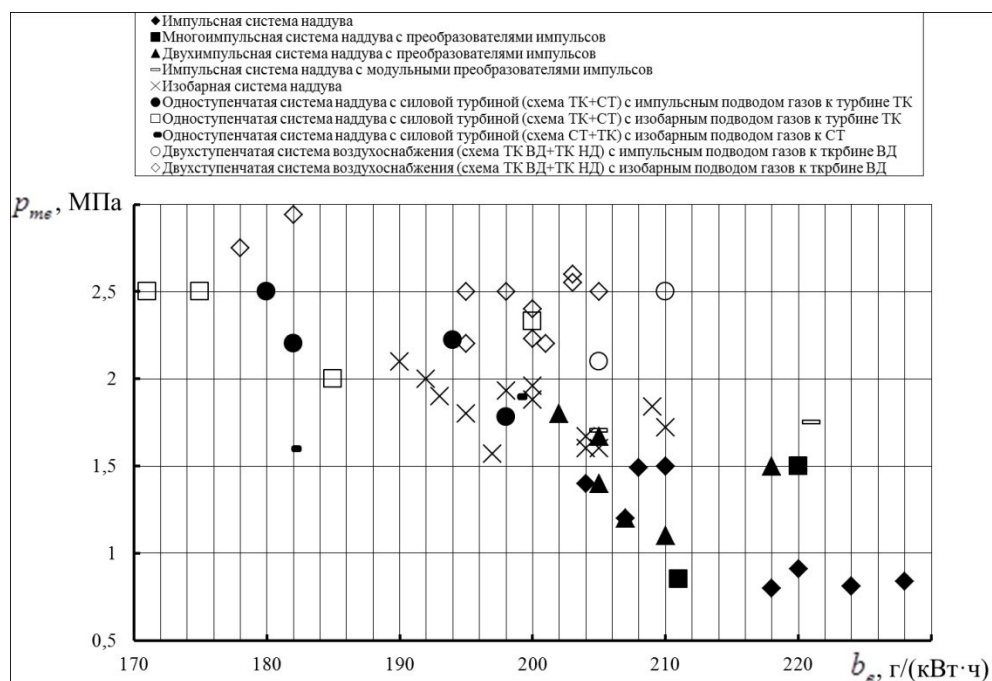


Рис. 3. Области использования различных систем газотурбинного наддува четырёхтактных судовых дизелей при форсировании по среднему эффективному давлению

Следует отметить, что в данной работе одноступенчатая система газотурбинного наддува с силовой турбиной рассматриваться не будет, так как это отдельный большой цикл исследования.

Как было отмечено выше, повышение  $p_{me}$  до 2,5 МПа и выше связано с необходимостью одновременного повышения КПД компрессора и расширения его диапазона работы по расходу воздуха. Однако с увеличением окружной скорости колеса компрессора  $u_2$  диапазон изменения расхода воздуха при  $u_2 = \text{const}$  сужается. Одновременно падает не только адиабатный КПД компрессора, но и КПД системы газотурбинного наддува в целом. Это является одной из проблем использования одноступенчатой системы газотурбинного наддува при высоком наддуве. Однако, с одной стороны, на конгрессе СИМАС в 2004 году были представлены доклады по турбокомпрессорам, которые имеют  $\pi_k = 3,5-4,5$  при сохранении достаточно

высокого КПД турбокомпрессора, что позволяет использовать одноступенчатую систему газотурбинного наддува при  $p_{me} > 2,5$  МПа [13,14,15]. С другой стороны, при таком уровне форсирования для расширения диапазона работы по расходу воздуха возможно применение двухступенчатой системы газотурбинного наддува со степенью повышения давления в обоих компрессорах намного меньших.

По сравнению с поршневым двигателем с одноступенчатой системой газотурбинного наддува, поршневой двигатель с двухступенчатой системой газотурбинного наддува имеет худшую приёмистость при одинаковом  $p_{me}$ . Это связано с тем, что той же энергией выпускных газов необходимо разгонять два турбокомпрессора вместо одного.

Однако КПД двухступенчатой системы газотурбинного наддува имеет более высокое значение по сравнению с КПД одноступенчатой системы газотурбинного наддува по следующим причинам:

- более полное использование энергии расширения в турбине;
- более высокий КПД компрессора и турбины (более низкие скорости потока), в том числе и за счёт снижения механических потерь;
- значительно более высокий уровень давления наддува и отсюда – возможность получения более высоких  $p_{me}$ ;
- возможность работы в более широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов (более широкое поле характеристик).

При изменении сечения соплового аппарата необходимо в целом рассматривать проточную часть турбин, поскольку весьма важно знать оптимальное распределение энергии, которая определяется степенью реактивности. Важное значение имеют величины коэффициента теоретической работы турбины ВД и НД и, соответственно, коэффициента расхода элементарной ступени. Как уже отмечалось выше, особое место занимают вопросы оценки потерь в турбинах ВД и НД, что определяет не только соответствующие КПД турбин, но и выбор системы газотурбинного наддува в целом.

Следует отметить, что эффективность двухступенчатой системы газотурбинного наддува в большей степени зависит от использования промежуточного охлаждения воздуха. Однако оценить влияние промежуточного охлаждения воздуха расчётным путём пока в полной мере не представляется возможным. Можно лишь только определить потери в ОНВ.

Для сравнения одно- и двухступенчатой систем газотурбинного наддува проводилось замкнутое моделирование рабочего процесса дизеля типа ЧН 26/34 при форсировании по  $p_{me}$  в пределах 1,5–4,0 МПа [12]. Исследования показали, что преимущество двухступенчатой системы газотурбинного наддува практически отсутствует до  $p_{me} \approx 2,5$  МПа, а затем нарастает с повышением уровня форсирования по среднему эффективному давлению. При  $p_{me} = 2,5$ –3 МПа удельный эффективный расход топлива дизеля при использовании двухступенчатой системы газотурбинного наддува становится ниже приблизительно на 2–5 %, чем при использовании одноступенчатой системы газотурбинного наддува, что говорит об эффективности использования первой при таком уровне форсирования. Также следует отметить, что температура выпускных газов перед турбиной для двухступенчатой системы газотурбинного наддува стала на 30 С° ниже, чем для одноступенчатой, что является следствием эффективного использования двухступенчатого охлаждения сжатого воздуха перед подачей в цилиндр дизеля.

Фирма «Митсуи» проводила исследования на дизеле 6ЧН 60/64 ( $p_{me} = 2,5$  МПа) с использованием одноступенчатых систем газотурбинного наддува (импульсной и

изобарной), а также с двухступенчатой системой газотурбинного наддува с промежуточным охлаждением воздуха [12]. Если принять данные (см. рис. 4), полученные при одноступенчатом импульсном наддуве, за исходные, то переход к двухступенчатой системе наддува даёт повышение удельного расхода воздуха  $\Delta g_b$  приблизительно на 0,38 кг/(кВт·ч), снижение температуры выпускных газов  $\Delta T_{g1}$  на 60 К и уменьшение удельного эффективного расхода топлива  $\Delta b_e$  более чем на 3 г/(кВт·ч). Всё это говорит о снижении потерь в элементах проточной части турбин и компрессоров и, тем самым, повышении КПД системы газотурбинного наддува в целом, а именно об эффективном использовании двухступенчатой системы газотурбинного наддува при данном уровне форсирования дизеля.

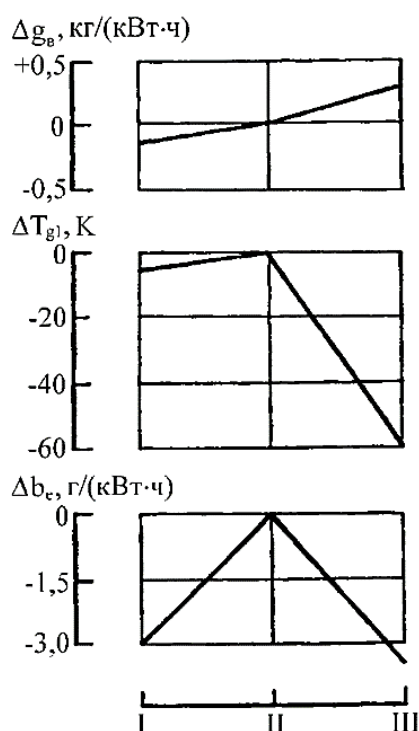


Рис. 4. Сравнение систем газотурбинного наддува: I – одноступенчатый наддув постоянного давления; II – то же импульсный; III – двухступенчатый наддув

Как было отмечено выше, пределы изменения одноступенчатой системы газотурбинного наддува определяются максимально допустимой величиной  $\pi_k$  и максимально возможным КПД турбокомпрессора. А максимально достижимое значение  $\pi_k$  обуславливает прочность турбинного и компрессорного колёс. Результаты испытаний показали [11], что для колёс компрессоров из кованного алюминиевого сплава допустимая окружная скорость составляет 530 м/с, которая соответствует  $\pi_k = 4,5-5,0$ . При использовании титана, возможно, будут достигнуты более высокие  $\pi_k$  с цельнолитыми колесами. Таким образом, при современном уровне технологии производство элементов турбокомпрессора, конструктивной прочности вращающихся деталей, возможности выбора материалов и других факторов возможно применение одноступенчатой системы газотурбинного наддува до  $\pi_k = 5,5-6,0$ .



Сравнительные испытания дизеля 6ЧН 20,3/29,3 с одно-и двухступенчатой системами газотурбинного наддува при  $p_{me} = 2,4$  МПа, проведённые фирмой Рахман, показали [12], что при использовании двухступенчатой системы газотурбинного наддува расход воздуха увеличивается на 25 %, а температура выпускных газов снижается на 20 % по сравнению с одноступенчатой системой газотурбинного наддува. Это говорит об эффективном использовании двухступенчатой системы газотурбинного наддува с точки зрения потерь при движении энергетического потока во впускной и выпускной системах при данном уровне форсирования дизеля.

Уровни форсирования поршневого двигателя по среднему эффективному давлению до  $p_{me} = 2,5$ –3,0 МПа возможны при применении одноступенчатых систем газотурбинного наддува и традиционных методов организации рабочего процесса. Так, в современных судовых СОД с диаметром цилиндров свыше 400 мм в результате форсирования по коэффициенту избытка воздуха при сгорании до  $\alpha = 1,5$ –1,6 при одноступенчатых системах газотурбинного наддува  $p_{me} = 2,0$ –2,3 МПа. Однако уже при  $p_{me} = 2$  МПа и выше применение одноступенчатых систем газотурбинного наддува может не обеспечить надёжную работу турбокомпрессора.

Возможно переход к двухступенчатым системам газотурбинного наддува снимет какие-либо ограничения в выборе величины давления наддува. Очевидно, на этом основывается предположение, высказываемое в некоторых прогнозах, что в отдельных типах четырёхтактных поршневых двигателей  $p_{me}$  возможно на уровне 3,5 МПа и выше.

Стремление увеличить удельную мощность повышенным форсированием рабочего процесса в результате высокого наддува вызывает необходимость оценки пределов форсирования поршневых двигателей по среднему эффективному давлению при увеличении давления наддува.

Основной причиной, ограничивающей увеличение уровня форсирования рабочего процесса поршневых двигателей путём повышения давления наддува, является рост механической напряжённости конструкции, определяемой максимальными давлениями сгорания  $p_{max}$ , и тепловой напряжённости. Помимо этих ограничений, можно проследить и тенденцию к некоторому ухудшению экономичности форсированных поршневых двигателей. Такая тенденция отражает как определенный рост механических потерь, так и некоторое относительное снижение индикаторного КПД поршневых двигателей с ростом их форсирования. Это объясняется необходимостью увеличения производительности насосов при повышении степени форсирования поршневого двигателя для обеспечения эффективного охлаждения цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного механизма и т. д.

Ограничение роста  $p_{max}$  уровнем 14–15 МПа при увеличении степени их форсирования до  $p_{me} = 2$  МПа и выше может вызвать, в свою очередь, некоторое ухудшение экономичности поршневого двигателя вследствие неизбежного растягивания процесса сгорания.

Таким образом, можно определить возможные пределы повышения уровня форсирования поршневых двигателей по наддуву:

- для достижения уровней форсирования поршневых двигателей, соответствующих  $p_{me} = 2,5$  МПа и выше, необходимо обеспечить давление наддува  $p_b = 0,5$  МПа и выше; при этом желательно получить соотношение давления наддува и давления перед турбиной  $p_b/p_T = 1,4$  и выше;
- для достижения уровней форсирования поршневых двигателей, превышающих  $p_{me} = 2$ –2,5 МПа, использование одноступенчатых систем газотурбинного наддува может оказаться нецелесообразным, так как при степенях повышения давления, больших 3,5–4, адиабатный КПД компрессора падает;

- при  $p_{me} = 3$  МПа и выше температура выпускных газов перед турбиной может оказаться в недопустимых пределах;
- удельный эффективный расход топлива при  $p_{me} = 3$  МПа и выше для четырёхтактных поршневых двигателей может оказаться значительным, хотя применение систем, обеспечивающих законы подачи топлива, приближающиеся к оптимальному, возможно, позволит снизить удельный расход топлива на 6–8 %.

### **Заключение**

Из вышесказанного видно, что поршневые двигатели, в частности судовые четырёхтактные дизели, характеризуются высокой степенью совершенства. Постоянно возрастающие требования, предъявляемые различными потребителями к параметрам дизелей, обуславливают необходимость доводки поршневых двигателей как по экономичности и долговечности, так и по мощностным и экологическим показателям. В настоящее время в отечественном и зарубежном двигателестроении решаются задачи по повышению уровня форсирования и улучшения параметров серийно выпускаемых дизелей. Одним из основных направлений при этом является оптимизация как параметров, так и систем газотурбинного наддува поршневых двигателей. Основным критерием при решении этих проблем является обеспечение высокого уровня КПД системы газотурбинного наддува и надёжности во всём диапазоне режимов работы поршневого двигателя.

Мировая практика двигателестроения показывает, что повышение  $p_{me}$  напрямую связано с ростом уровня давления наддува. Очевидно, что решение проблемы форсирования поршневого двигателя по  $p_{me}$  в сочетании с обеспечением широкого диапазона его работы, напрямую связано с выбором наиболее эффективной системы газотурбинного наддува. Причём эта проблема ещё более усугубляется при форсировании поршневого двигателя по  $p_{me}$  до 2,5 МПа и выше, так как совершенно неясна граница перехода от одноступенчатой системы газотурбинного наддува к двухступенчатой системе газотурбинного наддува. Таким образом, проблема выбора рациональной системы газотурбинного наддува поршневого двигателя при высоком наддуве ( $p_{me} > 2$  МПа) в настоящее время остаётся сложной, и её необходимо решать, используя современный теоретический и экспериментальный инструментарий.

### **Список литературы**

1. Конке Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. –М.: Машиностроение, 2005.– 512 с.
2. Бердник А.Н., Тимошенко Д.В., Пассар А.В. Выбор системы газотурбинного наддува высокооборотного судового дизеля // Морские интеллектуальные технологии. СПб.: Изд-во ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ», 2020. Т 1. № 1 (47). С. 60-65. DOI: 10.37220/MIT.2020.47.1.003.
3. Циннер К. Наддув двигателей внутреннего сгорания. – Л.: Машиностроение, 1978. – 283 с.
4. Лашко В.А., Бердник А.Н. Методы оценки эффективности систем газотурбинного наддува комбинированных двигателей внутреннего сгорания. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2006. – 118 с.
5. Passar A.V., Tymoshenko D.V., Faleeva E.V. Application of a New Design and Calculation Technology for Improving the Blading Section of the Engine with Turbine Supercharger // Defect and Diffusion Forum. 2019. Vol. 392, pp. 239-252.
6. Andre-Talamon Th. A new hyperbar engine for ship propulsion // SAE Techn. Pap. Ser. 1983. No. 830506. p. 13.

7. Borila Jurij G. A Sequential Turbocharging Method for Higly-Rated Truck Diesel Enginnes. // SAE Techn. Pap. Ser. 1986. No. 860074. p. 1-10.
8. Briner M. Sulzer RTA Low-speed engines – successful experience and continuing development. // HANSA. 1985. No. 14. p. 1467-1468.
9. Cerri Giovanni Regenerative supercharging of four-stroke internal combustion engines // SAE Techn. Pap. Ser. 1983. No. 830507. P. 1-7.
10. Jenny E., Guarmathu G. Zur Aufladung von Dieselmotoren // Brennstoff-Warmekraft. 1983. 35. Nu. 1-2. p. 40-45.
11. Ципленкин Г.Е., Дейч, Р.С., Иовлев В.И., Коженков А.А. Обзор докладов по газотурбинному наддуву на конгрессе CIMAC 2007 // Двигателестроение. 2008. № 1. С. 26–30.
12. Иванченко Н.Н., Красовский С.С., Соколов С.С. Высокий наддув дизелей. – Л.: Машиностроение, 1983. – 198 с.
13. Ципленкин Г.Е., Дейч, Р.С., Иовлев В.И. Обзор докладов по турбокомпрессорам на конгрессе CIMAC 2004 // Двигателестроение. 2005. № 4. С. 21-25.
14. Charlton S.J. A study of highly turbocharged high-speed diesel engine. // Inst. Mech. Eng. 1984. 198. No. 9. p. 231-239.
15. Held G. Stand der Technik der Abgasturboauflodung bei BBC-Informationsgesprach in Baden. // MTZ. 1986. 47. Nu. 3. p. 110-112.

#### References

1. Konks G.A., Lashko V.A. Mirovoe sudovoe dizelestroenie. Konceptii konstruirovaniya, analiz mezhdunarodnogo opyta [World marine diesel engineering. Design concepts, analysis of international experience]. Moscow. Mashinostroenie Publ., 2005. 512 p.
2. Berdnik A.N., Timoshenko D.V., Passar A.V. Vybory sistemy gazoturbinogo nadduva vysokooborotnogo sudovogo dizelya [Selection of supercharging system for high-speed marine diesel engine] Morskije intellektual'nye tekhnologii [Marine intellectual technologies]. 2020. T. 1. No. 1 (47). pp. 60-65. (In Russ.). DOI: 10.37220/MIT.2020.47.1.003.
3. Cinner K. Nadduv dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Turbocharging of internal combustion engines]. Leningrad. Mashinostroenie Publ., 1978. 283 p.
4. Lashko V.A., Berdnik A.N. Metody otsenki effektivnosti sistem gazoturbinogo nadduva kombinirovannykh dvigateley vnutrennego sgoraniya [Evaluation methods of efficiency of turbocharging system of combined internal combustion engines]. Khabarovsk. Pacific National University, 2006. 118 p.
5. Passar A.V., Tymoshenko D.V., Faleeva E.V. Application of a New Design and Calculation Technology for Improving the Blading Section of the Engine with Turbine Supercharger – Defect and Diffusion Forum. 2019. Vol. 392, pp. 239-252.
6. Andre-Talamon Th. A new hyperbar engine for ship propulsion // SAE Techn. Pap. Ser. 1983. No. 830506. p. 13.
7. Borila Jurij G. A Sequential Turbocharging Method for Higly-Rated Truck Diesel Enginnes. // SAE Techn. Pap. Ser. 1986. No. 860074. p. 1-10.
8. Briner M. Sulzer RTA Low-speed engines – successful experience and continuing development. // HANSA. 1985. No. 14. p. 1467-1468.
9. Cerri Giovanni Regenerative supercharging of four-stroke internal combustion engines // SAE Techn. Pap. Ser. 1983. No. 830507. P. 1-7.
10. Jenny E., Guarmathu G. Zur Aufladung von Dieselmotoren // Brennstoff-Warmekraft. 1983. 35. Nu. 1-2. p. 40-45.
11. Ciplenkin G.E., Dejch, R.S., Iovlev V.I., Kozhenkov A.A. Obzor dokladov po gazoturbinomu nadduvu na kongresse CIMAC 2007 [Review of reports on turbocharging at the CIMAC Congress 2007]. Dvigatelistroenie Engine building. 2008. No. 1. pp. 26-30. (In Russ.).
12. Ivanchenko N.N., Krasovskij S.S., Sokolov S.S. Vysokij nadduv dizelej [High turbocharging of diesel engines]. Leningrad: Mashinostroenie Publ., 1983. 198 p.

13. Ciplenkin G.E., Dejch, R.S., Iovlev V.I. Obzor dokladov po turbokompressoram na kongresse CIMAC 2004 [Review of reports on turbochargers at the CIMAC Congress 2004]. Dvigatelistroenie Engine building. 2005. No. 4. pp. 21-25. (In Russ.).
14. Charlton S.J. A study of highly turbocharged high-speed diesel engine. // Inst. Mech. Eng. 1984. 198. No. 9. p. 231-239.
15. Held G. Stand der Technik der Abgasturboaufloadung bei BBC-Informationsgesprach in Baden. // MTZ. 1986. 47. Nu. 3. p. 110-112.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Бердник Алексей Николаевич**, к.т.н.,  
доцент, доцент кафедры двигателей  
внутреннего сгорания, Тихоокеанский  
государственный университет, 680035, г.  
Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, e-mail:  
alex.bdk75@yandex.ru

**Aleksey N. Berdnik**, Ph.D. in Technical  
Sciences, Associate Professor of the Department  
Internal Combustion Engines, Pacific National  
University, 136 Tikhookeanskaya st, Khabarovsk,  
680035, , e-mail: alex.bdk75@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 29.11.2021; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 29.11.2021; published online 21.03.2022.

УДК 621.436.1

DOI: 10.37890/jwt.vi70.237

## **Формирование информационных потоков при диагностировании судовых энергетических установок**

**А.В. Кулагин**

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0271-4771>

*Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований  
материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации)  
Военной академии материально-технического обеспечения, С.-Петербург, Россия*

**Аннотация:** В статье рассмотрен системный подход к вопросу формирования информационных потоков по техническому состоянию судовой энергетической установки (СЭУ) для различных потребителей информации. Приведена методика оценки технического состояния СЭУ на основе вероятностных показателей состояния ее структурных элементов. Сущность предлагаемой методики сводится к последовательному применению метода декомпозиции СЭУ для определения наиболее информативных диагностических параметров (ДП), технического контроля ее составных элементов, обработки результатов диагностирования и предоставления информации потребителям. На примере структурных элементов главной энергетической установки теплохода сформулированы требования по периодичности контроля и определены наиболее информативные ДП.

**Ключевые слова:** судовая энергетическая установка, главная энергетическая установка, техническое диагностирование, система, системный подход, информация, модель.

## **Formation of information flows during diagnostics of ship power plants**

**Andrey V. Kulagin**

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0271-4771>

*Research Institute (Military-System Research of Material and Technical Support of Armed Forces of the Russian Federation) of Military Academy of Material and Technical Support;  
Russia*

**Abstract:** The article considers a systematic approach to the issue of the formation of information flows concerning the technical condition of the ship's power plant, for various consumers of information. The methodology for assessing the technical condition of the ship's power plant based on probabilistic indicators of the state of its structural elements is given. The essence of the proposed methodology consists in the coherent application of the ship's power plant decomposition method to determine the most informative diagnostic parameters (DPs), technical control of its constituent elements, processing of diagnostic results and providing information to consumers. On the example of the structural elements of the main power plant of the ship, the requirements for the frequency of monitoring are formulated and the most informative DPs are determined.

**Keywords:** ship power plant, main power plant, technical diagnostics, system, system approach, information, model.

## **Введение**

Развитие морских перевозок, климатические изменения, загрязнение Мирового океана, [1,2,3] обострили проблему диагностирования судовых энергетических установок (СЭУ) и их элементов. В частности, ряд производителей диагностического оборудования [4] пошел по пути контроля рабочих процессов. Алгоритмы контроля параметров индикаторной диаграммы являются основой диагностических комплексов зарубежных A.V.L. (Австрия), Kestler (Германия), Autronica (Норвегия) и отечественных НПК «Гарант», ООО «Техтранс Д» производителей. В основу работы этих систем положен контроль, прежде всего, внутрицилиндрового давления. Другими контролируемыми параметрами могут быть: температуры охлаждающей жидкости и выпускных газов, контроль вибрации (по определению момента впрыска топлива) и др.

Однако до настоящего времени прогнозирование работоспособности СЭУ основывается на вероятностных показателях. Значит существует необходимость комплексной оценки возможности эксплуатации СЭУ и их составных элементов в процессе эксплуатации судна.

**Целью данной статьи является:** разработка методики оценки технического состояния СЭУ по результатам технического диагностирования ее составных элементов.

## **Вербальная постановка задачи**

Приступая к вербальной постановке задачи исследования, необходимо определить, что должно получиться в результате исследования [5]. Эксплуатацией СЭУ занимаются две группы людей; с одной стороны, это экипаж судна (точнее, обслуживающий СЭУ персонал), с другой стороны, это судовладелец, осуществляющий планирование ремонтов и осуществляющий снабжение судна. Это различные люди, отличающиеся идеологией, мотивацией, профессиональной ориентацией и др. Соответственно, методика оценки технического состояния СЭУ должна отвечать ряду требований, обусловленных необходимостью постоянного контроля технического состояния СЭУ, основными из которых являются:

- назначенная достоверность;
- живучесть диагностического оборудования;
- надежность диагностической системы;
- минимальное время обработки информации;
- малая стоимость оборудования и затрат на эксплуатацию.

Следовательно, разрабатываемая методика должна быть: автоматизированной, то есть иметь возможность отображать результаты технической диагностики как на судне (как правило в центральном посту управления), так и у судовладельца; достоверной, то есть позволять эффективно планировать мероприятия восстановления технической готовности оборудования; надежной, то есть долговечной, ремонтпригодной, безотказной и сохраняемой; иметь привлекательную цену и малые затраты на эксплуатацию.

Объектом исследования является СЭУ, представляющая совокупность судовых технических средств, предназначенных для обеспечения движения судна, а также его снабжения различными энергосредствами (электричеством, теплом, пресной водой) [6].

Предметом исследования являются *информационные потоки*, характеризующие техническое состояние составных элементов СЭУ.

### СЭУ как объект технического диагностирования

В общем случае СЭУ состоит из главной энергетической установки (ГЭУ), вспомогательной энергетической установки (ВЭУ) и электроэнергетической системы (ЭЭС), рис.1. Каждая составная часть СЭУ обеспечивает критически важные для судна и экипажа действия и генерирует энергоресурсы. С точки зрения формирования информационных потоков необходимо выделять критически важные сведения из общей массы сведений. Например, для грузового судна с ГЭУ на органическом топливе на основе углерода критически важные сведения приведены в табл.1.

Определение критически важных сведений о состоянии СЭУ может производиться различными методами. Для решения задач поддержки принятия решений, целесообразно использовать метод анализа иерархий [7]. Не останавливаясь подробно на методе, необходимо пояснить выбор шкалы сравнений для оценки приоритетов выбора решений. При выборе шкалы сравнений для определения приоритета выбора оценка производится через «веса» альтернативных решений. При этом физически «веса» определяются предпочтительностью и значимостью выбора.



Рис. 1. Составные элементы судовой энергетической установки

Следующим шагом является определение временных параметров формирования информационных потоков. Иными словами, необходимо определить какая информация в какой временной интервал должна поступать для формирования объективной оценки технического состояния СЭУ. Ряд исследований [8,9,10] не дают ответа на вопрос, как часто необходимо проводить исследования диагностических параметров для технической оценки состояния исследуемого оборудования, в частности дизельного двигателя. Другие исследования [11,12] показывают, что контроль диагностических параметров необходимо осуществлять постоянно.

*Таблица 1*

**Пример критически важных сведений о состоянии СЭУ теплохода для формирования информационных потоков**

Сведения о ВЭУ	Сведения о ГЭУ	Сведения о ЭЭС
Сведения о состоянии водоопреснительной установки Сведения о состоянии компрессорной установки	Сведения о состоянии главного двигателя Сведения о состоянии главного упорного подшипника	Сведения о дизель-генераторе (первичного двигателя и генераторной частей) Сведения о коммутационной аппаратуре

Анализ опыта эксплуатации СЭУ позволяет сделать вывод, что различные элементы и, прежде всего, поршневые машины, требуют различной интенсивности контроля. Применительно к судовым дизельным двигателям постоянный контроль требуется осуществлять за параметрами моторного масла, температуры охлаждающей жидкости и выхлопных газов, а периодический контроль должен осуществляться за внутрицилиндровым давлением, частотой вращения коленчатого вала и вибрацией, табл. 2.

*Таблица 2*

**Периодичность контроля диагностических параметров судового дизельного двигателя**

Диагностический параметр	Периодичность контроля
Температура моторного масла	постоянно
Давление моторного масла в масляной системе	постоянно
Изменение объема моторного масла в масляной системе	не реже 1 раза в 4 часа
Содержание в моторном масле примесей (воды, металла и т.д.)	не реже 1 раза в сутки
Перепад температуры охлаждающей жидкости (на входе и выходе из дизельного двигателя)	постоянно
Температура выхлопных газов	постоянно
Оценка компрессии в цилиндро-поршневой группе	в период проведения ППО и ППР
Оценка разрежения или роста давления в картере	в период проведения ППО и ППР
Изменение расхода топлива, на каждом режиме работы дизельного двигателя	как правило, не реже 1 раза в 4 часа
Изменение давления в топливной системе	постоянно
Измерение зазора в сопряжениях коленчатого вала	в период проведения ППО и ППР
Измерение разницы давлений в камерах сгорания цилиндров	как правило, не реже 1 раза в сутки
Вибрация коленчатого вала	в период проведения ППО и ППР



### Информационные потоки как основа технической диагностики СЭУ

С целью структурирования и определения взаимосвязей в информационных потоках по техническому состоянию СЭУ потребителям необходимо представить эти потоки как системную модель. Под *моделью* будем рассматривать логическое представление об объекте, объединяющие наиболее значимые закономерности в ее структуре и закономерности в процессе ее функционирования [13]. Рассматривая модель информационных потоков, необходимо ее классифицировать как материальную, искусственную [14]. Иными словами, система рассматривается как объект реального мира, созданный человеком, при этом роль человека в процессах функционирования, по мере совершенствования системы, уменьшается. Основными элементами модели следует определить ее ценность, информационный ресурс и организационную архитектуру [15].

Тут под *ценностью системной модели* понимается инфраструктура, используемая для формирования и передачи информационного потока потребителям.

Под *информационным ресурсом модели* понимается инфраструктура, используемая для обработки, хранения и распределения информации.

Под *организационной архитектурой модели* понимается организационная структура, используемая для обслуживания и управления системной модели.

Таким образом, рассматривая информационные потоки, необходимо систематизировать их структурные элементы, проанализировать финансовые затраты на их формирование и передачу информации, а также оценить их эффективность, с точки зрения информативности для оценки технического состояния структурных элементов СЭУ, рис. 2.

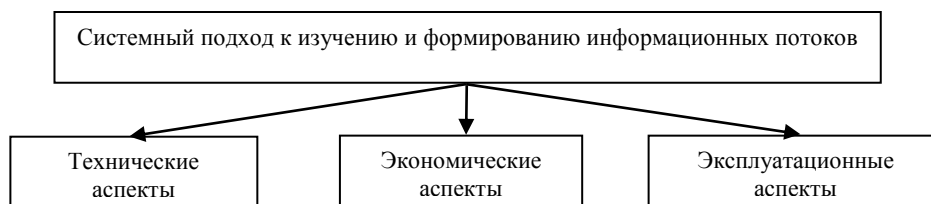


Рис. 2. Системный подход к изучению и формированию информационных потоков

Применительно к теплоходам, информационные потоки должны формироваться исходя из критериев оптимальной достаточности информации, скорости ее сбора, передачи и обработки, кроме того, ее достоверности. Например, для оценки технического состояния системы «главный двигатель – гребной винт», необходимо продиагностировать пять структурных элементов, рис. 3. При этом необходимо учитывать качественные показатели информационных потоков. Судовладельца, находящегося за сотни тысяч миль от эксплуатируемого судна, будут интересовать вопросы: оборудование исправно или неисправно и остаточный ресурс (прежде всего для планирования судоремонта). Эксплуатирующий СЭУ персонал нуждается в большем объеме информации, для прогнозирования работоспособности отдельных узлов и деталей оборудования СЭУ, оценки их надежности (а для специальных судов, кроме того, и оценки их живучести).

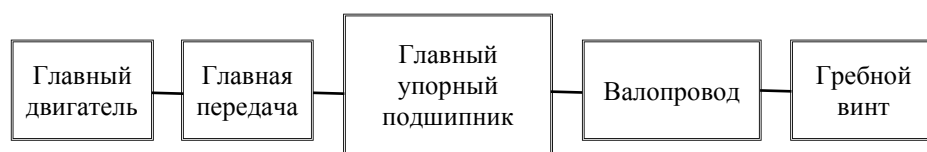


Рис. 3. Диагностическая модель технического состояния системы «главный двигатель – гребной винт»

Экономически целесообразно создать единую диагностическую модель СЭУ. Исходными данными для этой работы могут служить: трудоемкость сбора и обработки информации (преимущественно с использованием автоматического режима, где невозможно собрать данные в автоматическом режиме данные собираются обслуживающим персоналом и в ручном режиме, затем вводятся в программно-аппаратный комплекс для последующей обработки, например данные по измерениям разницы давлений в камерах сгорания цилиндров), затраты ресурсов на формирование двух информационных потоков (обслуживающему персоналу и судовладельцу), трудозатраты на обработку информации по техническому состоянию СЭУ (автоматическую или полуавтоматическую), кроме того, формирование заявки на поставку материалов, необходимых для ремонта, а так же заказ необходимых для этого мощностей на судоремонтном предприятии.

#### Вероятностная модель диагностирования судовой энергетической установки

Рассматривая любую диагностическую модель оценки технического состояния системы, необходимо определить требования потребителей информации к самой информации. Так, потребителями информации о функционировании системы «главный двигатель – гребной винт» являются экипаж судна и судовладелец, к другим потребителям можно отнести надзорные органы, в частности портовые службы, транспортную и природоохранную прокуратуры и т.д. Информация, необходимая для каждого потребителя, разнится и отличается по количеству, качеству и времени обновления.

Особенностью формирования информационных потоков для судовладельца является: необходимость передачи информационных массивов при помощи систем беспроводной связи. С целью оптимального планирования использования судна, судовладельцу необходимо знать исправно оборудование или нет и прогнозируемый ресурс сохранения оборудованием работоспособного состояния.

Ответ на первый вопрос можно представить в виде *бинарной системы* двух событий  $x$ , выраженной через вероятность их наступлений:

$$P(x_1) + P(x_2) = 1 \quad (1)$$

где  $x$  – событие, выражаемое через состояние оборудования;

$P$  – вероятность нахождения оборудования в одном из двух возможных состояний.

Ответ на второй вопрос получается путем обработки информации о техническом состоянии элементов системы. Иными словами, мы имеем *неопределенность* распределения вероятности, количественно выраженную *энтропией* информации [16]. Тогда по теории информации, информационный поток о состоянии системы в каждую единицу времени, можно представить уравнением, характеризующим ее состояние:

$$H = \sum_{i=1}^n P_i \log_2 \frac{1}{P_i}, \quad n \in R \quad (2)$$

где  $H$  – информационная энтропия;  
 $P_i$  – вероятность нахождения системы в состоянии  $i$ ;  
 $n$  – число возможных состояний системы.

Энтропия является математическим ожиданием количества информации в рассматриваемом событии, дающая минимальное количество информации, для определения количества символов, выбираемых из распределения  $P_i$  (2).

В выражении (2),  $\log_2$  означает, что за количественную оценку степени неопределённости принимается неопределённость, отражающая состояние элементов системы. При этом каждый элемент системы имеет две равновероятных оценки ("исправно" или "неисправно").

Если преобразовать уравнение (2) для информационной энтропии несвязанных событий, имеющих случайный характер, то информационная энтропия, характеризующая состояние системы определяется следующим выражением:

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i, \quad n \in R \quad (3)$$

### **Выводы**

Применяя автоматизированные (полуавтоматизированные) системы сбора, хранения и обработки информации о техническом состоянии судовых сложных технических систем и в первую очередь о СЭУ, возможно добиться существенного снижения эксплуатационных затрат. Главным преимуществом предложенной модели является возможность прогнозировать остаточный ресурс оборудования и на основании этой информации осуществлять планирование мероприятий судоремонта, включая:

- определение требуемого количества запасных частей и принадлежностей (ЗИП), их номенклатуры;
- своевременная закупка ЗИП с минимизацией затрат на хранение;
- планирование аренды (выделения) судоремонтных мощностей;
- поиск исполнителей судоремонтных работ;
- уточнение технологии производства судоремонтных работ и т.д.

При формировании информационных потоков особое внимание необходимо уделять их качественной оценке. Необходимая для обслуживающего персонала по техническому состоянию СЭУ, скорее всего, будет излишней для судовладельцев. При этом, на данном этапе развития, применение технологий искусственного интеллекта по экономическим причинам нецелесообразно.

### **Список литературы**

1. Валиуллина К.Б. Международно-правовая охрана и защита Мирового океана от загрязнения: Дис. кандидата юридических наук: 12.00.10 / Валиуллина Ксения Борисовна; ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» - Казань, 2018 - 251 с.
2. Craik N. The International Law of Environmental Impact Assessment: Process, Substance and Integration / N. Craik. - Cambridge: Cambridge University press, 2008. - 358 p.,

3. Bastmeijer K., Koivurova T. Conclusions: globalisation of transboundary environmental impact assessment / K. Bastmeijer, T. Koivurova // Theory and Practise of Transboundary Environmental Impact Assessment. - Leiden: Martinus Nijhoff. 2008. - P. 347-389.
4. Соловьев А.В. Системы мониторинга судовых дизелей в эксплуатации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. – Астрахань: АГТУ, 2018.— №1. – С. 87–92.
5. Воловиков, Б. П. Стратегическое бизнес-планирование на промышленном предприятии с применением динамических моделей и сценарного анализа: Монография / Б.П. Воловиков - Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 226 с. (Научная мысль) ISBN 978-5-16-010608-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/496225> (дата обращения: 06.01.2022),
6. Богатырева Е.В., Ивановская А.В. Поисковые методы оптимизации параметров судовых энергетических установок «Общество, образование, наука в современных парадигмах развития» Материалы Национальной научно-практической конференции ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь 16 ноября 2020 года г. Керчь,
7. Saaty T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process // Management Science, 1986, July. – Vol, 32 N7 – P.841-855
8. Гаврилов В. В. Принципы построения иерархического комплекса систем диагностирования судового дизеля / Владимир Васильевич Гаврилов, Владимир Юрьевич Машенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. - 2016. - № 3(37). - С. 155-166. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-155-166,
9. Якимов И.В. Метод диагностики электрогидравлических форсунок автомобиля с дизельным двигателем по параметрам давления и расхода топлива в общей обратной магистрали: Автореферат дис. кандидата технических наук: 05.22.10 // Якимов Игорь Владимирович; ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» - Иркутск, 2020 - 20 с.
10. Конькова И.Д. Диагностирование тепловозного дизеля по сигналу скорости изменения внутрицилиндрового давления: Дис. кандидата технических наук: 05.22.07 // Конькова Ирина Дмитриевна; ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» - Хабаровск, 2020 - 146 с.,
11. Алехин А.С. Оценка технического состояния судовых двигателей внутреннего сгорания по неравномерности частоты вращения коленчатого вала: Автореферат дис. кандидата технических наук: 05.08.05 // Алехин Алексей Сергеевич; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» - Новосибирск, 2017 - 19 с.,
12. Минаков В.А. Совершенствование технологии диагностирования тепловозного дизеля по результатам контроля содержания продуктов износа в моторном масле: Автореферат дис. кандидата технических наук: 05.22.07 // Минаков Виталий Анатольевич; ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения» - Омск, 2019 - 19 с.,
13. Горлушкина Н.Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем. – СПб: Университет ИТМО, 2016 – 120 с.,
14. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем СПб, Моринтех, 2001 с. 432,
15. Меняев М.Ф. Системное моделирование информационных процессов производственной организации // «Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана» Электронный журнал - 2011. - № 5. - <http://technomag.edu.ru/doc/180680.html>, (дата обращения 08.01.2022),
16. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / перевод с англ. А.А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с.

### References

1. Valiullina K.B. International legal protection and protection of the World ocean from pollution: Dis. Candidate of Legal Sciences: 12.00.10 / Valiullina Ksenia Borisovna; Kazan (Volga Region) Federal University - Kazan, 2018 - 251 p.
2. Craik N. The International Law of Environmental Impact Assessment: Process, Substance and Integration / N. Craik. - Cambridge: Cambridge University press, 2008. - 358 p.,
3. Bastmeijer K., Koivurova T. Conclusions: globalisation of transboundary environmental impact assessment / K. Bastmeijer, T. Koivurova // Theory and Practise of Transboundary Environmental Impact Assessment. - Leiden: Martinus Nijhoff. 2008. - P. 347-389.,
4. Soloviev A.V. Monitoring systems of marine diesel engines in operation // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Ser. Marine engineering and technology. - Astrakhan: AGTU, 2018. - No. 1. - pp. 87-92,
5. Volovikov, B. P. Strategic business planning at an industrial enterprise using dynamic models and scenario analysis: Monograph / B.P. Volovikov - Moscow : SIC INFRA-M, 2015. - 226 p. (Scientific Thought) ISBN 978-5-16-010608-3. - Text : electronic. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/496225> (accessed: 06.01.2022),
6. Bogatyreva E.V., Ivanovskaya A.V. Search methods for optimizing parameters of ship power plants "Society, education, science in modern development paradigms" Materials of the National Scientific and Practical Conference of the Kerch State Marine Technological University, Kerch, November 16, 2020 Kerch,
7. Saaty T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process // Management Science, 1986, July. – Vol, 32 N7 – P.841-855,
8. Gavrilov V. V. Principles of building a hierarchical complex of ship diesel diagnostics systems / Vladimir Vasilyevich Gavrilov, Vladimir Yuryevich Mashchenko // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of the Sea and River Fleet. - 2016. - № 3(37). - C. 155-166. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-155-166,
9. Yakimov I.V. Method of diagnostics of electrohydraulic injectors of a car with a diesel engine according to the parameters of pressure and fuel consumption in the common return line: Abstract of the dissertation of the Candidate of technical sciences: 05.22.10 // Yakimov Igor Vladimirovich; Irkutsk National Research Technical University - Irkutsk, 2020 - 20 p.,
10. Konkova I.D., Diesel locomotive diagnostics by the signal of the rate of change of the intracylinder pressure: Dis. Candidate of Technical Sciences: 05.22.07 // Konkova Irina Dmitrievna; Far Eastern State University of Railway Engineering - Khabarovsk, 2020 - 146 p.,
11. Alekhin A.S. Assessment of the technical condition of marine internal combustion engines by the uneven rotation frequency of the crankshaft: Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences: 05.08.05 // Alekhin Alexey Sergeevich; Siberian State University of Water Transport - Novosibirsk, 2017 - 19 p.,
12. Minakov V.A. Improving the technology of diesel locomotive diagnostics based on the results of monitoring the content of wear products in engine oil: Abstract of the dissertation of Candidate of Technical Sciences: 05.22.07 // Minakov Vitaly Anatolyevich; Omsk State University of Railway Engineering - Omsk, 2019 - 19 p.,
13. Gorlushkina N.N. System analysis and modeling of information processes and systems. - St. Petersburg: ITMO University, 2016 - 120 p.,
14. Gaikovich A.I. Fundamentals of the theory of designing complex technical systems St. Petersburg, Morintech, 2001 p. 432,
15. Menyaev M.F. System modeling of information processes of a production organization // "Science and education: scientific edition of Bauman Moscow State Technical University" Electronic journal - 2011. - No. 5. - <http://technomag.edu.ru/doc/180680.html>, (accessed 08.01.2022),
16. Goodfellow Ya., Benjio I., Courville A. Deep learning / translated from the English by A.A. Slinkin. M.: DMK Press, 2018. P. 652.

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

**Кулагин Андрей Владимирович**  
научный сотрудник; Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации) Военной академии материально-технического обеспечения; Российская Федерация, 191123, г. Санкт-Петербург, Вознесенская набережная, 10 а, e-mail: Ku199121@mail.ru

**Andrey V. Kulagin**  
Researcher; Research Institute (Military-System Research of Material and Technical Support of Armed Forces of the Russian Federation) of Military Academy of Material and Technical Support; Russian Federation, 191123, St. Petersburg, Voznesenskaya embankment, 10 a, e-mail: Ku199121@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.01.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 18.01.2022; published online 21.03.2022.

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi70.238

## **Замкнутые системы охлаждения судовых энергоустановок с теплоотводом через судовую обшивку**

**К.Ю. Федоровский<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5345-6851>

**Н.К. Гриненко<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7406-9532>

<sup>1</sup>*Севастопольский государственный университет, г.Севастополь, Россия*

**Аннотация.** Проанализированы недостатки широко распространенных разомкнутых систем охлаждения судовых энергетических установок. Показано, что в результате морям наносится существенный экологический ущерб. Эксплуатация таких систем в загрязненной акватории может привести к засорению системы и её аварийной остановке. Рассматривается вопрос различных вариантов создания замкнутых систем охлаждения с теплоотводом через судовую обшивку. При этом исключается необходимость приема забортной воды. Приведены экспериментальные данные для устройств лабиринтного и струйного типов. Причем последние отличаются большей простотой конструкции. Определены обобщающие уравнения подобия, описывающие происходящие процессы. Сопоставлены достигаемые коэффициенты теплоотдачи на внутренней поверхности обшивки корпуса судна. Определено, что струйные устройства характеризуются лучшими показателями по сравнению с лабиринтными. Разница становится наиболее ощутимой при движении судна по сравнению со случаем стоянки судна. Это позволяет рекомендовать струйные устройства к более широкому внедрению в практику судостроения.

**Ключевые слова:** судовая энергетическая установка, система охлаждения, струйный подвод, лабиринтный канал, коэффициент теплоотдачи, экологический ущерб, обшивка корпуса судна.

## **Closed cooling systems of ship power plants with heat sleeve through ship's cladding**

**Konstantin Yu. Fedorovsky<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5345-6851>

**Nadezhda K. Grinenko<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7406-9532>

<sup>1</sup>*Sevastopol State university, Sevastopol, Russia*

**Abstract.** The drawbacks of widespread open-loop cooling systems for ship power plants are analyzed. It is shown that as a result, the seas are caused significant environmental damage. The operation of such systems in a polluted water area can lead to clogging of the system and its emergency shutdown. The issue of various options for creating closed cooling systems with heat removal through the ship's hull plating is considered. This eliminates the need to receive seawater. Experimental data for labyrinth and jet type devices are presented. Moreover, the latter are distinguished by a greater simplicity of design. Generalizing similarity equations describing the ongoing processes are determined. The achieved heat transfer coefficients on the inner surface of the ship's hull plating are compared. It has been determined that jet devices are characterized by better indicators in comparison with labyrinth ones. The difference becomes most noticeable with the vessel moving, compared to

the case of anchorage. This allows us to recommend jet devices for wider implementation in shipbuilding practice.

**Keywords:** ship power plant, cooling system, jet supply, labyrinth channel, heat transfer coefficient, environmental damage, ship hull plating.

### Введение

В настоящее время наибольшее распространение получили разомкнутые двухконтурные системы охлаждения (рис. 1) судовых энергетических установок (СЭУ), предусматривающие потребление забортной воды [1].

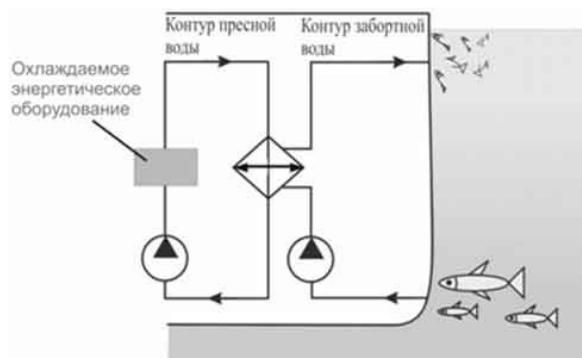


Рис. 1. Схема 2-х контурной системы охлаждения СЭУ

Однако такие системы при нахождении судна в загрязненной акватории зачастую не обеспечивают требуемой надежности. Нередки случаи, когда из-за засорения системы прекращается циркуляция забортной воды, что неизбежно приводит к аварийной остановке энергетической установки.

В настоящее время все большее внимание уделяется негативным экологическим аспектам, связанных с эксплуатацией таких систем. Так, например, в Международном кодексе по управлению безопасностью [2, 3] в качестве одной из его основных целей четко указывается на необходимость исключения нанесения ущерба морской среде. Вода в акватории содержит планктон, а также икринки рыб и мальков. Все они включены в пищевую цепочку морей и океанов, являясь ее основой. Применяемые на судах фильтры, а в некоторых случаях рыбозащитные устройства, не препятствуют попаданию этих, часто микроскопических, организмов в систему охлаждения. Попав в систему охлаждения большая часть планктона погибает, поскольку проходит через насосы, теплообменники и другие элементы системы. Это подтверждено многочисленными исследованиями, проведенными гидробиологами. Данный факт подтвержден результатами многочисленных исследований гидробиологов [4]-[6]. Проведенные Институтом морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН оценочные расчеты показали, что одна плавучая буровая платформа с мощностью СЭУ 5000 кВт только за три летних месяца уничтожает около 200 тонн рыб промысловых видов.

Около трети проектов вновь создаваемых судов в той или иной степени используют замкнутые системы охлаждения (ЗСО), не требующие забора морской воды [7]. Водный кодекс РФ [8] так же однозначно указывает на необходимость более широкого внедрения замкнутых технологий использования воды.



В ЗСО теплоотвод может осуществляться с применением различных устройств, например бокскуллеров, судовых обшивочных теплообменных аппаратов (ОТОА) и т.д. [9]-[11].

Рассмотрим более детально вопрос отвода теплоты с помощью ОТОА. В таких устройствах подвод охлаждаемой пресной воды к судовой обшивке с внутренней стороны может быть выполнен по-разному. Часто можно встретить такие аппараты лабиринтного типа (рис. 2). В результате установки дополнительных элементов 3 формируется лабиринтный канал 4, по которому движется охлаждаемая пресная вода, циркулирующая по замкнутому контуру. Такие аппараты нашли достаточно широкое распространение на судах различного назначения [12]- [15].

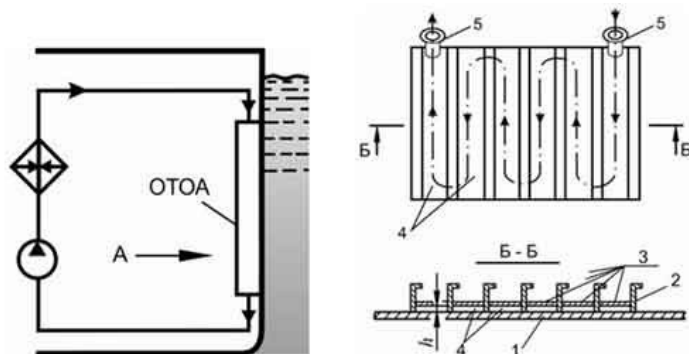


Рис. 2. ОТОА лабиринтного типа: 1 – судовая обшивка; 2 – элементы набора корпуса судна; 3 – дополнительные листы; 4 – лабиринтный канал; 5 – парубки подвода и отвода теплоносителя

Однако такие аппараты увеличивают трудоемкость работ, связанных с изготовлением корпуса судна. Необходим поиск вариантов отвода теплоты через судовую обшивку, имеющих меньшую трудоемкость изготовления и стоимость.

Одним из таких вариантов является использование имеющихся на судне цистерн забортной воды. В практике известны случаи, когда разомкнутая система охлаждения забортной водой на некоторое время переключается на такие цистерны, что исключает на необходимость приема воды из акватории (рис. 3). Обычно вода контура забортной воды системы просто сбрасывается в цистерну и забирается из неё без каких-либо попыток организовать её движение вдоль смоченной забортной водой части обшивки судна. Время работы по такой схеме ограничено и зависит от объема воды в цистерне, мощности энергетической установки, начальной температуре воды в цистерне, площади поверхности цистерны, контактирующей с забортной водой и эффективности теплоотвода через судовую обшивку.

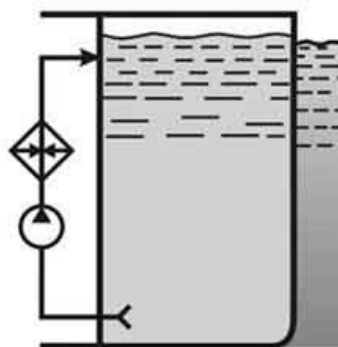


Рис. 3. Схема ОТОА теплоаккумулирующего типа

Целесообразно рассмотреть вопрос возможности увеличения времени работы системы охлаждения по данной схеме за счет увеличения эффективности теплоотвода через судовую обшивку. Это может быть сделано за счет использования струйного подвода охлаждаемой воды (рис. 4). С этой целью вдоль судовой обшивки 1 выполняется коллектор подвода охлаждаемой воды 3 с системой сопел 4, направленных в сторону судовой обшивки 1.

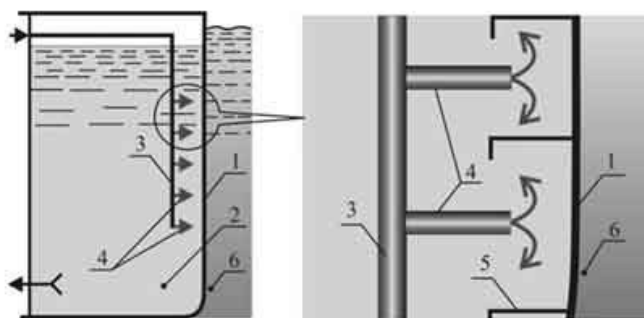


Рис. 4. Схема ОТОА струйного типа: 1 – обшивка корпуса судна; 2 – цистерна; 3 – коллектор подвода охлаждаемой воды; 4 – сопла; 5 – элементы набора корпуса судна; 6 – забортная вода

### Методы

В ходе выполнения работ использовались визуальные методы исследования течения жидкости. Применительно к ОТОА лабиринтного типа была создана модель такого канала и реализованы методы визуализации течения. Аналогичные методы были применены для визуализации течения жидкости в случае ОТОА струйного типа.

Экспериментальные теплотехнические исследования проводились на установке, моделирующей систему охлаждения СЭУ. В используемых моделях ОТОА лабиринтного и струйного типов охлаждаемая горячая вода подавалась на стенку, моделирующую обшивку корпуса судна, которая уже с другой стороны охлаждалась забортной водой. Площадь теплопередающей стенки в первом случае составляла 1м<sup>2</sup>, а во втором – 0,25 м<sup>2</sup>. Схема экспериментальной модели ОТОА струйного типа представлена на рисунке 5.

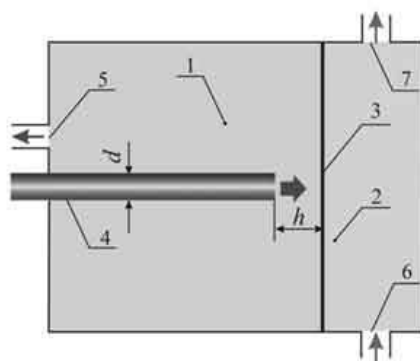


Рис.5. Схема экспериментальной модели ОТОА струйного типа  
 1 — полость горячей (охлаждаемой) воды; 2 — полость охлаждающей воды;  
 3 — теплопередающая стенка; 4 и 5 — соответственно патрубки подвода и отвода горячей воды; 6 и 7 — соответственно патрубки подвода и отвода охлаждающей воды

Струя горячей воды на выходе сопла 4 натекает на стенку 3, моделирующую судовую обшивку. В результате на судовой обшивке формируется радиально растекающаяся струя жидкости, требующей охлаждения.

В моделях обоих типов измерялись температуры и расходы жидкостей, а так же температуры поверхностей, моделирующих судовую обшивку. Полученные в ходе работы экспериментальные данные позволили определить величины, характеризующие эффективность процессов теплоотвода через судовую обшивку.

### Результаты

Поскольку процесс теплоотдачи в забортную воду достаточно полно исследован и имеются расчетные зависимости [16], то следует сосредоточить внимание на сопоставлении эффективности теплоотдачи пресной воды, движущейся в лабиринтном канале и вытекающей из сопла.

Визуальные исследования течения жидкости в ОТОА лабиринтного типа (рис. 6) показали, что в местах поворота периодически осуществляется дополнительная турбулизация потока, что неизбежно положительно сказывается на теплоотдаче.

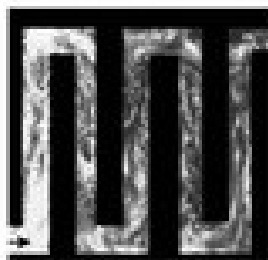


Рис.6. Течение жидкости в ОТОА лабиринтного типа

Поведенные теплотехнические исследования и обобщающая обработка полученных экспериментальных данных (рис. 7) позволили определить уравнение подобия (1), справедливое в диапазоне изменения  $8000 < Re < 330000$ ;  $2,1 < Pr_{ж} < 3,9$ ;  $1,9 \cdot 10^{-2} < d_{ж} / l_{н} < 7,8 \cdot 10^{-2}$ ;  $0,8 < Pr_{ж} / Pr_{c1} < 0,94$ ;  $1,0 < \bar{t}_{*} / \bar{t}_{c1} < 1,2$ .

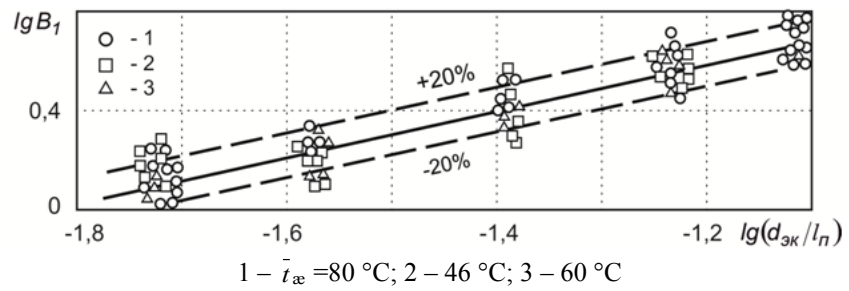


Рис. 7. Зависимость  $\lg B_1$  от  $\lg(d_{\text{эк}}/l_{\text{п}})$  для ОТОА лабиринтного типа

$$B_1 = \frac{\overline{Nu}_1}{Re^{0,4} Pr_{\text{ж}}^{0,4} (Pr_{\text{ж}} / Pr_{\text{с1}})^{0,25} (\bar{t}_{\text{ж}} / t_{\text{с1}})^{-3,0}}$$

$$\overline{Nu}_1 = 46 Re^{0,4} Pr_{\text{ж}}^{0,4} \left( \frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_{\text{с1}}} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{d_{\text{эк}}}{l_{\text{п}}} \right)^{0,9} \cdot \left( \frac{\bar{t}_{\text{ж}}}{t_{\text{с1}}} \right)^{-3,0} \quad (1)$$

Данное уравнение подобия позволяет рассчитать теплоотдачу в широком диапазоне изменения параметров и, в конечном счете, определить значение коэффициентов теплопередачи и требуемую площадь ОТОА лабиринтного типа.

В случае аппарата струйного типа результаты визуальных исследований показаны на рисунке 8. Фотографии сделаны со стороны теплопередающей стенки (обшивки корпуса судна). Наглядно видна радиально растекающаяся пристенная струя. При этом характер её течения существенно зависит от числа Рейнольдса.

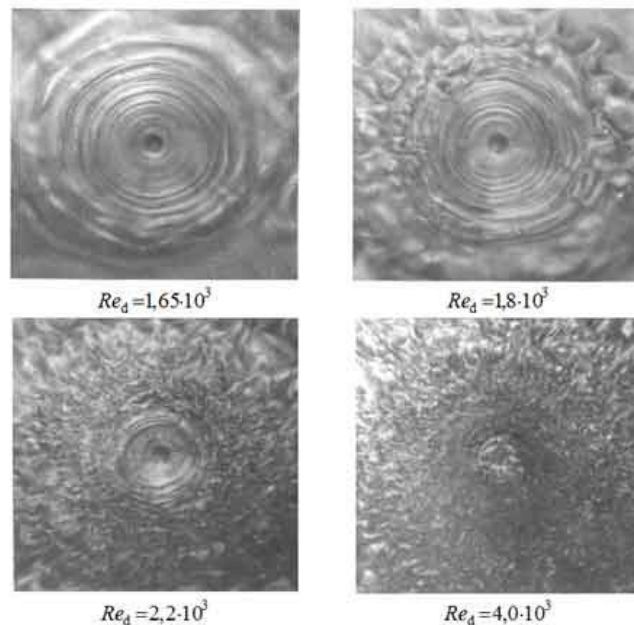


Рис. 8. Течение жидкости в ОТОА струйного типа при различных числах Рейнольдса

Хорошо видна возрастающая с увеличением числа Рейнольдса достаточно высокая турбулизация потока пристенной струи, что должно обеспечивать высокие значения коэффициента теплоотдачи.

Были проведены многочисленные теплотехнические исследования (рис. 9), которые для случая струйного подвода позволили определить обобщающие уравнения подобия (2,3,4)

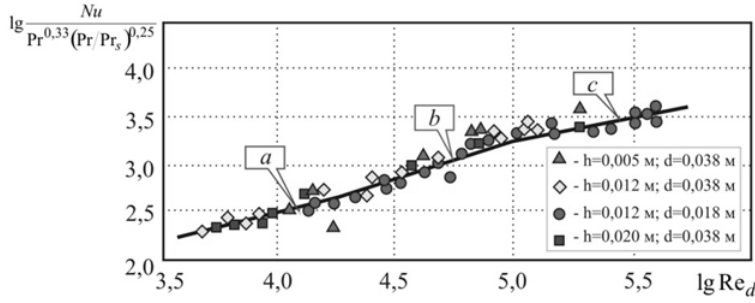


Рис. 9. Зависимость  $\lg \frac{Nu}{Pr^{0,33}(Pr/Pr_s)^{0,25}}$  от  $\lg Re_d$  в случае ОТОА струйного типа при

$R = 0,25 \text{ м}; Re_d = 5 \cdot 10^3 \dots 4 \cdot 10^5; Pr = 2,54 \dots 4,87; Pr/Pr_s = 0,66 \dots 0,96;$   
 $h/d = 0,13 \dots 0,67; R/d = 6,6 \dots 13,9;$   
 а —  $Re_d = 5 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^4$ ; б —  $Re_d = 2 \cdot 10^4 \dots 10^5$ ; в —  $Re_d = 10^5 \dots 4 \cdot 10^5$

при  $Re_d = 5 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^4$

$$Nu = 5,7 \cdot Re_d^{0,45} Pr^{0,33} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (2)$$

при  $Re_d = 2 \cdot 10^4 \dots 10^5$

$$Nu = 0,15 \cdot Re_d^{0,83} Pr^{0,33} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (3)$$

$$Nu = 26 \cdot Re_d^{0,4} Pr^{0,33} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (4)$$

при  $Re_d = 10^5 \dots 4 \cdot 10^5$

Зависимости справедливы при:

$Pr = 2,54 \dots 4,87; Pr/Pr_s = 0,66 \dots 0,96; h/d = 0,13 \dots 0,67; R/d = 6,6 \dots 13,9.$

Обсуждение

По результатам проведенных исследований имеется возможность сопоставить эффективность теплоотдачи в случаях использования ОТОА лабиринтного и струйного типов. На рисунке 10 показана зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости воды в аппарате лабиринтного типа.

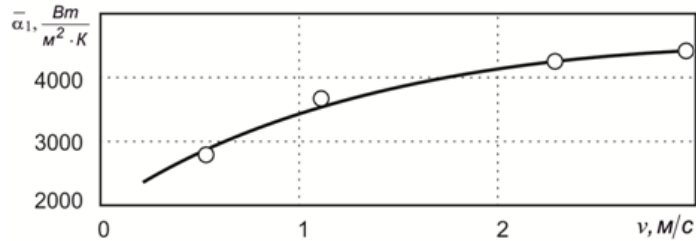


Рис. 10. Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha_1$  от скорости воды  $v$  в ОТОА лабиринтного типа

На рисунке 11 показана аналогичная зависимость в случае использования ОТОА струйного типа. При этом скорость воды  $v$  бралась на выходе из сопла.

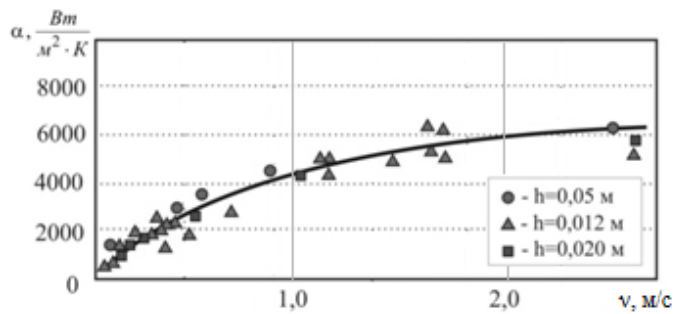


Рис. 11. Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  в ОТОА струйного типа от расхода воды  $W$  ( $d = 0,038$  м;  $R = 0,25$  м)

Наглядно видно, что при небольших скоростях коэффициенты теплоотдачи сопоставимы. Однако при увеличении скорости теплоотдача в случае струйного подвода увеличивается и превышает значение коэффициентов теплоотдачи в лабиринтном канале.

Так, например, при скорости около  $v = 2$  м/с в случае струйного подвода  $\alpha \approx 6000$  Вт/(м<sup>2</sup>К), а в случае лабиринтного канала  $\alpha_1 \approx 4000$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Как хорошо известно, величина  $\alpha$  включается в формулу расчета коэффициента теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Bm}/(\text{m}^2 \text{K}) \quad (5)$$

где  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от судовой обшивки к морской воде, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$\frac{\delta_c}{\lambda_c}$  - термическое сопротивление судовой обшивки, (м<sup>2</sup>К)/Вт;

Отсюда вытекает, что, большие значения коэффициента теплоотдачи при струйном подводе обеспечивают достижение больших значений коэффициентов теплопередачи и соответственно, меньшие площади судовой обшивки, необходимые для теплоотвода системой охлаждения СЭУ.

Кроме того известно, что численное значение  $K$  меньше наименьшего из значений  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  входящих в зависимость (5). Известно, что теплоотдача от наружной поверхности судовой обшивки к забортной воде при стояке судна осуществляется при свободной конвекции. При этом достигаемые значения коэффициентов теплоотдачи намного меньше по сравнению со случаем движения судна. Данный факт означает, что указанное выше преимущество ОТОА струйного типа в наибольшей степени проявляется при движении судна.

### **Заключение**

Представленные результаты показывают, что применение ОТОА струйного типа обеспечивает лучшую теплоотдачу не только по сравнению со случаем простого сброса воды в цистерну без организации её течения вдоль обшивки, но и по сравнению со случаем применения ОТОА лабиринтного типа. Данный метод может быть уверенно рекомендован для использования на судах и позволяет повысить эффективность работы существующих разомкнутых систем охлаждения по замкнутому контуру в случае возникновения условий, при которых целесообразно отказаться от приема забортной воды.

В конечном счете, выбор того или иного метода отвода теплоты через судовую обшивку определяется конкретными конструктивными особенностями проектируемого судна.

### **Список литературы**

1. Современные судовые дизельные двигатели. Основные тенденции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sudostroenie.info/novosti/22242.html> (дата обращения 25.11.2020).
2. International Management for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (Edition 2015). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ibicon.ru/f/0-ism-ibicon-new-2015\\_0.pdf](https://ibicon.ru/f/0-ism-ibicon-new-2015_0.pdf) (дата обращения 16.11.2020).
3. International Convention for the Safety of Life at Sea. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx) (дата обращения 16.11.2020).
4. How power plants kill fish&damage our water ways. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blogs.sierraclub.org/compass/2011/08/how-power-plants-kill-fish-damage-our-waterways-.html> (дата обращения 11.11.2020)
5. Звягинцев А. Ю. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока 2 и 3 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104% от номинальной / А. Ю. Звягинцев, А. В. Мощенко // – Тверь, ООО «Гидротехпроект», 2013. – 333 с.
6. Steve Fleischli, Becky Hayat. Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems // Natural Resources Defense Council report. – 2014. – Pp. 1-11.
7. Шурпяк В.К. Учет особенностей систем охлаждения при оценке энергетической эффективности судов / В. К. Шурпяк // Научно-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. — 2014. — Вып. 37. — С. 51–55.

8. Водный кодекс Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9014361> (дата обращения 17.02.2019).
9. Specifying a Trawler. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>.
10. Specialty Gridcooler Keel Coolers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fernstrum.com/products/gridcooler-keel-cooler/specialty-coolers/>
11. Duramax DuraCooler Patented Streamlined Header Design. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.duramaxmarine.com/heat-duracooler.htm>.
12. Walter H. Keel Coolers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.waltergear.com/kc.htm> (дата обращения: 11.08.2016).
13. Walter H. Fortschritte der Ragger- und Schiffbautechnik beim Hopperbagger «Ludwig Franzius» der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung / H. Walter, W. Witt // Schiff und Hafen. — 1965. — №17. — Pp. 595–610.
14. Mang G. Die Außenhautkühlung, ihre Erprobung und Funktion auf Schubbooten der Deutschen Binnenreederei / G. Mang // VEB DBR Forschung und Entwicklung. — 1963. — №57. — Pp. 17–19.
15. Schmidt M. Kanalschubboot «KSB 190Z» / M. Schmidt, H. Kusebauch // Schiffbautechnik. — 1965. — № 11. — Pp. 577–581
16. Федоровский, К.Ю. Теплопередача через обшивку корпуса судна и особенности происходящих процессов / К.Ю. Федоровский // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, г. Орел, -2018. - № 4-2. - С.168-172.

#### References

1. Modern marine diesel engines. Main trends. Web. 25 Nov. 2020 <<https://sudostroenie.info/novosti/22242.html>>
2. International Management for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (Edition 2015). Web. 16 Nov. 2020 <[https://ibicon.ru/f/0-ism-ibicon-new-2015\\_0.pdf](https://ibicon.ru/f/0-ism-ibicon-new-2015_0.pdf)>
3. International Convention for the Safety of Life at Sea. Web. 16 Nov. 2020 <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)>
4. How power plants kill fish & damage our water ways. Web. 11 Nov. 2020 <<https://blogs.sierraclub.org/compass/2011/08/how-power-plants-kill-fish-damage-our-waterways-.html>>
5. Zvyagintsev A. Yu. Preliminary materials on the assessment of the environmental impact of the operation of power units 2 and 3 of the Kalinin NPP at a reactor capacity of 104% of the nominal / A. Yu. Zvyagintsev, A. V. Moshchenko // - Tver, LLC Gidrotekhproekt ", 2013. - 333 p.
6. Steve Fleischli, Becky Hayat. Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems // Natural Resources Defense Council report. - 2014. - Pp. 1-11.
7. Shurpyak V.K. Taking into account the peculiarities of cooling systems in assessing the energy efficiency of ships / V.K. Shurpyak // Scientific and technical. Sat. Russian Maritime Register of Shipping. - 2014. - Issue. 37. - Pp. 51–55.
8. Water Code of the Russian Federation. Web. 17 Feb. 2019 <<http://docs.cntd.ru/document/9014361>>
9. Specifying a Trawler. Web. 17 Feb. 2019 <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>>
10. Specialty Gridcooler Keel Coolers. Web. 17 Feb. 2019 <<http://www.fernstrum.com/products/gridcooler-keel-cooler/specialty-coolers/>>
11. Duramax DuraCooler Patented Streamlined Header Design Web. 17 Feb. 2019 <<http://www.duramaxmarine.com/heat-duracooler.htm>. >
12. Walter H. Keel Coolers. Web. 11 Aug. 2016 <<http://www.waltergear.com/kc.htm>>
13. Walter H. Fortschritte der Ragger- und Schiffbautechnik beim Hopperbagger "Ludwig Franzius" der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung / H. Walter, W. Witt // Schiff und Hafen. - 1965. - No. 17. - Pp. 595-610.



14. Mang G. Die Außenhautkühlung, ihre Erprobung und Funktion auf Schubbooten der Deutschen Binnenreederei / G. Mang // VEB DBR Forschung und Entwicklung. - 1963. - No. 57. - Pp. 17-19.
15. Schmidt M. Kanalschubboot "KSB 190Z" / M. Schmidt, H. Kusebauch // Schiffbautechnik. - 1965. - No. 11. - Pp. 577-581
16. Fedorosky, K.Yu. Heat transfer through the hull skin and features of the ongoing processes / K.Yu. Fedorovsky // Fundamental and applied problems of engineering and technology, Orel, -2018. - No. 4-2. - Pp.168-172.

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

**Федоровский Константин Юрьевич**,  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
«Энергоустановки морских судов и  
сооружений», Севастопольский  
государственный университет, 290053,  
г. Севастополь, ул. Университетская 33,  
e-mail: fedkonst@rambler.ru

**Konstantin Yu. Fedorovskiy**, Doctor of  
Technical Sciences, Professor, Head of the  
Department of Power Plants of Marine Vessels  
and Structures, Sevastopol State University,  
290053, Sevastopol, st. Universitetskaya 33

**Гриненко Надежда Константиновна**,  
преподаватель кафедры «Энергоустановки  
морских судов и сооружений»,  
Севастопольский государственный университет  
(ФГАОУ ВО «СевГУ»), 290053, г.  
Севастополь, ул. Университетская 33, e-mail:  
n.fedorovskaya14@mail.ru

**Nadezhda K. Grinenko**, Lecturer of the  
Department of Power Installations of Marine  
Vessels and Structures, Sevastopol State  
University (FGAOU VO "SevGU"), 290053,  
Sevastopol, st. Universitetskaya 33

Статья поступила в редакцию 07.02.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 07.02.2022; published online 21.03.2022.

**ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА  
ТРАНСПОРТЕ**

**ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT**

УДК 656.621/.626

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.242>

**Анализ современного состояния и направлений развития  
пассажирского транспорта до 2035 г.**

**А.П. Бафанов**

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

*Министерство транспорта и автомобильных дорог Нижегородской области, Россия*

**Аннотация.** Предлагается материал аналитического исследования современного состояния внутреннего водного транспорта РФ на основе данных Федеральной службы государственной статистики. Во введении описывается важность разработки актуальных направлений развития транспортного комплекса страны. Статья посвящена исследованию актуальных научно-практических задач развития пассажирских перевозок внутренним водным транспортом РФ. В ней анализируются как статистические данные по работе речного транспорта, так и цели, обозначенные в стратегии развития внутреннего водного транспорта РФ на период до 2035 года. Также изучены направления научной мысли по проблематике речных пассажирских перевозок. В результатах отмечаются основные проблемы транспортной отрасли страны и особенно пассажирского транспорта на внутренних водных путях. На обсуждение выносятся предложения автора по направлениям и проектам развития отрасли.

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, водный транспорт, стратегия, инфраструктура.

**Analysis of the current state and directions of development of  
passenger transport until 2035**

**Artem P. Bafanov**

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

*Ministry of Transport and Highways of Nizhny Novgorod Region, Russia*

**Abstract.** The material of an analytical study of the current state of inland water transport of the Russian Federation based on data from the Federal State Statistics Service is proposed. The introduction describes the importance of developing relevant directions for the development of the country's transport complex. The article is devoted to the study of actual scientific and practical problems of the development of passenger transportation by inland waterway transport of the Russian Federation. It analyzes both statistical data on the operation of river transport and the goals outlined in the strategy for the development of inland waterway transport of the Russian Federation for the period up to 2035. Scientific approaches on the problems of river passenger transportation have also been studied. The results highlight the main problems of the country's transport industry and especially passenger transport on inland waterways. The author's proposals on the directions and projects of the industry development are submitted for discussion.

**Keywords:** passenger transportation, water transport, strategy, infrastructure.

### **Введение**

Работа транспортного комплекса страны обеспечивается совокупностью состояния и развития транспортных средств, инфраструктуры и системы управления. Эффективное функционирование этих компонентов формирует высокое качество предоставляемых услуг и способствует как повышению конкурентоспособности транспортной отрасли, так и развитию экономики страны в целом. Слабо развитый транспортный комплекс может выступать фактором, сдерживающим экономический рост. Это определяет необходимость регулярного анализа состояния и основных проблем транспортной отрасли с учетом актуальных научных задач и выработку практических рекомендаций.

Автором при работе над статьей были проанализированы исследования как российских ученых [1-6], так и иностранные программы развития транспорта и научные публикации [7-15], посвященные в том числе проблемам развития пассажирских перевозок и путям их преодоления. Следует отметить большую озабоченность иностранных экспертных сообществ и отдельных исследователей проблемами, связанными с последствиями пандемии COVID-19 на работу транспорта и адаптацией транспортных систем к глобальному потеплению климата и подтоплением приморских территорий. Отечественные исследователи в основном сосредоточены на развитии транспортной инфраструктуры, задачах обновления флота, цифровизации транспортной отрасли и обоснованию эффективных транспортно-логистических схем. Тем не менее следует отметить, что проведенный автором анализ современных направлений исследования показал актуальность темы развития пассажирских перевозок с участием внутреннего водного транспорта, особенно с учетом российской действительности.

### **Методы**

При проведении исследования состояния пассажирского транспорта России использовался аналитический метод; рекомендации, сделанные в конце статьи, получены на основе анализа как теоретических исследований, так и обработанных статистических данных. Например, по данным агентства InfraOne, опубликовавшем исследование «Инфраструктура России: индекс развития 2020» [16], транспортная инфраструктура является наименее развитой инфраструктурой России. Сравнительные данные по отраслевым индексам инфраструктуры представлены на рис.1 [16].

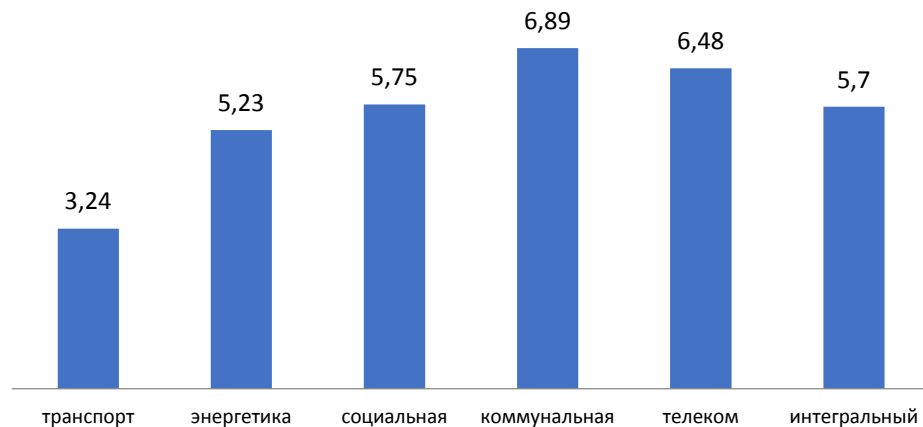


Рис.1. Средние отраслевые индексы развития инфраструктуры

Средний индекс ее развития по данным агентства составляет 3,24 из 10 возможных. При этом инфраструктура водного транспорта даже не анализировалась. По мнению автора статьи, развитие инфраструктуры, особенно внутреннего водного транспорта, необходимо осуществлять как посредством сверхкрупных и мегапроектов на федеральном уровне, так и через госзаказ качественных проектов, построенных на принципах государственно-частного партнёрства.

Следует отметить, что значительное сокращение объема перевозок пассажиров с участием внутреннего водного транспорта серьезно сдерживает потенциал развития транспортной инфраструктуры. Так объем пассажирских перевозок в 2019 г. составил 11 млн. чел., в 2020 г. – 8 млн. чел. Пассажирооборот ВВТ: в 2019 г. – 0,55 млрд. пасс-км, в 2020 г. – 0,2 млрд. пасс-км (рис.2) [17-19].



Рис.2. Объем перевозок и пассажирооборот внутреннего водного транспорта

На рис.3 продемонстрирована временная положительная динамика объемов перевозок пассажиров на туристических маршрутах за период 2014-2018 гг. Так, до 2017 года наблюдался спад экскурсионно-прогулочных маршрутов. Интерес к ним

появляется с 2018 году, в период проведения на территории России Чемпионата мира по футболу 2018.

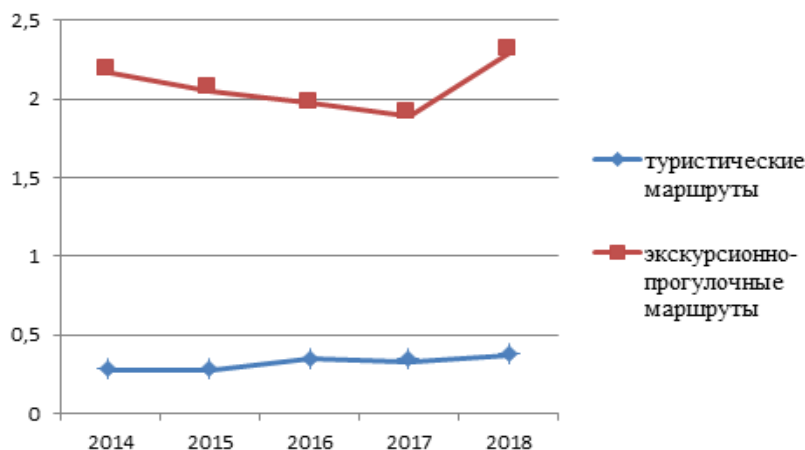


Рис. 3. Перевозки пассажиров речным транспортом на различных маршрутах за период 2014-2018 гг., млн. чел

Для сравнения, перевозка пассажиров на туристско-экскурсионных маршрутах автобусного транспорта за 2018 год составляет 1,75 млн. чел., что говорит о большей популярности речных маршрутов в данном секторе рынка. По экспертной оценке, предпочтение таким маршрутам туристы отдают в 20% случаев. Так, доля перевозок автобусными туристическими маршрутами составляет лишь 0,02% общего количества перевезенных пассажиров.

Согласно Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период 2035 года ключевой целью развития туризма установлено комплексное развитие внутреннего и въездного туризма в РФ [20]. Обозначенные проблемы, в т.ч. низкая узнаваемость российских туристических брендов на зарубежных рынках и внутри страны, высокая стоимость транспортировки туристов, недостаточный уровень сервиса способствуют раскрытию потенциала туристического продукта в России через развитие транспортной доступности и повышение уровня логистического сервиса на речных маршрутах.

Ключевыми негативными факторами, определяющими низкий уровень объемов пассажирский перевозок с участием внутреннего водного транспорта, автор считает:

- отставание развития инфраструктуры внутренних водных путей из-за недофинансирования и как следствие более динамичное развитие наземных видов транспорта (рис. 4);
- высокий износ речного пассажирского флота из-за низкого объема судостроения;
- отток квалифицированных кадров из отрасли и др.

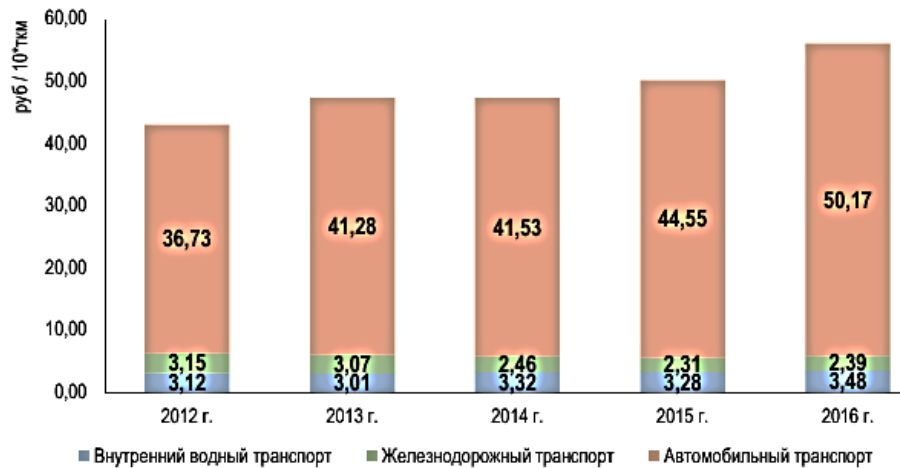


Рис.4. Объемы финансирования транспортной инфраструктуры

Данные выводы подтверждает маркетинговое исследование [1], проведенное в 2020 году. В исследовании особо отмечаются сильные сдерживающие социальные и экономические факторы:

Таблица 1

Номер п/п	Сдерживающий фактор	Задачи развития
1	Значительный износ основных фондов, что приводит к росту аварий и снижению надежности работы	задача обновления пассажирского флота актуальна по сей день, также требуется широкое использование на речных маршрутах скоростных судов
2	Низкая скорость пассажирских перевозок при относительно высокой стоимости проезда, связанной с большой энергоемкостью и расходами на эксплуатацию судовых силовых установок	
3	Отсутствие взаимодействия и координации при организации пассажирских перевозок с участием внутреннего водного и смежных видов транспорта	Разработка региональных стратегий развития внутреннего водного транспорта и комбинированных пассажирских маршрутов

Отдельно стоит осветить отставание внутреннего водного транспорта в степени цифровизации логистических сервисов. Повышение производительности на транспорте, рост качества услуг связаны с внедрением цифровых технологий. Многие крупные российские транспортные компании (РЖД, автоперевозчики) уже встали на путь цифровой трансформации. Правда, у большинства компаний отсутствует ее комплексная программа внедрения и они, в основном, занимаются реализацией краткосрочных проектов. Анализ среднего размера планируемых инвестиций показывает, что транспортные компании, особенно судоходные, меньше других готовы инвестировать средства в цифровые технологии, что говорит о существенном отставании воднотранспортной отрасли в использовании цифровых технологий.

Следует отметить, что организация и осуществление пассажирских перевозок связаны с обеспечением стабильности в работе различных предприятий и организаций, сохранением взаимосвязей на всем экономическом пространстве не

только страны, но и мира, способствуют увеличению мобильности населения. От эффективности работы пассажирского транспорта зависят многие, в том числе и ключевые процессы социального, политического и экономического характера [4].

### Результаты

Для решения перечисленных выше проблем принят основополагающий документ – обновленная Транспортная стратегия до 2035 года [21], в ней выделены следующие цели и задачи развития транспортной отрасли (рис.5).

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ	Обеспечение связанности территорий Российской Федерации	СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ	Увеличение объемов перевозок пассажиров с участием внутреннего водного транспорта
	Обеспечение экономически эффективных перевозок		Увеличение количества современного речного флота
	Обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения		Доступность речных круизных и пассажирских перевозок (увеличение доли)
	Встраивание российской транспортной системы в международные транспортные коридоры		Увеличение роли цифровых технологий при организации транспортно-логистических систем
	Повышение уровня безопасности транспортной системы		Развитие системы подготовки кадров

Рис.5. Целевые показатели по развитию воднотранспортного комплекса России

Проведенный автором анализ данного документа позволяет выявить основные проблемы транспортной отрасли. Выявленные проблемы и возможные пути их решения сведены в табл.2.

Таблица 2

#### Проблемы развития пассажирских перевозок водным транспортом и возможные пути их решения

№	Наименование проблемы	Пути решения проблемы
1	Дисбаланс в развитии различных видов транспорта	Совершенствование механизмов государственной поддержки различных видов транспорта (тарифное регулирование) Государственное участие в равномерное развитие транспортной инфраструктуры Создание условий для развития пассажирских, в том числе туристических, перевозок Создание условий для дальнейшего обновления транспортных средств (государственная программа субсидирования кредитных и лизинговых платежей)

2	Отставание в развитии цифровизации транспортных компаний	Разработка мер по стимулированию внедрения новых цифровых технологий Выделение инвестиций в разработку новых цифровых технологий Развитие новых программ подготовки специалистов транспортной отрасли с использованием современных цифровых технологий
3	Слабое развитие транспортной инфраструктуры и значительный износ транспортных средств	Модернизация транспортной инфраструктуры Поиск путей привлечения частных инвестиций
4	Недостаточное развитие государственно-частного партнерства	Совершенствование инструментов по управлению рисками проектов развития транспорта и защите частных инвестиций

Наиболее значимыми задачами реализации Стратегии в сфере внутреннего водного транспорта могут стать:

- создание единой национальной транспортной системы страны, взаимосвязанной с международными транспортными коридорами, как технически, так и технологически [2];
- развитие интеллектуальных систем управления пассажирскими перевозками – применение инновационных цифровых транспортных и логистических технологий для улучшения логистического сервиса;
- формирования регионального инфраструктурного каркаса опорной транспортной сети мультимодальных пассажирских маршрутов;
- увеличение объема перевозок пассажиров по внутренним водным путям РФ;
- формирование системы комбинированных перевозок пассажиров на внутреннем водном транспорте.

В соответствии с представленными задачами потребуется трансформация транспортной системы внутреннего водного транспорта на основе принципа мультимодальности. На сегодняшний день уже организовано три регулярных маршрута с использованием СПК «Валдай 45Р» (Городец, Макарьево и Стригино по мультимодальному принципу). Автором предлагается развить данную систему пассажирских маршрутов, добавив скоростное сообщение между Н.Новгородом и Чебоксарами, как показано на рис. 6.



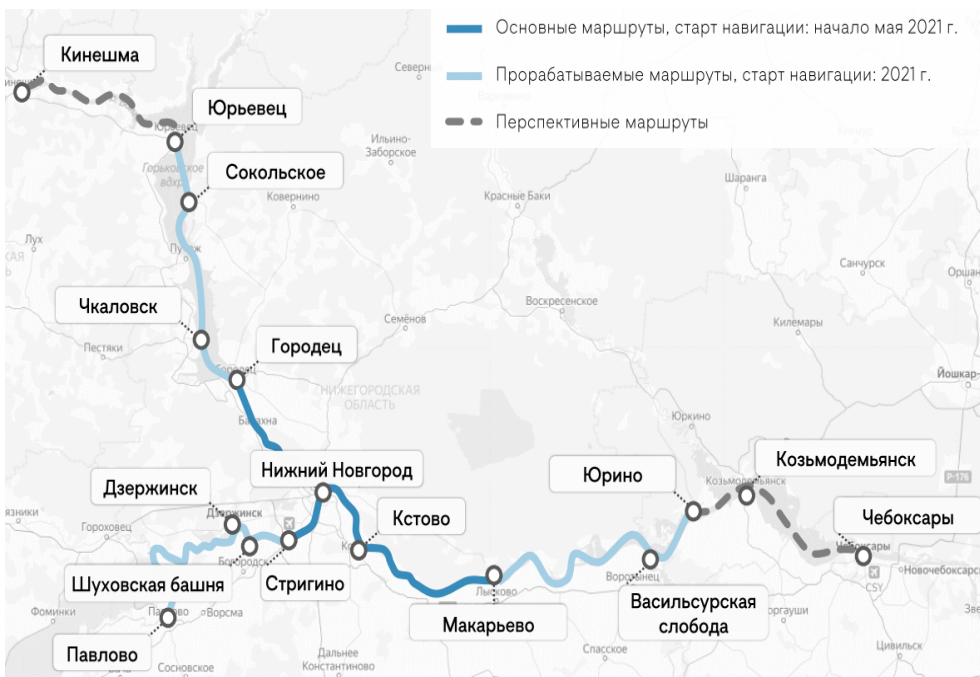


Рис. 6. Существующие и перспективные маршруты пассажирских перевозок

Также представляется рациональным второй вариант развития маршрутной сети с участием внутреннего водного транспорта, основные транспортные направления которого представлены на рис. 7.



Рис. 7. Маршруты СПК МЕТЕОР 120Р в бассейне р. Волга

В рамках научного исследования были проведены расчеты стоимости билетов по отдельным направлениям данных маршрутов, которые показывают их

конкурентоспособность с аналогичными сухопутными сообщениями – табл. 3. Обозначения в табл. 3 – \*нет прямого сообщения.

Таблица 3

**Сравнение стоимости перспективных речных маршрутовс другими видами транспорта**

Направление	Расстояние (км.)	Стоимость проезда разными видами транспортных средств, руб.					
		Такси	Ж/Д	Автобус	Авиа	СПК «Валдай 45Р»	СПК «Метеор 120Р»
Дзержинск (Шуховская башня)	30	900	101	156,5(с пересадками)	-	350	-
Павлово	120	1774	-	268	-	960	-
Муром	217	3541	520	570	-	1400	-
Кстово	32	569	-	86	-	350	-
с.Макарьево	90	2019	-	510	-	550	-
Васильсурск	170	5565	-	*	*	1100	-
Юрино	200	4692	-	*	*	1450	1700
Чебоксары	270	4971	700	800	-	1910	2000
Казань	500	8117	1200	1000	2385	4000	3000
Рыбинск	505	9186	790	*	*	4100	3200

Таким образом, эффективная перевозка пассажиров по реке – это комбинированная перевозка с участием скоростного судна и авто- или ж.д.транспорта для трансфера до пересадочного терминала (узла). При этом транспорт подбирается исходя из потребностей пассажиров с возможностью организации мультимодальной перевозки по системе от двери к двери.

**Обсуждение**

На взгляд автора, основными механизмами реализации Стратегии в сфере развития пассажирских перевозок с участием внутреннего водного транспорта должны выступать [3]:

- государственная программа РФ «Развитие транспортной системы»;
- федеральные проекты и федеральные целевые программы развития транспортной инфраструктуры внутреннего водного транспорта;
- стратегическое партнерство государства и бизнеса;
- система государственного регулирования (законы).

Также, в рамках управления развитием внутреннего водного транспорта и пассажирских перевозок с его участием автор предлагает реализацию следующих ключевых мероприятий и проектов:

- создание скоростного грузопассажирского водного коридора ВОЛГА на маршруте Н.НОВГОРОД-ЧЕБОКСАРЫ-КАЗАНЬ;
- моделирование типовых (стандартизированных) пассажирских терминалов на речной сети;
- создание цифровых платформ (маркетплейсов) для формирования пассажирского сервиса на реке.

### **Заключение**

Как видно из приведенного анализа, требуется комплексный и системный подход при формировании и дальнейшей реализации Транспортной стратегии РФ до 2035 года. Кроме того, не следует забывать о целях предыдущих Стратегий (2020 и 2030), так как не все они достигнуты, а соответствующие задачи не решены до сих пор. Также следует отметить, что в рассматриваемом документе не поставлен ряд актуальных задач, например, адаптация транспортных систем к глобальному потеплению климата и работа транспорта при пандемиях (таких как COVID-19).

### **Список литературы**

1. Костров В.Н., Смирнова И.П., Мистюкова Е.А. Маркетинговое исследование пассажирских перевозок на водном транспорте Приволжского федерального округа. В сборнике: Великие реки - 2020. Труды 22-го международного научно-промышленного форума. 2020. С. 121.
2. Телегин А.И., Ничипорук А.О., Коршунов Д.А. Перспективы развития внутреннего водного транспорта согласно проекта транспортной стратегии на период до 2035 года. В сборнике: ТРАНСПОРТ: ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛИ, ПЕРСПЕКТИВЫ (TRANSPORT 2021). Материалы II Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Под редакцией Е.В. Чабановой. Пермь, 2021. С. 663-666.
3. Дрейбанд Д.В., Коршунов Д.А. Программно-целевые задачи формирования и логистического развития объектов береговой инфраструктуры на внутреннем водном транспорте. Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 67. С. 53-64.
4. Бородулина С.А., Анисимов К.О. Тенденции и пути развития пассажирских перевозок на внутреннем водном транспорте российской федерации. В сборнике: БОЛЬШАЯ ЕВРАЗИЯ: РАЗВИТИЕ, БЕЗОПАСНОСТЬ, СОТРУДНИЧЕСТВО. Ежегодник : материалы XIX Национальной научной конференции с международным участием. Москва, 2020. С. 839-846.
5. Oksana Skorobogatova, Irina Kuzmina-Merlino. Transport Infrastructure Development Performance. DOI:10.1016/j.proeng.2017.01.056
6. Svetlana Miloslavskaya, Anna Myskina. Intermodal Transportation Using Inland Water Transport in Russia and Abroad. Режим доступа: [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2021/03/mateconf\\_itmts2020\\_02012.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2021/03/mateconf_itmts2020_02012.pdf)
7. Integrated transport strategy for the period until 2030. Режим доступа: [https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/integrated\\_transport\\_strategy\\_2030\\_eng.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/integrated_transport_strategy_2030_eng.pdf)
8. Green Transport Strategy for South Africa: (2018-2050). Режим доступа: [https://www.transport.gov.za/documents/11623/89294/Green\\_Transport\\_Strategy\\_2018\\_2050\\_onlineversion.pdf/71e19f1d-259e-4c55-9b27-30db418f105a](https://www.transport.gov.za/documents/11623/89294/Green_Transport_Strategy_2018_2050_onlineversion.pdf/71e19f1d-259e-4c55-9b27-30db418f105a)
9. D. Donaldson. Railroads of the Raj: Estimating the impact of transportation infrastructure. American Economic Review, forthcoming (2016). Режим доступа: [https://dave-donaldson.com/wp-content/uploads/2018/03/Donaldson\\_RRRaj\\_AER.pdf](https://dave-donaldson.com/wp-content/uploads/2018/03/Donaldson_RRRaj_AER.pdf)

10. Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030 Main Findings. Режим доступа: <https://www.oecd.org/futures/infrastructureto2030/49094448.pdf>
11. Fatima E.Al-Thawadi, Yemane W.Weldu, Sami G.Al-Ghamdi. Sustainable Urban Transportation Approaches: Life-Cycle Assessment Perspective of Passenger Transport Modes in Qatar. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146520306852>
12. AnnaDugan, JakobMayer, AnninaThaller, Karl W.Steiningger. Developing policy packages for low-carbon passenger transport: A mixed methods analysis of trade-offs and synergies. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800921003633>
13. RuthShortall, NiekMouter, BertVan Wee. COVID-19 passenger transport measures and their impacts. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S0144164722004068>
14. Kerstin Rosenberger, RodrigoTapia, HannoFriedrich, HeikeFlämig. Estimating the potential of electric mobility in commercial transport considering the availability of charging infrastructure – A behavioural model analysis for the city of Hamburg. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210539521001553>
15. Bao-Jun Tang, Xiao-YiLi, Biying Yu, Yi-MingWei. Sustainable development pathway for intercity passenger transport: A case study of China. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919313194>
16. Инфраструктура России: индекс развития 2020. Режим доступа: [https://infraone.ru/sites/default/files/analitika/2020/index\\_razvitiia\\_infrastruktury\\_rossii\\_2020\\_infraone\\_research.pdf](https://infraone.ru/sites/default/files/analitika/2020/index_razvitiia_infrastruktury_rossii_2020_infraone_research.pdf)
17. Российский статистический ежегодник. 2020: Стат.сб./Росстат. - P76 М., 2020 – 700 с.
18. Россия в цифрах. 2020: Крат.стат.сб./Росстат- М., P76 2020 – 550 с.
19. Транспорт в России. 2020: Стат.сб./Росстат. –Т65 М., 2020. – 108 с.
20. Распоряжение Правительства РФ от 20 сентября 2019 г. № 2129-р О Стратегии развития туризма в РФ на период до 2035 г. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72661648/>
21. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года №3363-р "Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года". Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577>

#### References

1. Kostrov V.N., Smirnova I.P., Mistyukova E.A. Marketingovoe issledovanie passazhirskikh perevozok na vodnom transporte privolzhskogo federal'nogo okruga. V sbornike: Velikie reki - 2020. Trudy 22-go mezhduнародного nauchno-promyshlennogo foruma. 2020. S. 121.
2. Telegin A.I., Nichiporuk A.O., Korshunov D.A. Perspektivy razvitiya vnutrennego vodnogo transporta согласно proekta transportnoi strategii na period do 2035 goda. V sbornike: TRANSPORT: PROBLEMY, TSELI, PERSPEKTIVY (TRANSPORT 2021). Materialy II Vserossiiskoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii s mezhduнародnym uchastiem. Pod redaktsiei E.V. Chabanovoi. Perm', 2021. S. 663-666.
3. Dreiband D.V., Korshunov D.A. Programmno-tselevye zadachi formirovaniya i logisticheskogo razvitiya ob"ektov beregovoi infrastruktury na vnutrennem vodnom transporte. Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2021. № 67. S. 53-64.
4. Borodulina S.A., Anisimov K.O. Tendentsii i puti razvitiya passazhirskikh perevozok na vnutrennem vodnom transporte rossiiskoi federatsii. V sbornike: BOL'SHAYA EVRAZIYA: RAZVITIE, BEZOPASNOST', SOTRUDNICHESTVO. Ezhegodnik : materialy XIX Natsional'noi nauchnoi konferentsii s mezhduнародnym uchastiem. Moskva, 2020. S. 839-846.
5. Oksana Skorobogatova, Irina Kuzmina-Merlino. Transport Infrastructure Development Performance. DOI:10.1016/j.proeng.2017.01.056
6. Svetlana Miloslavskaya, Anna Myskina. Intermodal Transportation Using Inland Water Transport in Russia and Abroad. Режим доступа: [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2021/03/mateconf\\_itmts2020\\_02012.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2021/03/mateconf_itmts2020_02012.pdf)

7. Integrated transport strategy for the period until 2030. Режим доступа: [https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/integrated\\_transport\\_strategy\\_2030\\_eng.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/integrated_transport_strategy_2030_eng.pdf)
8. Green Transport Strategy for South Africa: (2018-2050). Режим доступа: [https://www.transport.gov.za/documents/11623/89294/Green\\_Transport\\_Strategy\\_2018\\_2050\\_onlineversion.pdf/71e19f1d-259e-4c55-9b27-30db418f105a](https://www.transport.gov.za/documents/11623/89294/Green_Transport_Strategy_2018_2050_onlineversion.pdf/71e19f1d-259e-4c55-9b27-30db418f105a)
9. D. Donaldson. Railroads of the Raj: Estimating the impact of transportation infrastructure. *American Economic Review*, forthcoming (2016). Режим доступа: [https://dave-donaldson.com/wp-content/uploads/2018/03/Donaldson\\_RRRaj\\_AER.pdf](https://dave-donaldson.com/wp-content/uploads/2018/03/Donaldson_RRRaj_AER.pdf)
10. Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030 Main Findings. Режим доступа: <https://www.oecd.org/futures/infrastructureto2030/49094448.pdf>
11. Fatima E.Al-Thawadi, Yemane W.Weldu, Sami G.Al-Ghamdi. Sustainable Urban Transportation Approaches: Life-Cycle Assessment Perspective of Passenger Transport Modes in Qatar. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146520306852>
12. AnnaDugan, JakobMayer, AnninaThaller, Karl W.Steiningger. Developing policy packages for low-carbon passenger transport: A mixed methods analysis of trade-offs and synergies. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800921003633>
13. RuthShortall, NiekMouter, BertVan Wee. COVID-19 passenger transport measures and their impacts. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S0144164722004068>
14. Kerstin Rosenberger, RodrigoTapia, HannoFriedrich, HeikeFlämig. Estimating the potential of electric mobility in commercial transport considering the availability of charging infrastructure – A behavioural model analysis for the city of Hamburg. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210539521001553>
15. Bao-Jun Tang, Xiao-YiLi, Biying Yu, Yi-MingWei. Sustainable development pathway for intercity passenger transport: A case study of China. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919313194>
16. Инфраструктура России: индекс развития 2020. Режим доступа: [https://infraone.ru/sites/default/files/analitika/2020/index\\_razvitiia\\_infrastruktury\\_rossii\\_2020\\_infraone\\_research.pdf](https://infraone.ru/sites/default/files/analitika/2020/index_razvitiia_infrastruktury_rossii_2020_infraone_research.pdf)
17. Rossiiskii statisticheskii ezhegodnik. 2020: Stat.sb./Rosstat. - R76 M., 2020 – 700 s.
18. Rossiya v tsifrah. 2020: Krat.stat.sb./Rosstat- M., R76 2020 – 550 s.
19. Transport v Rossii. 2020: Stat.sb./Rosstat. –T65 M., 2020. – 108 s.
20. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 20 sentyabrya 2019 g. № 2129-r O Strategii razvitiya turizma v RF na period do 2035 g. Rezhim dostupa: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72661648/>
21. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 27 noyabrya 2021 goda №3363-r "Ob utverzhdenii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda". Rezhim dostupa: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577>

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

**Бафанов Артем Павлович,**

И.о. заместителя министра, начальник управления, Министерство транспорта и автомобильных дорог Нижегородской области, г. Нижний Новгород, ул. Ошарская 63, 603115

**Artem P. Bafanov,**

Acting Deputy Minister, Head of the Department Ministry of Transport and Highways of the Nizhny Novgorod region, 63 Osharskaya str., Nizhny Novgorod, 603115, Russia

Статья поступила в редакцию 15.02.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.

Received 15.02.2022; published online 21.03.2022.

УДК 656.029.4

DOI:10.37890/jwt.vi70.233

## **Проблемы цифровизации внутреннего водного транспорта**

**И.И. Ганчерёнок<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3537-390X>

**Н.Н. Горбачёв<sup>2</sup>**

**А.О. Ничипорук<sup>3</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7763-2829>

**Н.Е. Шумовская<sup>4</sup>**

**О.А. Харченко<sup>4</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6274-7914>

<sup>1</sup> *Белорусско-Узбекский институт прикладных технических квалификаций, Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup> *Академия управления при Президенте Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь*

<sup>3</sup> *Волжский государственный университет водного транспорта*

<sup>4</sup> *Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф.М. Апраксина – филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Астрахань, Россия*

**Аннотация.** В статье определены основные направления формирования цифровой платформы и ключевые принципы целеполагания внедрения цифровизации применительно ко внутреннему водному транспорту. Предлагается системный подход к анализу проблем цифровизации внутреннего водного транспорта, включая комплекс графических и матричных моделей, характеризующих данную подотрасль транспорта и логистики. Рассмотрены и обозначены основные компоненты концепции «Умный внутренний водный транспорт». С учетом этого сформулированы перспективные направления развития информационно-телекоммуникационных и интеллектуальных сервисов для внутреннего водного транспорта. Также выполнен SWOT-анализ цифровизации отрасли, в результате которого предложены стратегии менеджмента на внутреннем водном транспорте с учетом выявленных сильных и слабых сторон, возможностей и угроз. В заключительной части работы рассмотрены базовые аспекты внедрения активных информационных систем при цифровизации ВВТ, структура таких систем и проблемы их создания и функционирования. Представленные модели, решения и рекомендации позволяют охарактеризовать и визуализировать проблематику формирования «сквозных» технологий внутреннего водного транспорта как части проблем цифровой экономики, наметить направления интеграции информационных ресурсов и подходы к «расширенным» организациям, включающим всех заинтересованных в реализации соответствующих транспортных услуг.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, внутренний водный транспорт, цифровизация, системный анализ, графические модели, математические модели, «сквозные» технологии, интегрированные информационные ресурсы, «расширенные» организации.

## **Problems of digitalization of inland water transport**

**Igor I. Hancharonak<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3537-390X>

**Nikolai N. Gorbachyov<sup>2</sup>**

**Andrey O. Nichiporuk<sup>3</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7763-2829>

**Natalia E. Shumovskaya**<sup>4</sup>

**Olga A. Kharchenko**<sup>4</sup>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6274-7914>

<sup>1</sup>*Belarus-Uzbek Intersectoral Institute of Applied Technical Qualifications, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Academy of Public Administration under the Aegis of the President of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>3</sup>*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>4</sup>*Caspian Institute of Sea and River Transport named after General-Admiral F.M. Apraksin – the affiliation of the Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia*

**Abstract.** The article defines the main directions for the formation of a digital platform and the key principles of the goal-setting for implementing digitalization in relation to inland water transport. A systematic approach to the analysis of the problems of digitalization of inland waterway transport is proposed, including a set of graphic and matrix models characterizing this sub-sector of transport and logistics. The main components of the concept "Smart inland water transport" are considered and outlined. With this in mind, promising directions for the development of information, telecommunication and intellectual services for inland water transport have been formulated. A SWOT analysis of the digitalization of the industry was also carried out, as a result of which management strategies for inland water transport were proposed, taking into account the identified advantages and disadvantages, opportunities and threats. In the final part of the paper the basic aspects of introduction of active information systems in the process of inland water transport digitalization, structure of such systems and problems of their creation and functioning are considered. The presented models allow us to characterize and visualize the problems of the formation of "end-to-end" technologies of inland water transport, as part of the problems of the digital economy, to outline the directions of information resources integration and approaches to "expanded" organizations, including all those interested in the implementation of relevant transport services.

**Keywords:** digital economy, inland water transport, digitalization, system analysis, graphic models, mathematical models, "end-to-end" technologies, integrated information resources, "expanded" organizations.

### **Введение**

Высокотехнологичные транспортные и логистические системы, обеспеченные высококвалифицированными кадрами, инновационные системы управления являются сегодня ключевыми факторами в повышении экономической конкурентоспособности государств [1-3]. При этом главной целью модернизации транспортной сферы в информационном обществе является его интеллектуализация, формирование энтропата – совокупности долговременных партнёрских отношений со всеми «заинтересованными сторонами» – на основе обеспечения устойчивой мобильности и оперативности всех взаимодействующих компонентов, создания высокоэффективной транспортно-логистической системы, организации качественной, надёжной транспортной инфраструктуры, поддержки высокого уровня «сквозных» технологий и компетентности трудовых ресурсов [4-8]. Несмотря на конкуренцию в этой сфере важно развитие и поддержка доверенного пространства, базирующегося на технологиях электронного обмена данными (EDI) (включая соответствующие стандарты и организационные структуры), системах цифровой навигации и картографии, единой системы идентификации и прослеживаемости продукции и услуг.

Для обеспечения эффективного и надежного взаимодействия всех отраслевых контрагентов на транспорте необходимым условием является формирование цифровой платформы, способной объединить все сервисы и информационные ресурсы (ИР), будучи своеобразным посредником для всех участников транспортного процесса в доступе к упомянутым ресурсам по принципу «единого окна». Естественно, система должна поддерживать EDI, включая документарное оформление перевозок и юридическую значимость задокументированных данных. Также данная платформа должна исключать приватизацию транспортных данных и гарантировать недискриминационный доступ к ним всех стейкхолдеров, что позволяет сохранить национальный контроль над информационными потоками в транспортном комплексе.

Анализ содержательных аспектов целеполагания указанного комплекса и его целенаправленности позволяет определить факторы и параметры, влияющие на цифровизацию и его внешнюю среду (желательно в виде энтропата, то есть той её части, которая становится благоприятным, управляемым и предсказуемым окружением, защищающим комплекс от неблагоприятных внешних воздействий). Здесь определяющими направлениями будут выступать:

- повышение транзитной привлекательности конкретной страны и расширение её транзитного потенциала на основе национальных и международных транспортных коридоров;
- привлечение международных транспортно-логистических компаний в региональные и национальные транспортные хабы;
- развитие «сквозных» мультимодальных транспортно-логистических технологий;
- формирование «расширенных» транспортных и логистических организаций, обеспечивающих целостный комплекс транспортно-логистических услуг.

Применительно к речному транспорту процесс целеполагания должен базироваться на следующих ключевых принципах [9-11]:

- обеспечение условий, поощряющих перераспределение и переключение грузопотоков, в настоящее время осваиваемых наземными видами транспорта, на перевозки внутренним водным транспортом, что необходимо для сбалансированного развития транспортной системы страны;
- создание предпосылок для роста конкурентоспособности речного транспорта по сравнению с другими видами транспорта;
- повышение доступности и качества услуг внутреннего водного транспорта для грузоотправителей;
- обеспечение выполнения внутренним водным транспортом пассажирских перевозок с необходимым уровнем качества и эффективности;
- повышение уровня безопасности, экологичности внутреннего водного транспорта по сравнению с другими видами транспорта, прежде всего, конкурирующими (автомобильным и железнодорожным).

### **1. Системность цифровизации**

Широкое использование комплекса традиционных и цифровых сервисов внутреннего водного транспорта (ВВТ) на основе мероприятий, нацеленных на реставрацию и модернизацию воднотранспортной инфраструктуры, экономических и организационных мер государственной поддержки и развития перевозок речным



транспортом, позволит обеспечить сбалансированность развития национальной транспортной системы, разгрузку других секторов транспортной отрасли в период пиковых нагрузок, приходящихся на навигационный период, переключение части грузопотоков массовых грузов с перегруженных участков транспортных коридоров, оптимизацию транспортно-логистических схем доставки, повышение доступности транспортных услуг и сервисов в районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока (где нередко использование ВВТ является безальтернативным и жизнеобеспечивающим), а также рост транзитного потенциала поставок и сокращение технологических сроков.

Системный подход к цифровизации внутреннего водного транспорта предполагает потребность в адекватном моделировании этой системы с соответствующим уровнем детализации, обеспечивающим её эффективную интерпретацию.

Моделирование цифровизации ВВТ целесообразно начать с простейшей модели системы – модели «чёрный ящик». Она представлена на рис. 1 и характеризует целевую функцию системы, её входы, выходы.



Рис. 1. Пример модели «чёрный ящик» цифровизированного ВВТ

В процессе цифровизации входные и выходные информационные потоки должны предусматривать либо интеграцию информационных ресурсов источников информации, либо обеспечивать их совместимость.

Переход к модели «белый ящик» в первую очередь подразумевает трансформацию целевой функции системы в дерево целей, где на первом уровне детализации могут быть представлены как подцели структурных элементов ВВТ (рис. 2), так и подцели процесса цифровизации ВВТ (рис.3). Вариативность построения дерева целей определяется различными потребностями наблюдателя, то есть пользователя (заказчика) указанной модели. Конкретизация целеполагания позволяет нам рассматривать переход к построению деревьев проблем, задач и решений.

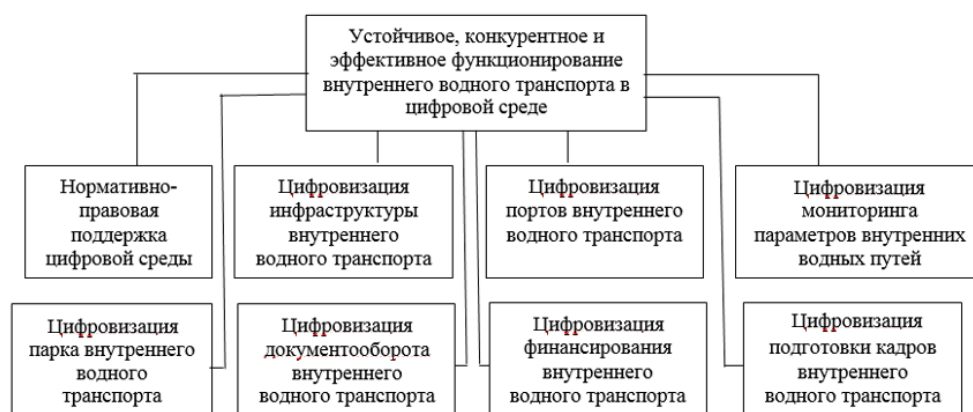


Рис. 2. Фрагмент дерева целей цифровизированного ВВТ

## 2. Интеллектуализация ВВТ

Стабильное повышение конкурентоспособности ВВТ предполагает интенсификацию работы над внедрением в отрасли цифровой и интеллектуальной составляющих в рамках процессов «умного судоходства». Информационные ресурсы становятся главным центром создания «ценностей», они интегрируют новые потоки «ценностей» и одним из источников сервисов и услуг.

Схема формирования понятия «умный внутренний водный транспорт» приведена на рис. 4 и включает следующие компоненты:

- «умные суда» – обладают интеллектуальными датчиками, используют IoT-технологии и автоматизированные системы, оперирующие в интегрированном информационном пространстве, которые позволяют оптимизировать ключевые функции судна (навигацию, расход топлива, планирование в реальном времени, ремонт, загрузку и другие);
- «умный порт» – обеспечивает взаимодействие «умных судов» с «умными» береговыми объектами (причалы, склады и другие), безопасность в акватории порта, сохранность грузов;
- «умная инфраструктура» – обеспечивает поддержку и снабжение «умных судов» береговыми объектами, управление водными путями и на водных путях, транспортные коридоры позволяют эффективно управлять движением;
- «умный водный путь» – характеризует постоянный мониторинг и поддержание эффективности водных путей;
- «умная связь» – ориентирована на перевод в цифровой формат и документирование контактов между судами, берегом и третьей стороной (государственными органами), обеспечив «умный», бесперебойный и гибкий процесс коммуникации в соответствии со стандартизированными на международном уровне процедурами;
- «умная навигация» – обеспечивает пространственное позиционирование судов;
- «умный ремонт» – реализует IoT-профилактику, управление запасной комплектацией, планированием различных видов ремонтов;
- «умные технологии» – решают проблемы временной и пространственной совместимости «сквозных» производственных технологий;

– «умные правила» – охватывают нормативами и регламентами три остальные сферы: «умные суда – инфраструктура – связь».

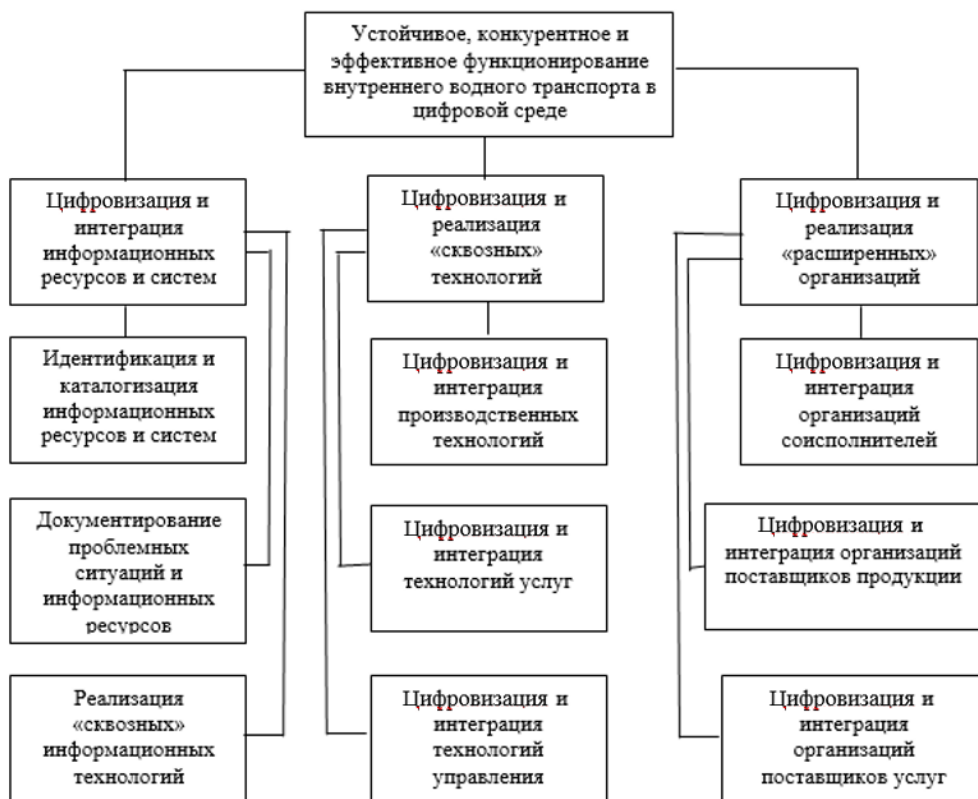


Рис. 3 Фрагмент дерева целей цифровизированного ВВТ



Рис. 4. Схема концепции «Умный ВВТ»

В ближайшие годы в связи и с учётом пандемии будет инициироваться активизация процесса разработки «умных судов», а также интеллектуализации других технологических решений на ВВТ. Современные технологии позволяют судам

выполнять все большее число задач. «Умное судоходство» кардинально меняет характер задач судоводителей, администраций водных путей, персонала водного транспорта и береговых объектов.

Исходя из этих посылок, следует обеспечить системность и интеллектуализацию создания и ведения нормативно-правовой базы с учётом развития цифровизации и использования перспективных технологий и сервисов.

В случае судоходства по трансграничным рекам и международным водным путям особую важность приобретают мультилингвистичность систем, международная координация и согласованные усилия.

При оценке перспектив «интеллектуализации» ВВТ следует учитывать следующие положения:

- она должна обеспечивать максимальную безопасность сети внутренних водных путей;
- это направление должно оказывать поддержку цифровой экономике за счет привлечения новых грузопотоков во внутреннее судоходство;
- умное судоходство должно поддерживать мультимодальность и мультилингвистичность логистики;
- умные суда должны способствовать увеличению доли внутреннего водного транспорта в «сквозных» транспортных технологиях.
- В числе перспектив развития информационно-телекоммуникационных и интеллектуальных сервисов для ВВТ можно указать [8, 10, 12-13]:
- создание систем отслеживания грузов, обеспечивающих автоматизацию формирования очерёдности получения услуг и сервисов в транспортных узлах и транспортных коридорах (речных портах, на внутренних водных путях);
- поддержка доступа судоводителей и других заинтересованных субъектов к цифровому картографическому обеспечению (включая специальные и тематические картматериалы) на внутренних водных путях в оперативном режиме, близком к реальному времени;
- мониторинг (включая видеомониторинг) и управление прохождением водных транспортных средств по контролируемым участкам водного пути с использованием активных идентификационных меток и активных информационных систем;
- передача информации систем высокоточного позиционирования, систем единого времени, управления движением на бортовые устройства подключенных транспортных средств;
- резервные каналы передачи информации об ограничениях движения на участках водного пути на бортовые устройства водных транспортных средств.

Дальнейшее графическое моделирование цифровизации ВВТ базируется в статике: на функциональных и технологических моделях в нотациях стандартов IDEF0 (причём здесь разрабатываются модели «КАК ЕСТЬ» и «КАК ДОЛЖНО БЫТЬ») и IDEF3, а также моделях потоков данных в нотациях DFD. В динамике моделирование можно ориентировать на инструментарий BPMN или современные сценарные методы [14, 15].

### **3. SWOT-анализ цифровизации ВВТ**

При использовании внутренних водных путей, в том числе в рамках международных транспортных коридоров и в условиях устойчивого развития, целесообразно использовать для объективной оценки их стабильного функционирования матрицы SWOT-анализа, который позволяет прогнозировать направления позитивного развития, узкие места, выгоды и риски.

В качестве неотъемлемых частей SWOT-анализа можно назвать внутренний аудит организации и аудит внешней среды. Их проведение предполагает использование соответствующих информационно-программных комплексов (например, «SWOT-анализ online» <https://www.masterplans.ru/swot-analysis.html>), которые позволяют автоматизировать рутинные процедуры, провести анализ технически грамотно и получить профессионально оформленные результаты. Затем проводится генерирование стратегий и определение набора тактических действий, используя матрицы стратегий:

- силы – возможности (SO)
- силы – угрозы (ST)
- слабости – возможности (WO)
- слабости – угрозы (WT)

Стратегии SO – это стратегии максимизации (maxi-maxi), то есть необходимо максимально использовать сильные стороны системы и имеющиеся возможности. Стратегии ST (maxi-mini) имеют своей целью минимизировать угрозы за счет использования сильных сторон. Стратегии WO (mini-maxi) направлены на то, чтобы слабые стороны не помешали реализовать имеющиеся возможности. Стратегии WT (mini-mini) ориентируются на минимизацию влияния слабых стороны на реализацию существующих угроз.

Затем разрабатывается комплекс матриц анализа использования сильных сторон и предоставляемых возможностей, компенсации слабых сторон и исключения угроз. При этом ведётся экспертная оценка соответствующих рейтингов и вероятностей. Например, влияние возможности интеграции ВВТ в мировую экономику будет высоким, но вероятность этого окажется средней, возможность диверсификации номенклатуры производимой продукции, ориентированной на экспорт, будет умеренной, но вероятность такого направления окажется высокой.

Заключительный этап SWOT-анализа характеризуется формулировкой основных стратегий менеджмента ВВТ (например, в виде стратегических карт и соответствующей системы сбалансированных показателей) на основании результатов анализа представленных выше матриц.

Стратегические возможности, на реализацию которых могут понадобиться значительные ресурсы, а также угрозы с высокой вероятностью, требующие существенного внимания и постоянного мониторинга, относятся к основным управленческим приоритетам. Они должны находиться под постоянным контролем руководства отрасли в рамках соответствующих активных информационных систем и персональных ситуационно-аналитических центров, которые обеспечивают реальную локализацию, идентификацию и документирование проблемных ситуаций, формирование её документационной оболочки и формируют необходимые предложения для принятия решений.

#### **4. Активные информационные системы для ВВТ**

Применительно к ВВТ современные перспективные информационно-коммуникационные технологии проявляются в дальнейшей его интеллектуализации, формировании «сквозных» решений и интеграции информационных ресурсов. Разработка и строительство автономных (роботизированных) надводных и подводных транспортных средств, а также интеллектуализация водных магистралей и портового хозяйства ориентирует речные информационные системы на работу в активном режиме.

Рассмотрим базовые аспекты внедрения активных информационных систем при цифровизации ВВТ. Основой этих процессов будет «умное судно», что подразумевает возможность цифрового контроля и управления всеми существенными конструктивными элементами и процессами на судне на основе «Интернета вещей», единого информационного пространства, «сквозных» и коммуникационных технологий. Для этого необходимо провести цифровую трансформацию судового оборудования и обеспечить его способность подключаться к цифровой среде судна и портовой инфраструктуре. Следующим немаловажным аспектом представляется цифровизация операционной деятельности ВВТ. Это повысит эффективность повседневной эксплуатации судна за счёт возможности его представления в виде «цифрового двойника» и рассмотрения в виртуальном или дополненном пространстве. Тогда текущее состояние его контролируемых параметров (наличие и расход топлива, временной ресурс до очередного техобслуживания, наличие ресурсов и запчастей и др.) будет доступно дистанционно в формате цифровой модели, сигналов и сообщений. Считается, что внешняя среда «умного судна» также подвергнется цифровой трансформации, и судовладелец и другие заинтересованные лица также смогут получать из единого информационного пространства необходимые сведения. Вся эта информация, обработанная самообучаемым искусственным интеллектом, с одной стороны, поможет в подготовке принятия оптимальных эксплуатационных решений (выбор курса, маршрута движения, состава груза и других), а с другой – инициирует (при необходимости) сбор дополнительных данных, их обработку, тиражирование полученной информации. Такого рода технологии характерны для активных информационных систем.

Анализ проблемных ситуаций (ПС), решаемых в отрасли ВВТ, показывает, что сценарии работы с ними связаны с постоянным сканированием пространства состояний объектов управления и мониторинга параметров с точки зрения отклонений значений, наличия возмущающих воздействий либо локализации и идентификации ПС как совокупности отклонений и возмущений в системе. Таким образом, требуется режим постоянного автоматического сканирования и мониторинга связанных информационных пространств и поиск сочетаний значений данных, подпадающих под конкретные модели ПС. Для этого важны регулярные обновления баз данных и пополнение хранилищ данных, непрерывный доступ к электронным услугам, информационным сервисам и ресурсам, связанным с конкретной предметной областью.

Проблемы локализации и мониторинга ПС связаны главным образом с использованием различных видов информационных ресурсов, участвующих в подготовке принятия решений, что предполагает использование комплекса программных средств мониторинга источников информации и анализа получаемых сведений. В данном случае можно выделить следующие группы программ:

Парсеры (мониторинг информационного пространства и получение ИР в исходном виде, выборка актуальных ИР и приведение их к единому формату, компоновка результата в один или несколько файлов).

Анализа текста (получения смыслового образа текста в терминах ключевых слов и их смысловых отношений, выявления семантической структуры текста, смыслового поиска, автоматического реферирования, кластеризации информации, автоматической индексации текста с преобразованием в гипертекст);

Языки запросов и информационно-поисковые языки (учёт контекстных и семантических тонкостей сложных поисковых задач).

Распознавание образов (выделение объектов в видеопотоке).

Видеомониторинг (сопоставление изображения с базой данных).

Управления мониторингом информационного пространства на основе анализа метаданных информационных ресурсов, ограничений (например, пространственно-временных, финансовых и прочих), нормативов, регламентов и правил.

Вместе с тем управление информационными системами должно включать в себя и элементы автоматического или адаптивного управления, когда ответ на запрос может инициировать генерацию других запросов или сигналов запуска для решения функциональных задач (а возможно и технологических процессов). Такого рода информационные системы, имеющие в своём составе интеллектуальную составляющую, называются активными. Под Активными Информационными Системами (АкИС) мы будем понимать компьютерную информационную систему, отличающуюся от прочих следующим свойством: она не только является программно-техническим комплексом, действующим по установленному алгоритму, но и формирует собственное операционное и технологическое пространство в зависимости от контекста состояния окружающей среды (включая формируемые сети влияния и доверия) [16]. Операционное и технологическое пространство АкИС базируется на ассоциативно-понятийном пространстве (АПП) её компонентов, показанных на рис. 5.



Рис. 5. Структура АкИС

Основное отличие АПП от других информационных пространств состоит в том, что оно является самоописываемым и генерирующим свои метаданные. При этом не только задаются основные отношения между именованными объектами АПП, но и

предлагаются операции их отображения (алгебраические, логические, топологические и другие) в зависимости от принятого аппарата моделирования, измерения или оценивания. Эти операции могут быть рассмотрены как в рамках существующей, так и дополненной реальности с трансляцией и визуализацией промежуточных и окончательных результатов в другие информационные пространства [3].

АкИС формирует собственное операционное и технологическое пространство в зависимости от контекста состояния окружающей среды (предметной области), включая реальные и виртуальные сети влияния и доверия. Операционное и технологическое пространство АкИС базируется на АПП её компонентов (включая репозиторий чрезвычайных ситуаций). Здесь следует отметить, что АкИС в ВВТ должна реагировать на весь спектр чрезвычайных ситуаций: от природных и техногенных до экономических и экологических. При этом реакция должна быть отработанная и всеобъемлющая, затрагивающая всех заинтересованных и их информационные системы и ресурсы.

В рамках ВВТ применение АкИС направлено на управление ситуационной обстановкой на водных путях и в портах (особенно при формировании и прохождении караванов судов, управлении погрузочно-разгрузочными работами и др.). Высокая динамичность ситуаций и широкий спектр внешних воздействий характеризуют важность автоматической активизации управленческих решений и информационного реагирования, включая и процессы управления в реальном времени.

### **Заключение**

Цифровизированные системы транспорта и логистики, обеспеченные перспективными высококвалифицированными кадрами, инновационные системы управления выступают в настоящий момент как стержневые факторы в обеспечении конкурентоспособности государств. При этом узловой целью реинжиниринга транспортной сферы в информационном обществе является его интеллектуализация, поддержка гомеостазиса (устойчивого развития) и формирование энтропата – совокупности долговременных партнёрских отношений со всеми заинтересованными (внешним окружением). С учётом конкуренции в этой сфере, тем не менее, важны развитие и поддержка цифрового доверенного пространства, базирующегося на технологиях электронного обмена данными (EDI) (включая соответствующие стандарты и организационные структуры), системах цифровой навигации и картографии, единой системе идентификации и прослеживаемости продукции и услуг.

В числе направлений дальнейшего развития информационно-телекоммуникационных сервисов на ВВТ можно определить:

- а) создание систем контроля перемещений грузов, включая автоматизацию формирования очередей в транспортных узлах и на пограничных переходах, и в первую очередь в речных портах, а также на внутренних водных путях;
- б) предоставление судоводителям и другим заинтересованным лицам доступа к цифровому картографическому обеспечению на внутренних водных путях в высокоскоростном режиме, близком к реальному времени;
- с) обеспечение слежения (включая видеомониторинг) и управления прохождением водных транспортных средств по контролируемым участкам водного пути с использованием активных идентификационных RFID-меток;



д) передача информации от систем спутникового позиционирования, систем единого времени, систем управления движением на бортовые устройства подключенных транспортных средств;

е) обеспечение резервных каналов передачи информации о наличии ограничения движения на участках водного пути на бортовые устройства водных транспортных средств.

В целом можно отметить, что системная цифровизация ВВТ поддерживает эффективность всего транспортно-логистического комплекса, а в рамках интеграции информационных пространств, реализации «сквозных» технологий (производственных и инфраструктурных), а также формирования «расширенных» организаций и эффективность других взаимодействующих с ВВТ отраслей. Используя цифровизацию своей деятельности, судоходные компании, порты и верфи сокращают операционные расходы, обеспечивают значительное снижение материальных, финансовых и трудовых расходов, автоматизируют и роботизируют производственные процессы и, как итог, повышают эффективность и прибыльность своей деятельности.

#### Список литературы

1. Ганчеренок И., Горбачев Н. Глобализация 4.0. Ответ системы образования. Mauritius: Palmarium Academic Publishing, 2019. 112 с.
2. Ганчерёнок И.И., Горбачёв Н.Н., Вильданова Л.А., Темирова Ф.С. Кадровое обеспечение цифровой трансформации: кадры или таланты // Экономика, управление, право, образование в XXI веке: проблемы, тенденции и перспективы развития. Материалы VI Международной научно-практической конференции, 30 апреля 2020 г. / отв. ред. И.А. Тихонова, А.А. Цепенко; ф-л Моск. ун-та им. С.Ю. Витте в г. Рязани [Электронное издание]. М.: Изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2020. С. 5-20.
3. Ганчерёнок И.И., Горбачёв Н.Н. Нелинейное управление. Ситуационный анализ. Mauritius: Palmarium Academic Publishing, 2019. 381 с.
4. Giannopoulos G., Mitsakis E., Salanova J.M. Overview of Intelligent Transport Systems (ITS) developments in and across transport modes, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012, 34 p. doi:10.2788/12881
5. Jain A., Van der Heijden R., Marchau V., Bruckmann D. Towards Rail-Road Online Exchange Platforms in EU-Freight Transportation Markets: An Analysis of Matching Supply and Demand in Multimodal Services, Sustainability, 2020, Vol. 12. doi:10.3390/su122410321
6. Jarašūnienė A., Batarlienė N., Vaičiūtė K. Application and Management of Information Technologies in Multimodal Transportation, Procedia Engineering, 2016, Vol. 134, pp. 309-315. doi:10.1016/j.proeng.2016.01.012
7. Niculescu M.C., Minea M. Developing a single window integrated platform for multimodal transport management and logistics, Transportation Research Procedia, 2016, Vol. 14, pp. 1453-1462. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.219
8. Tavasszy L. Innovation and technology in multimodal supply chains, International Transport Forum Discussion Paper, 2021, No. 2018-18, doi:10.1787/52a6bc82-en
9. Bobrova V., Berezhnaya L. Digitization of the transport industry in Russia: problems and prospects, Advances in Economics, Business and Management Research, 2019, Vol. 81, pp. 174-177. doi:10.2991/mtde-19.2019.33
10. Gattuso D., Pellicano D.S. Advanced methodological researches concerning ITS in freight transport, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, 2014, no. 111, pp. 994-1003. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.134
11. Vasilenko M., Kuzina E., Bepalov V., Drozdov N., Tagiltseva J., Korenyakina N., Prokopchuk V., Nadolinsky P. Digital technologies in quality and efficiency management of transport service, XXII International Scientific Conference Energy Management of

- Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies (EMMFT-2020), 2021, Vol. 244. doi:10.1051/e3sconf/202124411046
12. Dmitriev A., Plastunyak I. Integrated digital platforms for development of transport and logistics services, *Atlantis Highlights in Computer Sciences*, 2019, Vol. 1, pp. 136-141. doi:10.2991/icdtli-19.2019.27
  13. Sarma H. Turning the international North-South corridor into a “digital corridor”, *Comparative Politics Russia*, 2018, Vol. 9, No.4, pp. 124-138. doi:10.24411/2221-3279-2018-10008
  14. Фёдоров И. Г. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN2.0: монография. М.: МЭСИ. 2013. 255 с.
  15. Горбачёв Н.Н., Валентей С.М. Сценарное управление ситуационным центром // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНИТИ-2016: доклады XV Международной конференции, Минск, 17 ноября 2016 г.). Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2016. С. 67-73.
  16. Горбачёв Н.Н. Активные информационные системы в ситуационно-аналитических центрах // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНИТИ-2019): доклады XVIII Международной конференции, Минск, 21 ноября 2019 г. Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2019. С. 101-105.

### References

1. Gancherenok I., Gorbachev N. Globalizaciya 4.0. Otvet sistemy obrazovaniya [Globalization 4.0. Response of the education system]. Mauritius: Palmarium Academic Publishing, 2019. 112 s. (In Russ).
2. Gancheryonok I.I., Gorbachyov N.N., Vil'danova L.A., Temirova F.S. Kadrovoe obespechenie cifrovoj transformacii: kadry ili talanty [Human resources for digital transformation: personnel or talents]. *Ekonomika, upravlenie, pravo, obrazovanie v XXI veke: problemy, tendencii i perspektivy razvitiya. Materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 30 aprelya 2020 g. / otv. red. I.A. Tihonova, A.A. Cenenko; f-I Mosk. un-ta im. S.YU. Vitte v g. Ryazani [Elektronnoe izdanie]. – M.: izd. CHOUVO «MU im. S.YU. Vitte», 2020. S. 5-20. (In Russ).*
3. Gancheryonok I.I., Gorbachyov N.N. Nelinejnoe upravlenie. Situacionnyj analiz [Nonlinear control. Situation analysis]. Palmarium Academic Publishing, 2019. – 381 s. (In Russ).
4. Giannopoulos G., Mitsakis E., Salanova J.M. Overview of Intelligent Transport Systems (ITS) developments in and across transport modes, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012, 34 p. doi:10.2788/12881
5. Jain A., Van der Heijden R., Marchau V., Bruckmann D. Towards Rail-Road Online Exchange Platforms in EU-Freight Transportation Markets: An Analysis of Matching Supply and Demand in Multimodal Services, *Sustainability*, 2020, Vol. 12. doi:10.3390/su122410321
6. Jarašūnienė A., Batarlienė N., Vaičiūtė K. Application and Management of Information Technologies in Multimodal Transportation, *Procedia Engineering*, 2016, Vol. 134, pp. 309-315. doi:10.1016/j.proeng.2016.01.012
7. Niculescu M.C., Minea M. Developing a single window integrated platform for multimodal transport management and logistics, *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 14, pp. 1453-1462. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.219
8. Tavasszy L. Innovation and technology in multimodal supply chains, *International Transport Forum Discussion Paper*, 2021, No. 2018-18, doi:10.1787/52a6bc82-en
9. Bobrova V., Berezhnaya L. Digitization of the transport industry in Russia: problems and prospects, *Advances in Economics, Business and Management Research*, 2019, Vol. 81, pp. 174-177. doi:10.2991/mtde-19.2019.33
10. Gattuso D., Pellicano D.S. Advanced methodological researches concerning ITS in freight transport, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, 2014, no. 111, pp. 994-1003. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.134
11. Vasilenko M., Kuzina E., Bespalov V., Drozdov N., Tagiltseva J., Korenyakina N., Prokopchuk V., Nadolinsky P. Digital technologies in quality and efficiency management of transport service, XXII International Scientific Conference Energy Management of

- Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies (EMMFT-2020), 2021, Vol. 244. doi:10.1051/e3sconf/202124411046
12. Dmitriev A., Plastunyak I. Integrated digital platforms for development of transport and logistics services, Atlantis Highlights in Computer Sciences, 2019, Vol. 1, pp. 136-141. doi:10.2991/icdtli-19.2019.27
  13. Sarma H. Turning the international North-South corridor into a “digital corridor”, Comparative Politics Russia, 2018, Vol. 9, No.4, pp. 124-138. doi:10.24411/2221-3279-2018-10008
  14. Fyodorov I. G. Modelirovanie biznes-processov v notacii BPMN2.0: monografiya [Modeling Business Processes in BPMN2.0 Notation: Monograph]. M.: MESI. 2013. 255 s. (In Russ).
  15. Gorbachyov N.N., Valentej S.M. Scenarnoe upravlenie situacionnym centrom [Scenario management of the situation center]. Razvitie informatizacii i gosudarstvennoj sistemy nauchno-tehnicheskoy informacii (RINITI-2016:doklady XV Mezhdunarodnoj konferencii, Minsk, 17 noyabrya 2016 g.). Minsk: OIPI NAN Belarusi, 2016. S. 67-73. (In Russ).
  16. Gorbachyov N.N. Aktivnye informacionnye sistemy v situacionno-analiticheskikh centrakh [Active information systems in situational and analytical centers]. Razvitie informatizacii i gosudarstvennoj sistemy nauchno-tehnicheskoy informacii (RINITI-2019): doklady XVIII Mezhdunarodnoj konferencii, Minsk, 21 noyabrya 2019 g. Minsk: OIPI NAN Belarusi, 2019. S. 101-105. (In Russ).

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

**Ганчеренок Игорь Иванович**, доктор физико-математических наук, профессор, директор Белорусско-Узбекского межотраслевого института прикладных технических квалификаций, Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: gancher62@mail.ru

**Igor I. Gancherenok**, Dr. Sci. (Phys & Math), Professor Director of the Belarusian-Uzbek Interdisciplinary Institute of Applied Technical Qualifications, Belarusian National Technical University, 65 Independence Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: gancher62@mail.ru

**Горбачев Николай Николаевич**, старший преподаватель кафедры управления информационными ресурсами, Академия управления при Президенте Республики Беларусь, ул. Московская 17, 220007, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: nick-iso@tut.by

**Nikolay N. Gorbachev**, Senior Lecturer, Academy of Management under the President of the Republic of Belarus, st. Moscow 17, 220007, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: nick-iso@tut.by

**Ничипорук Андрей Олегович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: nichiporouk@rambler.ru

**Andrey O. Nichiporuk**, Dr. Sci. (Eng), Assistant Professor, Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterova, 5, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: nichiporouk@rambler.ru

**Шумовская Наталья Евгеньевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры Экономика и управление на водном транспорте, Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М.Апраксина – филиал Волжского государственного университета водного транспорта, 414000, г. Астрахань, ул. Никольская, 6, e-mail: gavrillinan.e@mail.ru

**Natalia E.Shumovskaya**, Ph.D. (Econ) assistant professor Professor of the Department of Economics and Management in Water Transport, Caspian Institute of Sea and River Transport named after General-Admiral F.M. Apraksin – the affiliation of the Volga State University of Water Transport, 6 Nikolskaya St., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: gavrillinan.e@mail.ru

**Харченко Ольга Александровна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Экономика и управление на водном транспорте, Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М.Апраксина – филиал Волжского государственного университета водного транспорта, 414000, г. Астрахань, ул. Никольская, 6, e-mail:Kharchenko2007@mail.ru

**Olga A.Kharchenko**, Ph.D. (Eng) assistant professor, Professor of the Department of Economics and Management in Water Transport, Caspian Institute of Sea and River Transport named after General-Admiral F.M. Apraksin – the affiliation of the «Volga State University of Water Transport», 6 Nikolskaya St., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: Kharchenko2007@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.02.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 08.02.2022; published online 21.03.2022.

УДК 004.414:378.4

DOI: 10.37890/jwt.vi70.231

## **Концепция создания единого цифрового портала транспортных вузов**

**О.А. Казьмина<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6886-6383>

**С.А. Казьмин<sup>2</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6327-0214>

**Н.Ю. Пышкина<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4008-5531>

**А.А. Холопова<sup>3</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6584-2346>

<sup>1</sup>Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О.

Макарова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>ГБУ ДО ДТ «Измайловский», Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация:** Обозначенные в стратегических документах ориентиры на цифровизацию транспортной отрасли возможно реализовать только при наличии высококвалифицированных специалистов, обладающих необходимыми компетенциями. Необходимый уровень и качество отраслевого образования должны обеспечить транспортные вузы Росморречфлота, в том числе, посредством Единого цифрового портала, который представляет собой единое окно к единому образовательному контенту в рамках единой цифровой среды отрасли водного транспорта. Представлена актуальность и предпосылки создания Единого цифрового портала транспортных вузов. Сформулированы цель и задачи, а также концепция создания Единого цифрового портала транспортных вузов Росморречфлота, способствующего реализации государственной политики в области подготовки отраслевых кадров, повышению качества отраслевого образования и росту отраслевого потенциала.

**Ключевые слова:** единый цифровой портал, подготовка кадров, дистанционное обучение, транспортные вузы, отраслевое образование.

## **The concept of creating a single digital portal of transport universities**

**Olesya A. Kazmina<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6886-6383>

**Sergei A. Kazmin<sup>2</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6327-0214>

**Nadezhda Y. Pyshkina<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4008-5531>

**Anna A. Kholopova<sup>3</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6584-2346>

<sup>1</sup> Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> State Marine Technical University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> State budgetary institution of additional education House of creativity "Izmailovsky"

**Abstract:** The guidelines outlined in the strategic documents for the digitalization of the transport industry can be implemented only if there are highly qualified specialists with the necessary competencies. The necessary level and quality of industry education should be provided by Rosmorrechflot transport universities, including through a Single digital portal, which is a single window to a single educational content within a single digital environment of the water transport industry. The relevance and prerequisites for the creation of a Single digital portal of transport universities are presented. The purpose and objectives are formulated, as well as the concept of creating a Single digital portal of Rosmorrechflot transport universities, contributing to the implementation of state policy in the field of training industry personnel, improving the quality of industry education and the growth of industry potential.

**Keywords:** unified digital portal, personnel training, distance learning, transport universities, industry education.

### **Введение**

Современный уровень развития отечественного флота, портов, всей инфраструктуры водного транспорта обуславливает важность подготовки квалифицированных кадров для эффективной и бесперебойной работы отрасли морского и речного транспорта. Нормативно-законодательная база, стандарты качества в области образования, особенности подготовки специалистов плавсостава определяют необходимость соответствия высоким требованиям подготовки кадров и использования современных информационных технологий в этом процессе.

С другой стороны, обозначенные в стратегических документах ориентиры на цифровизацию транспортной отрасли, необходимость качественной реализации выполнения государственных задач по развитию транспортной системы, а также переход на цифровую экономику возможны только при наличии высококвалифицированных специалистов отрасли, обладающих необходимыми компетенциями.

Среди задач, определенных Указом Президента РФ от 7 мая 2018 г. №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», в сфере образования предусмотрено создание современной и безопасной цифровой образовательной среды, обеспечивающей высокое качество и доступность образования всех видов и уровней [1].

В Концепции подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года, утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 6 февраля 2021 года №255-р, предполагается развитие цифровых технологий в вопросах подготовки кадров. В качестве мировых трендов развития транспортного образования указаны внедрение дистанционных технологий в образование, гибридного формата обучения, развитие цифровой среды университета, технологий на основе больших данных [2].

Одним из направлений цифровизации транспортных образовательных организаций является формирование единой цифровой среды, объединяющей различный контент, цифровые решения для различных групп пользователей. Кроме того, в документе сказано о том, что предполагается создание единого информационного портала для образовательных организаций в сфере транспорта с публикацией различных образовательных модулей и программ дистанционного обучения [2].

Вопросы важности подготовки квалифицированных кадров отражены и в Транспортной стратегии РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Среди долгосрочных целей в документе обозначена цифровая трансформация отрасли и ускоренное внедрение новых технологий [3].

Таким образом, отраслевым вузам необходимо принять активное участие в цифровизации системы кадрового обеспечения транспортного комплекса России в целях повышения качества отраслевого образования и кадрового потенциала отрасли с учетом накопленного опыта обучения и знаний в области подготовки специалистов морского и речного флота. Для достижения этих целей авторами предлагается создание единого цифрового портала транспортных вузов (далее – ЕЦП).

### **История возникновения концепции единого цифрового портала транспортных вузов**

Основой разработки концепции создания ЕЦП послужила идея о необходимости интеграции достижений отраслевых вузов в области подготовки специалистов водного транспорта с использованием информационно-коммуникационных технологий и создании уникального инструмента – Единого информационно-образовательного портала вузов (ЕИОП) Федерального агентства морского и речного транспорта (далее – ФАРМТ, Росморречфлот) еще в 2013 году.

Указанная идея возникла благодаря опыту, полученному при развитии образовательного портала и системы дистанционного обучения «ФАРВАТЕР» в период 2012-2013 гг. работы авторов в отделе инновационных образовательных технологии ФБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций» (после реорганизации - ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»), а также в рамках проведения семинара по повышению квалификации преподавателей университета по теме «Использование инновационных технологий в образовании» [4-6].

Данная идея в части проектирования и оценки экономической эффективности была представлена авторами в рамках следующих мероприятий:

- IV межвузовская научно-практическая конференция аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России» [7];
- конкурс научно-исследовательских работ «Молодые ученые транспортной отрасли – 2013» [8];
- научно-практическая конференция с международным участием по современным проблемам прикладной информатики [9].

В настоящее время идея создания единого портала доработана и представлена ниже.

### **Предпосылки создания единого цифрового портала транспортных вузов**

Для реализации широкомасштабных задач, предусмотренных подпрограммой «Морской и речной транспорт» ГП «Развитие транспортной системы России (2018-2024 гг.)», с каждым годом возрастает потребность в квалифицированных кадрах [10].

В настоящее время подготовкой специалистов плавсостава занимаются следующие государственные учреждения высшего профессионального образования Росморречфлота (вертикально-интегрированных учебно-научно-инновационных комплексов) [11]:

- Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова (ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова);
- Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова);

- Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского (МГУ им. адм. Г.И. Невельского);
- Волжский государственный университет водного транспорта (ВГУВТ);
- Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ).

Большой интерес представляет опыт использования информационно-коммуникационных технологий в вузах Росморречфлота, поэтому авторами выполнен обзор сайтов и систем дистанционного обучения этих вузов.

Так, ВГУВТ имеет в структуре Управление информационных технологий, одной из задач которого является цифровизация деятельности университета, в том числе разработка и внедрение в образовательную деятельность мультимедийных обучающих модулей, создание электронных сервисов. В вузе создана электронная информационно-образовательная среда (ЭИОС). ВГУВТ развивает собственную систему дистанционного обучения (СДО) «Парус» (рис. 1) [12].

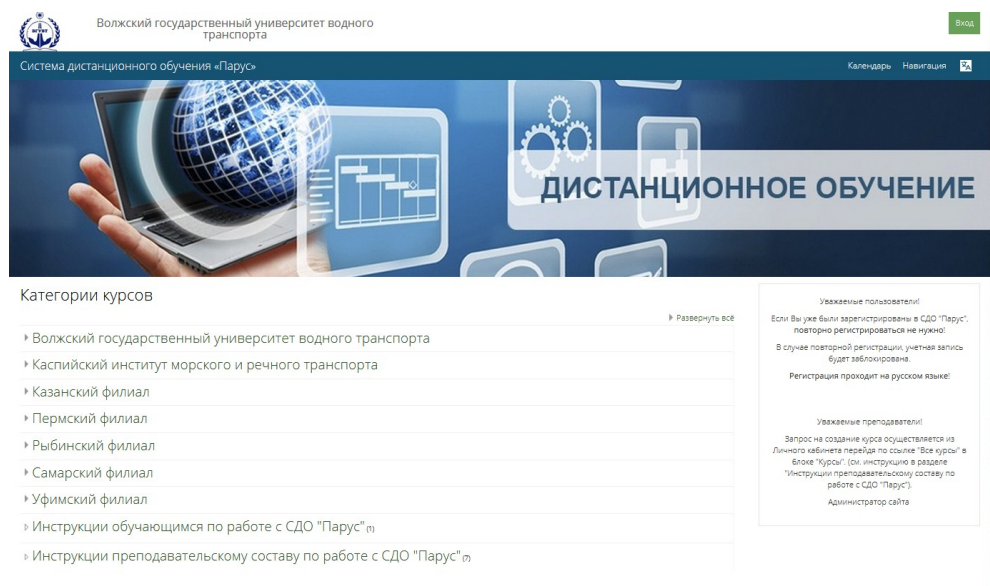


Рис. 1. Интерфейс СДО «Парус» ВГУВТ

В СГУВТ функционирует Центр информационных технологий в целях разработки новых информационных технологий и ресурсов, а также их внедрения в учебный процесс, в т.ч., в направлении межвузовской деятельности. Создана информационно-образовательная среда, функционирует образовательный портал. Также СГУВТ создал сайт для трудоустройства своих выпускников (рис. 2) [13].



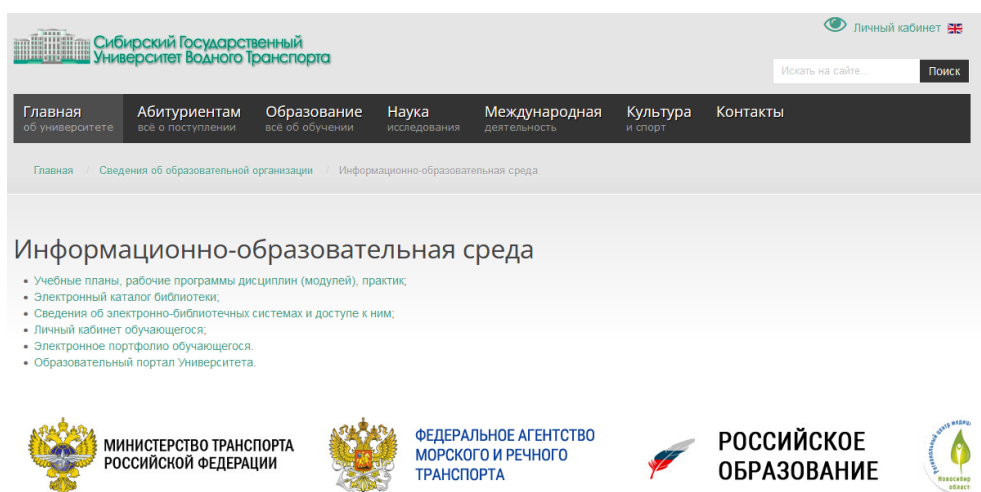


Рис. 2. Интерфейс информационно-образовательной среды СГУВТ

В МГУ им. адм. Г.И. Невельского создан Центр автоматизации образовательной деятельности в целях повышения качества образования за счет модернизации образовательного процесса в университете путем применения электронного и дистанционного обучения и различных образовательных технологий. Центр сопровождает систему электронного обучения университета (СЭО) «Курс» (рис. 3) [14].

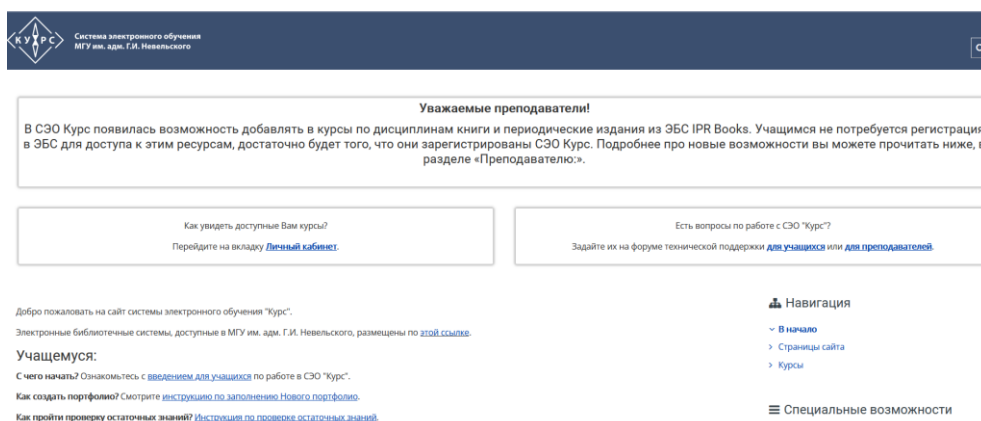


Рис. 3. Интерфейс СЭО «Курс» МГУ им. адм. Г.И. Невельского

В ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова функционирует образовательный портал, который является информационно-образовательной средой для дистанционного обучения и вспомогательным средством для организации образовательного процесса (рис. 4). Также реализован «Электронный деканат» для студентов, их родителей и сотрудников, который представляет собой модуль информационной системы [15].

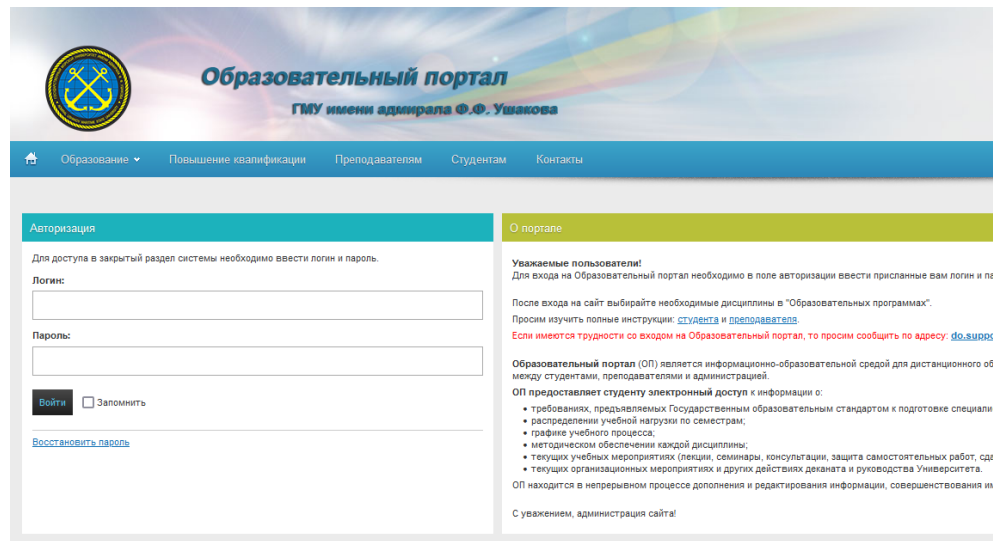


Рис. 4. Интерфейс Образовательного портала ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова

В ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова создана ЭИОС, ресурсы которой сопровождают сотрудники Управления информатизации (рис. 5) [3,4].



Рис. 5. Структура электронной информационно-образовательной среды ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

Очевидно, что в целом по отрасли в образовательных организациях накоплен определенный опыт подготовки кадров с использованием информационно-коммуникационных технологий, однако, не в достаточной мере обеспечен обмен таким опытом. Таким образом, объединение накопленных отраслевых ресурсов и создание единого цифрового портала представляется целесообразными, будет чрезвычайно актуальным в сложившихся условиях.

### Концепция создания единого цифрового портала транспортных вузов

Концепция создания единого цифрового портала транспортных вузов представлена на рисунке 6.

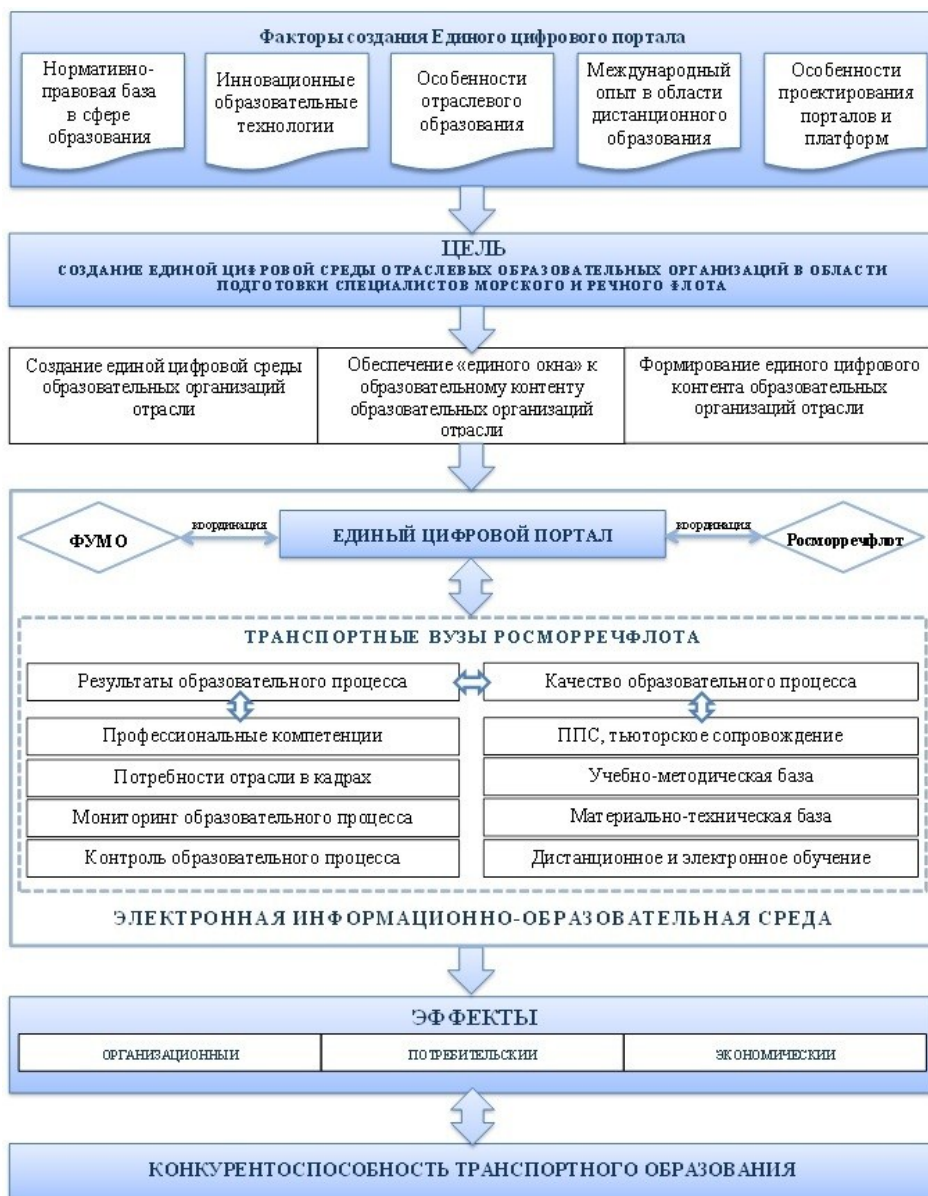


Рис. 6. Концепция создания ЕЦП

Итак, создание ЕЦП необходимо в целях создания единой образовательной цифровой среды на основе интеграции накопленных знаний и опыта транспортных

образовательных организаций в области подготовки специалистов морского и речного флота.

ЕЦП позволяет решить следующие задачи:

- создание единой цифровой среды с уникальным цифровым контентом транспортных образовательных организаций Росморречфлота;
- обеспечение «единого окна» к единому цифровому контенту транспортных образовательных организаций Росморречфлота (отраслевым информационным ресурсам, например, ресурсам Росморречфлота, нормативно-правовым источникам, сайтам транспортных организаций, отраслевым кадровым службам);
- формирование единого цифрового контента транспортных образовательных организаций Росморречфлота (образовательный контент вузов, методические материалы ФУМО по образованию в области эксплуатации водного транспорта, отраслевая электронная библиотека учебно-методических материалов, нормативно-правовой базы отрасли);
- развитие гибридного формата обучения в транспортных вузах (традиционного, дистанционного и электронного);
- повышение качества отраслевого образования.

Создание ЕЦП позволит Федеральному учебно-методическому объединению в системе высшего и среднего профессионального образования (*ФУМО*) и *Росморречфлоту* обеспечивать необходимое качество и развитие транспортного образования, выполнять координирующую и регулирующую функции [15].

В частности, ФУМО посредством инструмента ЕЦП может реализовать основные направления своей деятельности: обеспечение соответствия потребностей отрасли и реализуемых образовательных программ, участие в разработке проектов, а также методическое сопровождение и мониторинг реализации федеральных государственных образовательных стандартов и образовательных стандартов, оптимизация перечня специальностей и направлений подготовки [15].

Деятельность Росморречфлота в рамках функционирования ЕЦП будет направлена на достижение следующих целей в сфере образования: реализация государственной политики в области транспортного образования, в том числе, участие в формировании направлений развития отраслевого образования, анализ текущего состояния, формирование планов и показателей деятельности отраслевых вузов, анализ и развитие статистического наблюдения и отчетности в области транспортного образования, оценка результатов научных исследований вузов, подготовка рекомендаций по формированию перечня тем научных исследований.

*Транспортные вузы и филиалы.* Концепция ЕЦП предполагает участие в проекте всех опорных вузов Росморречфлота. При этом рассматриваются следующие компоненты конкурентоспособности каждого транспортного вуза:

- качество образовательного процесса – формирует базу, обеспечивающую высокий уровень знаний, умений, навыков студентов (сюда относится материально-техническая база вуза; учебно-методическая база; уровень подготовки профессорско-преподавательского состава; организация образовательного процесса с использованием гибридных технологий, включая традиционное, дистанционное и электронное обучение);
- результаты образовательного процесса – составляют знания, умения, навыки выпускников вуза, т.е. тот необходимый набор компетенций, который соответствует современному уровню развития транспортного комплекса страны

и потребности отрасли в кадрах, а также является основой для формирования кадрового потенциала отрасли.

Таким образом, студенты, преподаватели, абитуриенты и их родители, выпускники, специалисты отрасли станут активными пользователями ЕЦП.

Электронная информационно-образовательная среда транспортных вузов включает образовательный портал, систему дистанционного обучения, электронные образовательные ресурсы, электронные библиотечные системы, тьюторское сопровождение; виртуальные тренажеры.

ЭИОС является фундаментом для разработки и функционирования единой цифровой среды посредством ЕЦП в соответствии с Федеральным законом от 28.02.2012 №11-ФЗ «О внесении изменений в Закон РФ «Об образовании» в части применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий», поскольку обеспечивает освоение обучающимися образовательных программ в полном объеме независимо от их мест нахождения.

Для описания процесса создания ЕЦП авторами была разработана диаграмма функций IDEF0. Процесс разработки ЕЦП включает: создание концепции ЕЦП, определение групп пользователей, разработку дизайна и структуры ЕЦП, процесс разработки портала (рис. 7). Наиболее важным моментом формирования общей концепции ЕЦП является исследование предметной области, которое позволило на основании выявленных факторов, влияющих на создание ЕЦП, сформулировать авторам требования, цели и задачи создания ЕЦП (рис. 8).

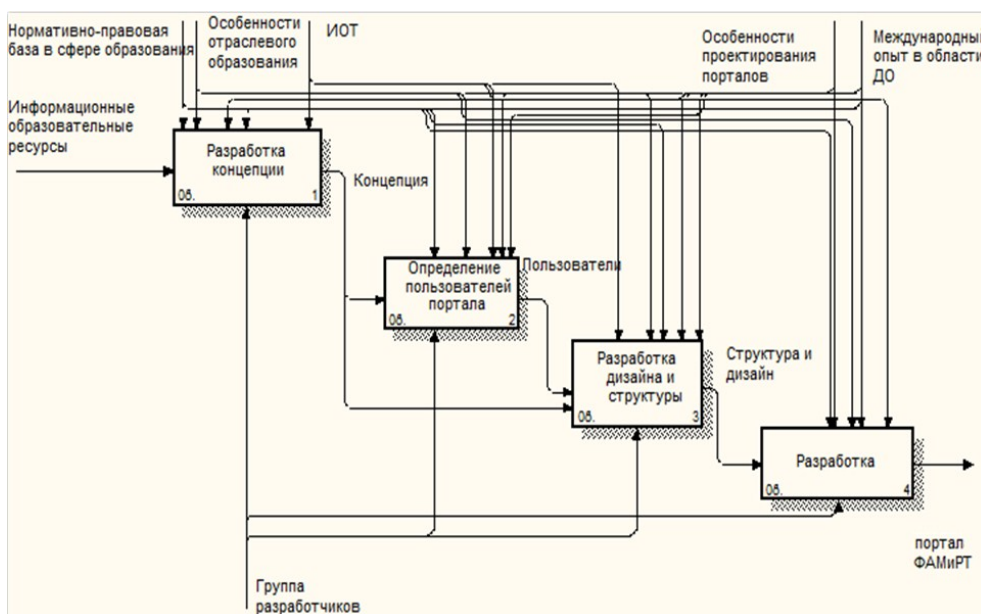


Рис. 7. Процесс разработки ЕЦП

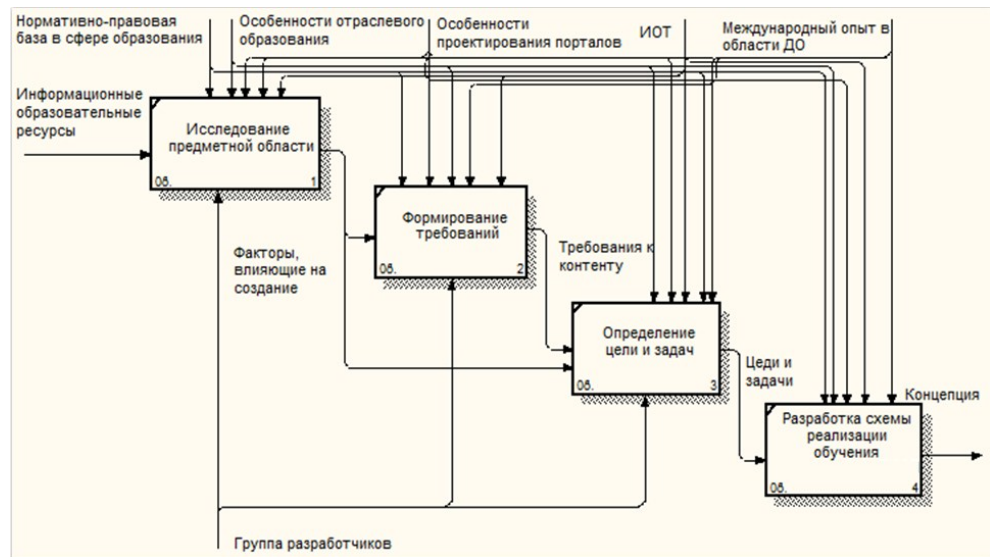


Рис. 8. Процесс разработки концепции ЕЦП

### Заключение

Современные ориентиры на цифровую трансформацию транспортной отрасли возможно реализовать только при наличии высококвалифицированных специалистов, обладающих необходимыми компетенциями. Требуемый уровень и качество отраслевого образования обеспечат транспортные вузы Росморречфлота, в том числе, посредством Единого цифрового портала, который представляет собой единое окно к единому образовательному контенту в рамках единой цифровой среды отрасли водного транспорта.

Таким образом, дальнейшее внедрение цифровых инструментов в образовательный процесс, в частности, создание ЕЦП, является необходимым условием повышения качества образовательных услуг отраслевых вузов и уровня подготовки кадров для транспортной отрасли, роста производственного и экономического потенциала транспортного комплекса страны.

Подводя итог, можно сказать, что кадровый потенциал и материально-техническая база ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, накопленный опыт разработки и внедрения технологий дистанционного обучения специалистов позволит ГУМРФ при активной поддержке Росморречфлота и ФУМО возглавить работы по созданию ЕЦП транспортных вузов.

### Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>
2. Распоряжение Правительства РФ от 6 февраля 2021 года N 255-р «О Концепции подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573594490>
3. Транспортная стратегия РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года URL: <http://government.ru/docs/43948/>
4. Образовательный портал ГУМРФ. URL: <https://edu.gumrf.ru/>
5. СДО «ФАРВАТЕР». URL: <https://farvater.gumrf.ru/>

6. Проект Госзатраты (Чтение лекций по повышению квалификации преподавателей «Использование инновационных технологий в образовании»). URL: <https://clearspending.ru/supplier/inn=780721707237&kpp=None>
7. Казьмина О.А., Резникова А.А. Проектирование и реализация единого информационно-образовательного портала ВУЗов Федерального агентства морского и речного транспорта. Программа IV межвузовской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России». 15-16 мая 2013 года. URL: <https://gumrf.ru/naudejat/nauchresearch/konferencii/A2013>
8. Конкурс научно-исследовательских работ «Молодые ученые транспортной отрасли – 2013». URL: [https://gumrf.ru/cultsport/comsov/sovetmoloduch/konkurs\\_nir\\_2013](https://gumrf.ru/cultsport/comsov/sovetmoloduch/konkurs_nir_2013), [http://gumrf.ru/useruploads/files/sno/science\\_103013\\_1.zip](http://gumrf.ru/useruploads/files/sno/science_103013_1.zip)
9. Казьмина О. А. Оценка экономической эффективности от реализации единого информационно-образовательного портала вузов ФАМИРТ // Современные проблемы прикладной информатики: Сборник научных трудов научно-практической конференции с международным участием по современным проблемам прикладной информатики, Санкт-Петербург, 23–25 мая 2013 года / Ответственный редактор: И. А. Брусакова, И. Л. Андреевский. Санкт-Петербург: ЭЛМОП, 2013. 238 с.
10. Постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 года № 1596 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы». URL: <https://docs.cntd.ru/document/556157375>
11. Официальный сайт Росморречфлота. URL: <http://morflot.gov.ru/>
12. Официальный сайт ФГБОУ ВО Волжский государственный университет водного транспорта. URL: [vsuwt.ru](http://vsuwt.ru)
13. Официальный сайт ГБОУ ВО Сибирский государственный университет водного транспорта. URL: [www.ssuwt.ru](http://www.ssuwt.ru)
14. Официальный сайт ФГБОУ ВО Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского. URL: [www.msun.ru](http://www.msun.ru)
15. Официальный сайт ФГБОУ ВО Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова URL: [aumsu.ru](http://aumsu.ru)
16. Официальный сайт ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. URL: <https://gumrf.ru>

#### References

1. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018 № 204 "On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024". URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>
2. Order of the Government of the Russian Federation of February 6, 2021 N 255-r "On the Concept of training personnel for the transport complex until 2035". URL: <https://docs.cntd.ru/document/573594490>
3. Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035. URL: <http://government.ru/docs/43948/>
4. Educational portal GUMRF. URL: <https://edu.gumrf.ru/>
5. SDO "FARVATER". URL: <https://farvater.gumrf.ru/>
6. State expenditures project (Reading lectures on advanced training of teachers "Use of innovative technologies in education"). URL: <https://clearspending.ru/supplier/inn=780721707237&kpp=None>
7. Kazmina O.A., Reznikova A.A. Design and implementation of a unified information and educational portal for universities of the Federal Agency for Maritime and River Transport. The program of the IV interuniversity scientific-practical conference for graduate students, students and cadets "Current trends and prospects for the development of water transport in Russia." May 15-16, 2013. URL: <https://gumrf.ru/naudejat/nauchresearch/konferencii/A2013>
8. Competition of research papers "Young scientists of the transport industry - 2013". URL: [https://gumrf.ru/cultsport/comsov/sovetmoloduch/konkurs\\_nir\\_2013](https://gumrf.ru/cultsport/comsov/sovetmoloduch/konkurs_nir_2013), [http://gumrf.ru/useruploads/files/sno/science\\_103013\\_1.zip](http://gumrf.ru/useruploads/files/sno/science_103013_1.zip).

9. Kazmina O. A. Assessment of economic efficiency from the implementation of the unified information and educational portal of universities FAMiRT // Modern problems of applied informatics: Collection of scientific papers of a scientific and practical conference with international participation on modern problems of applied informatics, St. Petersburg, May 23-25, 2013 / Managing editor: I. Brusakova, I. Andreevsky. St. Petersburg: ELMOR, 2013. 238 p.
10. Resolution of the Government of the Russian Federation of December 20, 2017 No. 1596 "On approval of the state program of the Russian Federation" Development of the transport system". URL: <https://docs.cntd.ru/document/556157375>
11. Official site of Rosmorrechflot. URL: <http://morflot.gov.ru/>
12. Official site of the Volga State University of Water Transport. URL: [vsuwt.ru](http://vsuwt.ru)
13. The official site of the Siberian State University of Water Transport. URL: [www.ssuwt.ru](http://www.ssuwt.ru)
14. Official site of the Admiral G.I. Nevelsky. URL: [www.msun.ru](http://www.msun.ru)
15. Official site of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova. URL: [aumsu.ru](http://aumsu.ru)
16. Official site of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education State University of Maritime and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. URL: <https://gumrf.ru>

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

**Казмина Олеся Александровна**, доцент кафедры «Математического моделирования и прикладной информатики», Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, дом 5/7, e-mail: [kazminaoa@gumrf.ru](mailto:kazminaoa@gumrf.ru)

**Казмин Сергей Алексеевич**, студент, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121, Санкт-Петербург, улица Лоцманская, дом 3, e-mail: [kazmin.energy@gmail.com](mailto:kazmin.energy@gmail.com)

**Пышкина Надежда Юрьевна**, старший преподаватель кафедры «Математического моделирования и прикладной информатики», Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, дом 5/7, e-mail: [kaf\\_mathmod@gumrf.ru](mailto:kaf_mathmod@gumrf.ru)

**Холопова Анна Александровна**, методист, ГБУ ДО ДТ «Измайловский», 190005, Санкт-Петербург, ул. Егорова, дом 26а, литера А, e-mail: [AA\\_kholopova@rambler.ru](mailto:AA_kholopova@rambler.ru)

**Olesya A. Kazmina**, assistant professor of the Department Mathematical Modeling and Applied Computer Science, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7 Dvinskaya street, Saint-Petersburg, 198035, Russia, e-mail: [kazminaoa@gumrf.ru](mailto:kazminaoa@gumrf.ru)

**Sergei A. Kazmin**, student of the State Marine Technical University, Lotsmanskaya Ulitsa, 10, Sankt-Peterburg, 190121, Russia, e-mail: [kazmin.energy@gmail.com](mailto:kazmin.energy@gmail.com)

**Nadezhda Y. Pyshkina**, senior Lecturer of the Department Mathematical Modeling and Applied Computer Science, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7 Dvinskaya street, Saint-Petersburg, 198035, Russia, e-mail: [kaf\\_mathmod@gumrf.ru](mailto:kaf_mathmod@gumrf.ru)

**Anna A. Kholopova**, methodist of the State budgetary institution of additional education House of creativity «Izmailovsky», 26a, letter A, st. Egorova, Saint-Petersburg 190005, Russia e-mail: [AA\\_kholopova@rambler.ru](mailto:AA_kholopova@rambler.ru)

Статья поступила в редакцию 01.02.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 01.02.2022; published online 21.03.2022.



УДК 331.105

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.245>

## **Управление стейкхолдерами инновационных проектов, реализуемых транспортными предприятиями**

**Н.Н. Ползунова**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2617-9470>

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия*

**Аннотация:** Актуальность представленного исследования обусловлена увеличением практической роли проектного управления при обеспечении эффективности функционирования отечественных транспортных предприятий, а также сильным влиянием интересов стейкхолдеров на инновационную деятельность транспортных компаний. Важно акцентировать внимание и работать с требованиями стейкхолдеров, ведь именно они будут, с одной стороны, оценивать успех инновационного проекта, а с другой стороны, формировать этот успех. В статье приведены стратегии управления стейкхолдерами инновационных проектов, реализуемых транспортными предприятиями, которые привязаны к типу стейкхолдера. Также выделены особенности управления стейкхолдерами инновационных проектов, реализуемых транспортными предприятиями. Благодаря своевременному учету интересов разных стейкхолдеров и использованию соответствующих стратегий возможно формирование эффективных процессов управления инновационными проектами, реализуемыми транспортными предприятиями.

**Ключевые слова:** проектная деятельность; управление проектами; управление проектной деятельностью; проектное управление; инновационный проект; стейкхолдеры; заинтересованные лица, транспортные предприятия.

## **Management of stakeholders of innovative projects implemented by transport enterprises**

**Natalia N. Polzunova**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2617-9470>

*Vladimir State University, Vladimir, Russia*

**Abstract:** The relevance of the presented research is due to the increase in the project management practical role in ensuring the efficiency of the functioning of domestic transport enterprises, as well as the strong influence of the stakeholders' interests on the innovative transport companies activities. It is important to focus attention and work with the stakeholders' requirements because they will, on the one hand, evaluate the innovative project success, and on the other hand, shape this success. The article presents strategies for managing innovative projects stakeholders implemented by transport enterprises that are tied to the stakeholder type. The managing stakeholders' innovative projects peculiarities implemented by transport enterprises are also considered. Due to timely consideration of different stakeholders' interests and the appropriate strategies use, it is possible to form effective management processes for innovative projects implemented by transport enterprises.

**Keywords:** project activity; project management; project management; project management; innovative project; stakeholders; interested people.

## **Введение**

В современных условиях стремительное развитие рынка создает предпосылки и необходимость реализации инновационных разработок. Это актуально для широкого круга организаций, в том числе и для транспортных предприятий.

Именно инновации обеспечивают конкурентоспособность и являются стимулом повышения спроса на оказываемые услуги.

Общеизвестно, что инновации в любом их виде выступают базисом инновационного проекта.

Инновационным проектом является любая форма трансформации фундаментальных и прикладных знаний в промышленно применимые, экономически оправданные и востребованные потребителем товары, услуги или технологии [1].

Реализация инновационных проектов невозможна без проектного управления. Проектное управление в сфере транспорта - это процесс управления масштабными задачами транспортных организаций в условиях временных и ресурсных ограничений для достижения заявленных результатов и поставленных целей при реализации проектов. Одним из таких направлений может выступать реализация проекта по внедрению цифровых технологий в систему управления логистической деятельности предприятий или внедрение инноваций в совершенствование услуг.

Основными задачами управления на основе проектного подхода для современных транспортных предприятий Российской Федерации выступают:

- обеспечение реализации запланированных показателей и результатов при помощи инициатив, которые выгодны организации и ее заинтересованным лицам;
- получение результата, который удовлетворяет потребности, ради которых был инициирован инновационный проект;
- соблюдение сроков реализации инновационного проекта;
- эффективное управление финансовыми, трудовыми и материальными ресурсами.

## **Методы**

В статье используется исследовательский подход, объединяющий элементы теории стейкхолдеров и методологические основы проектного управления. Основная часть представленной работы построена на использовании аргументированного дедуктивного исследовательского подхода.

## **Результаты**

Инициирование и реализация инновационных проектов транспортными предприятиями затрагивает интересы множества стейкхолдеров, которые являются элементами как внешней, так и внутренней среды. Под стейкхолдерами (заинтересованными лицами) подразумеваются те субъекты внутренней и внешней среды, которые имеют интерес к результатам экономической деятельности компании [2]. Исходя из этого, задачей системы проектного управления транспортного предприятия является формирование механизмов удовлетворения потребностей и интересов заинтересованных лиц таким образом, чтобы иметь ресурсы и возможности осуществления тех же процедур по отношению к другим стейкхолдерам. В ином случае, инновационные проекты транспортной компании будут экономически неэффективными и подвержены лишним рискам. Тем более уже доказанным является тот факт, что неудача проекта, в основном, не связана с эффективным или

неэффективным применением методов управления им, а является результатом ненадлежащего взаимодействия между заинтересованными сторонами, вовлеченными в проект [15].

Недаром основной принцип теории стейкхолдеров состоит в том, что устойчивый успех коммерческой организации может быть достигнут лишь в том случае, если будут приниматься во внимание интересы и требования различных заинтересованных сторон [3]. Тогда управление заинтересованными сторонами инновационного проекта должно осуществляться не в рамках диадных связей, а как системы множественных взаимозависимых отношений. Тем более, что «неопределенность среды подталкивает стейкхолдеров к созданию сетей взаимозависимостей» [6]. При этом как отмечает М. Каллон нужно «наблюдать за всем, что происходит между акторами стейкхолдерской сети, так как это определяет отношения между ними» [11].

Процесс управления стейкхолдерами инновационного проекта, реализуемого транспортными предприятиями, предполагает наличие определенных процедур (рис. 1).

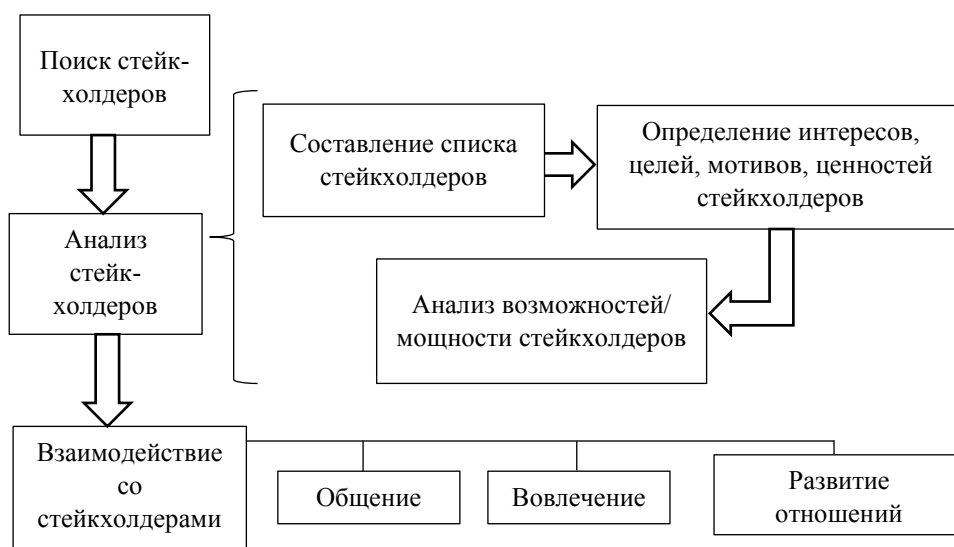


Рис.1. Процесс управления стейкхолдерами проекта

Способность находить и привлекать нужных стейкхолдеров является важным фактором успешности инновационного проекта. На практике данные процессы сопровождаются рутинными действиями менеджмента транспортной компании, например, участием в отраслевых совещаниях, круглых столах, тематических выставках, систематическими предварительными встречами с заинтересованными сторонами. Такие активные действия упреждающего характера требуют от транспортной компании наличия разработанной инновационной стратегии, которая позволяет определить не только потребность в конкретном виде стейкхолдера, но и время возникновения этой потребности [13].

Вовлечение стейкхолдеров в инновационный цикл способствует своевременности обеспечения ресурсами и росту инновационной и деловой активности. В процессе проектного управления отраслевым или межотраслевым инновационным преобразованием и развитием необходимо учитывать мнения и интересы всех заинтересованных сторон.

В реализации проектов транспортных предприятий участие принимают разные виды стейкхолдеров, которые могут быть разделены на группы (рис. 2).

В табл. 1 приведем структурно-функциональную характеристику стейкхолдеров и определим тип в соответствии с приведенной классификацией на рис. 2.

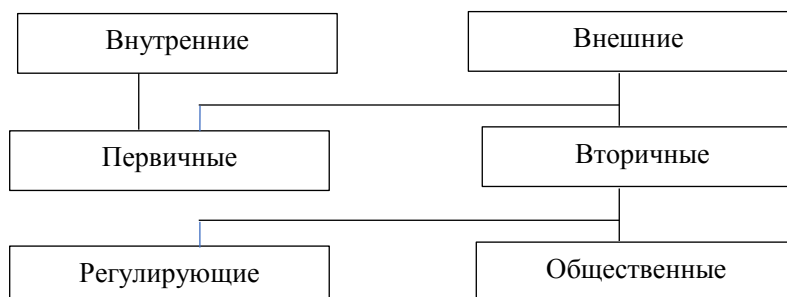


Рис. 2. Классификация стейкхолдеров инновационного проекта транспортного предприятия<sup>4</sup>

Таблица 1

**Структурно-функциональная характеристика стейкхолдеров**

Вид стейкхолдера	Ожидания от проектной деятельности	Тип стейкхолдера по классификации
Сотрудники предприятия, реализующего проект	<ul style="list-style-type: none"> <li>- получение удовольствия от работы;</li> <li>- достойные условия оплаты труда и материального вознаграждения за проделанную работу;</li> <li>- оснащенное рабочее место и обеспечение трудовой безопасности.</li> </ul>	Внутренние, первичные
Менеджмент предприятия, реализующего проект	<ul style="list-style-type: none"> <li>- получение достойного материального вознаграждения за свою управленческую и трудовую деятельность;</li> <li>- достижение престижных условий своей управленческой деятельности (для менеджеров важно осознание того, что их работодатель достойная компания, имеющая высокий уровень репутации на рынке);</li> <li>- достижение власти (для менеджеров важно осознание того, что у них есть подчиненные, которым они могут делегировать полномочия и необходимость выполнения задач).</li> </ul>	Внутренние, первичные
Кредиторы	<ul style="list-style-type: none"> <li>- получение процентов на вложенный капитал;</li> <li>- предоставления кредитов;</li> <li>- уверенность в том, что кредитные средства, выделенные предприятию, используются грамотно, а сама организация обеспечивает экономическую</li> </ul>	Внешние первичные

<sup>4</sup> Построено автором по [10].

	безопасность своей бизнес-деятельности.	
Акционеры (для проектов, реализуемых АО) Учредители	- получение дивидендов при распределении прибыли компании от ведения ее бизнес-деятельности; - приумножение финансового капитала за счет роста стоимости бизнеса организации; - обеспечение безопасности финансовых инвестиций, что означает поддержание компанией достаточного уровня финансовой устойчивости и экономической безопасности.	Внутренние, первичные
Потребители и клиенты	- получение продукта проекта, который способен удовлетворить их потребности; - наличие у продукта проекта потребительской ценности, которая качественно удовлетворяет потребности; - соблюдение системы качества в процессе производства продукта проекта; - предоставление компанией достойного уровня клиентского сервиса и обслуживания.	Внешние первичные
Правительство и органы государственной власти	- своевременное формирование бюджетов в части налоговых поступлений; - создание новых рабочих мест и обеспечение занятости населения.	Внешние вторичные регулирующие
Отраслевые ассоциации	- усиление роли ассоциаций в принятии решений; - повышение лоббистского потенциала ассоциации; - укрепление статуса/ имиджа на региональном, национальном и международном уровнях	Внешние вторичные регулирующие

Для более полного раскрытия содержательно-функциональных аспектов, а также с целью упорядочивания и однозначного понимания используемых на рис. 2 и в табл. 1 терминов, в табл. 2 приведем определения этих понятий.

Таблица 2

**Понятие и сущность стейкхолдеров инновационного проекта**

Виды стейкхолдеров инновационного проекта	Определение
Внутренние	Люди или группы, которые принимают участие в разработке и реализации инновационного проекта [14]
Внешние	Люди или группы, которые не принимают непосредственного участия в разработке и реализации инновационного проекта, но «подвержены его влиянию или могут оказывать влияние на его разработку и/или реализацию» [9]
Первичные	Люди или группы, которые «имеют договорные или юридические обязательства перед командой инновационного проекта, а также обладают определенными полномочиями, связанными с управлением и передачей необходимых ресурсов» [4]
Вторичные	Люди или группы, которые имеют только формальные договорные отношения относительно инновационного

	проекта, однако, в тоже время, значительно заинтересованы в процессах и продуктах инновационного проекта. [18]
Регулирующие	Люди или группы, которые осуществляют функции регулирования и контроля по отношению к инновационному проекту на всех этапах его разработки и реализации
Общественные	Люди или группы, чьи некоммерческие интересы могут быть затронуты при разработке и реализации инновационных проектов

Классификация стейкхолдеров применяется в процессе разработки и реализации стратегии взаимодействия с ними. Так, Финогеева А.И. акцентирует внимание на 4-х стратегиях: вовлечение, информирование, мониторинг, интеграция и сотрудничество [8].

Стратегия вовлечения используется для заинтересованных стейкхолдеров с незначительным влиянием или для тех лиц, чье влияние является сильным, но заинтересованность в участие в проекте – слабая. Цель этой стратегии заключается в побуждении стейкхолдеров к использованию стратегии «Интеграция и сотрудничество» или в защите от негативно настроенных заинтересованных лиц.

Стратегия информирования – это стратегия, применяемая в отношении потенциальных стейкхолдеров. Информирование осуществляется о деятельности компании, ее результатах и о возможностях взаимодействия.

Стратегия «Интеграция и сотрудничество» реализуется в отношении стейкхолдеров - партнеров, чьи интересы, цели, ценности совпадают. Данная стратегия нацелена на достижение совместной синергии.

Стратегия мониторинга применяется, как правило, в отношении негативно настроенных стейкхолдеров.

В табл. 3 сопоставим рекомендуемые стратегии взаимодействия с типом стейкхолдеров.

*Таблица 3*

**Взаимосвязь стратегий взаимодействия со стейкхолдерами с типом стейкхолдера**

Тип стейкхолдера	Стратегии			
	Вовлечение	Информирование	Интеграция и сотрудничество	Мониторинг
Внутренний первичный	√		√	
Внешний первичный	√	√	√	√
Внешний вторичный регулирующий	√	√	√	√
Внешний вторичный общественный	√	√	√	√

При реализации стратегий взаимодействия со стейкхолдерами инновационных проектов представители транспортных предприятий отметили следующие ограничивающие факторы:

- риск потери ноу-хау;

- нехватку финансовых средств, так как процесс сотрудничества с внешними стейкхолдерами – дорогостоящий процесс;
- сложности в поиске партнёров, чьи цели, интересы, ценности совпадают;
- различия в корпоративной культуре;
- трудности доступа к знаниям;
- низкий уровень управленческих компетенций или их недостаток для эффективной реализации стратегии с заинтересованными лицами.

Участие разных стейкхолдеров в инновационном проекте требует обязательного координирования их деятельности. Такое координирование может осуществляться в разных формах, таких как: иерархия, доверие, обмен, контракт [12]. Одной из ключевых задач выступает задача достижения сбалансированности интересов разных стейкхолдеров в инновационном проекте, реализуемом транспортным предприятием. Соблюдения баланса интересов заинтересованных лиц проекта позволяет снизить практически все основные экономические риски не только самого проекта, но и транспортной организации, его реализующей. Главная трудность, по мнению Ткаченко И.Н., состоит в недостатке необходимых данных, проблематичности применения прикладных методов и субъективизме при оценке рациональности управленческих решений [5].

Ткаченко И.Н. в другой своей научной работе показывает связанность эффективности корпоративного управления и баланса интересов стейкхолдеров. При этом приходит к следующим заключениям [7]:

- внимание к управлению интересами стейкхолдеров связано с развитием ответственного подхода системы корпоративного менеджмента;
- наблюдаются попытка трансформации традиционного капитализма предпринимательства в капитализм стейкхолдеров;
- происходит рост внимания исследователей к прикладным аспектам реализации ответственного подхода системы корпоративного менеджмента с целью повышения финансовой результативности экономической деятельности.

Данные положения актуальны и для управления стейкхолдерами инновационного проекта, реализуемого транспортными предприятиями.

Наряду с вышеприведенными положениями, следует обратить внимание на некоторые особенности управления стейкхолдерами инновационных проектов, реализуемых транспортными предприятиями, среди которых:

- при управлении стейкхолдерами инновационных проектов транспортному предприятию требуется привлечение вспомогательных ресурсов. Это позволит решить задачу обеспечения устойчивости таких проектов;
- чем выше уровень инновационности проекта, реализуемого транспортным предприятием, тем менее подходят стандартные процедуры управления его стейкхолдерами. Как отмечают Richtner A. и Sodergren B., применение стандартных методов управления применительно к инновационным проектам только ограничивают эту инновационность [16];
- чаще всего неудачи инновационных проектов, реализуемых транспортными предприятиями, фиксируются на этапе их реализации. Поэтому, требуется уделить больше внимания управлению стейкхолдерами именно на этом этапе жизненного цикла инновационного проекта;

– человек является одним из источников риска и неопределенности в любом проекте, тем более в инновационном, где основная роль отводится творческому процессу. Также человек является одним из основных ресурсов для снижения риска [17]. Поэтому в целях управления интересами, часто конфликтующими, большого количества стейкхолдеров инновационного проекта руководству транспортного предприятия рекомендуется использовать методы многокритериального анализа решений.

### **Заключение**

Таким образом, учет интересов стейкхолдеров транспортного предприятия является основной задачей системы проектного управления. Из-за разнообразия интересов возможно формирование конфликтов, решение которых позволяет стимулировать устойчивое развитие бизнеса, реализовывать инновационные проекты и повышать рыночную стоимость транспортного предприятия. Исследование автора демонстрирует высокую практическую роль стейкхолдерского подхода не только при проектном управлении, но и при стратегическом планировании и разработке стратегии развития транспортных предприятий.

### **Список литературы**

1. Корпоративная социальная ответственность: учебник и практикум для академического бакалавриата / В. Я. Горфинкель [и др.] ; отв. ред. В. Я. Горфинкель, Н. В. Родионова. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 438 с.
2. Крамин М.В., Крамин Т.В. Удовлетворение интересов стейкхолдеров как стратегический аспект корпоративного управления// Актуальные проблемы экономики и права. - 2011. - № 4. - С. 164-171.
3. Маклакова С.С. Анализ состава и требований стейкхолдеров на различных стадиях жизненного цикла организации // Международный научно-исследовательский журнал. - 2019. - № 8 (86). - С. 11-16
4. Стреттон А. Идентификация и классификация заинтересованных сторон программы проекта // Управление проектами и программами. - 2012. - №3(31). - С. 214–222
5. Ткаченко И.Н. Об учете интересов стейкхолдеров в современной парадигме корпоративного управления // Управленческие науки в современном мире. - 2018. - № 1. - С. 205-209
6. Ткаченко И.Н. Трансформация архитектуры бизнеса и управленческих механизмов для целей инновационно-технологического развития// Новая индустриализация России: экономика - наука - человек - природопользование. Сборник научных трудов VII Уральских научных чтений профессоров и докторантов. 2020. - С. 115-121.
7. Ткаченко И.Н. Актуализация стейкхолдерского подхода корпоративного управления в условиях коронакризиса: от декларирования приверженности к прикладным моделям// Управленец. - 2021. - Т. 12. - № 2. С. 2-16.
8. Финогеева А.И. Механизм управления ключевыми стейкхолдерами для российских компаний// Российский экономический интернет-журнал. - 2017. - № 2. - С. 47.
9. Ципес Г.Л., Шадаева Н.М. Управление отношениями с заинтересованными сторонами проекта: от простого к сложному (часть 1)// Управление проектами и программами. - 2015. - № 2. - С. 138-156.
10. Albats E. et al. Stakeholder management in SME open innovation: Interdependences and strategic actions //Journal of Business Research. – 2020. – Т. 119. – С. 291-301.
11. Callon M. Techno-economic networks and irreversibility //The Sociological Review. – 1990. – Т. 38. – №. 1\_suppl. – С. 132-161.
12. Callon M. et al. The management and evaluation of technological programs and the dynamics of techno-economic networks: The case of the AFME //Research policy. – 1992. – Т. 21. – №. 3. – С. 215-236.



13. Kazadi K., Lievens A., Mahr D. Stakeholder co-creation during the innovation process: Identifying capabilities for knowledge creation among multiple stakeholders //Journal of business research. – 2016. – Т. 69. – №. 2. – С. 525-540.
14. Kinnunen T., Aapaoja A., Haapasalo H. Analyzing internal stakeholders' salience in product development //Technology and Investment. – 2014. – 5. - 106-115. doi: 10.4236/ti.2014.52011.
15. Missonier S., Loufrani-Fedida S. Stakeholder analysis and engagement in projects: From stakeholder relational perspective to stakeholder relational ontology //International journal of project management. – 2014. – Т. 32. – №. 7. – С. 1108-1122.
16. Richtner A., Sodergren B. Innovation projects need resilience //International Journal of Technology Intelligence and Planning. – 2008. – Т. 4. – №. 3. – С. 257-275.
17. Thamhain H. Managing risks in complex projects //Project management journal. – 2013. – Т. 44. – №. 2. – С. 20-35.
18. Winch G. M., Morris P., Pinto J. Managing project stakeholders //The Wiley guide to project, program, and portfolio management. – 2007. – С. 271-289.

### References

1. Corporate social responsibility: textbook and workshop for academic undergraduate students / V. Ya. Gorfinkel [et al.]; resp. ed. V. Ya. Gorfinkel, N. V. Rodionova. - M. : Yurayt Publishing House, 2019. - 438 p.
2. Kramin M.V., Kramin T.V. Satisfying the Interests of Stakeholders as a Strategic Aspect of Corporate Governance// Actual Problems of Economics and Law. - 2011. - No. 4. - S. 164-171.
3. Maklakova S.S. Analysis of the composition and requirements of stakeholders at various stages of the organization's life cycle // International Research Journal. - 2019. - No. 8 (86). - pp. 11-16
4. Stretton A. Identification and classification of stakeholders of the program / project // Project and program management. - 2012. - №3(31). - Pp. 214-222
5. Tkachenko I.N. On taking into account the interests of stakeholders in the modern paradigm of corporate governance // Management sciences in the modern world. - 2018. - No. 1. - S. 205-209
6. Tkachenko I.N. Transformation of business architecture and management mechanisms for the purposes of innovative and technological development / New industrialization of Russia: economy - science - man - nature management. Collection of scientific works of the VII Ural scientific readings of professors and doctoral students. 2020. - S. 115-121.
7. Tkachenko I.N. Updating the stakeholder approach to corporate governance in the context of the corona crisis: from declaring commitment to applied models // Manager. - 2021. - T. 12. - No. 2. S. 2-16.
8. Finogeeva A.I. Key stakeholder management mechanism for Russian companies// Russian Economic Internet Journal. - 2017. - No. 2. - S. 47.
9. Tsipes G.L. & Shalaeva N.M. Managing relations with project stakeholders: from simple to complex (Part 1)// Project and Program management. - 2015. - No. 2. - pp. 138-156.
10. Albats E. et al. Stakeholder management in SME open innovation: Interdependences and strategic actions //Journal of Business Research. – 2020. – Т. 119. – С. 291-301.
11. Callon M. Techno-economic networks and irreversibility //The Sociological Review. – 1990. – Т. 38. – №. 1\_suppl. – С. 132-161.
12. Callon M. et al. The management and evaluation of technological programs and the dynamics of techno-economic networks: The case of the AFME //Research policy. – 1992. – Т. 21. – №. 3. – С. 215-236.
13. Kazadi K., Lievens A., Mahr D. Stakeholder co-creation during the innovation process: Identifying capabilities for knowledge creation among multiple stakeholders //Journal of business research. – 2016. – Т. 69. – №. 2. – С. 525-540.
14. Kinnunen T., Aapaoja A., Haapasalo H. Analyzing internal stakeholders' salience in product development //Technology and Investment. – 2014. – 5. - 106-115. doi: 10.4236/ti.2014.52011.

15. Missonier S., Loufrani-Fedida S. Stakeholder analysis and engagement in projects: From stakeholder relational perspective to stakeholder relational ontology //International journal of project management. – 2014. – Т. 32. – №. 7. – С. 1108-1122.
16. Richtner A., Sodergren B. Innovation projects need resilience //International Journal of Technology Intelligence and Planning. – 2008. – Т. 4. – №. 3. – С. 257-275.
17. Thamhain H. Managing risks in complex projects //Project management journal. – 2013. – Т. 44. – №. 2. – С. 20-35.
18. Winch G. M., Morris P., Pinto J. Managing project stakeholders //The Wiley guide to project, program, and portfolio management. – 2007. – С. 271-289.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ/INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Ползунова Наталья Николаевна,**  
доктор экономических наук, зав. кафедрой  
менеджмента и маркетинга, Владимирский  
государственный университет имени А.Г. и  
Н.Г. Столетовых, 600000, г. Владимир, ул.  
Горького, 79,  
e-mail: Natalya.polzunowa@yandex.ru

**Natalia N. Polzunova,**  
Doctor of Economics, Head of the  
Management and Marketing Department  
Vladimir State University, 600000, Gorkogo st.  
79, Vladimir, Russia,  
e-mail: Natalya.polzunowa@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 22.02.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 22.02.2022; published online 21.03.2022.

УДК 656.073

DOI: 10.37890/jwt.vi70.239

## **Аспекты исследования и оценки информационной прозрачности в цепях поставок**

**А.А. Сироткин**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6521-3419>

*Филиал Самарского государственного университета путей сообщения  
в г. Нижнем Новгороде, г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** Статья посвящена рассмотрению необходимости и многоаспектности информационной прозрачности в цепях поставок как элемента, соединяющего груз, средства работы с грузом, транспортно-логистическую инфраструктуру. Представлены затратный, логистический, статистический и процессный подходы к пониманию информационной прозрачности в цепях поставок. В рамках затратного подхода информационная прозрачность понимается как результат инвестиционной деятельности компаний, поэтому представлены примеры инвестирования компаниями в разработку соответствующих цифровых решений. Логистический подход определяет значение информационной прозрачности, которое заключается в формировании преимуществ в цепочке поставок, обеспечении специфических (в зависимости от типа перевозимого груза) результатов, а также получении ответов на вопросы на каждом этапе в цепи поставок. Статистический подход формализует (с помощью расчетной методики) представление об информационной прозрачности процессов в цепи поставок. Процессный подход позволяет понять, каким образом создается информационная прозрачность в цепи поставок.

**Ключевые слова:** груз, данные, заказчик, информационная прозрачность, поставщик, процесс, транспорт, цепь поставок

## **Aspects of research and evaluation of information transparency in supply chains**

**Artem A. Sirotkin**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6521-3419>

*The Branch of the Samara State Transport University in Nizhny Novgorod,  
Nizhny Novgorod, Russia.*

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of the necessity and versatility of information transparency in supply chains as an element connecting cargo, means of working with cargo, transport and logistics infrastructure. Cost, logistics, statistical and process approaches to understanding information transparency in supply chains are presented. As part of the cost approach, information transparency is understood as the result of the investment activities of companies, therefore, examples of companies investing in the development of appropriate digital solutions are presented. The logistics approach determines the importance of information transparency, which consists in creating advantages in the supply chain, providing specific (depending on the type of cargo transported) results, as well as receiving answers to questions at each stage in the supply chain. The statistical approach formalizes (using the calculation methodology) the idea of information transparency of processes in the supply chain. The process approach allows to understand how information transparency is created in the supply chain.

**Keywords:** cargo, data, customer, information transparency, supplier, process, transport, supply chain

## **Введение**

Что может быть не так легко видно в цепи поставок, так это постоянное движение грузов. По цепи поставок товары на различных этапах должны транспортироваться от производителей, дистрибьюторов, розничных продавцов. На каждом этапе брокеры, 3PL-провайдеры и грузоперевозчики участвуют в выводе товара на рынок.

Для производителей, оптовиков и розничных продавцов сбои в цепи поставок имеют значительные негативные последствия. Для того, чтобы избежать несвоевременных поставок или других сбоев (нарушений нормального функционирования цепи поставок), грузоотправителям требуется абсолютная (100-процентная) информационная прозрачность местоположения и статуса грузов. Сегодня грузоотправители требуют возможности сосредоточиться на поздних и внеплановых отгрузках, которые угрожают нарушить их работу.

В свою очередь, клиентам постоянно требуется актуальная информация о состоянии своих грузоперевозок.

В связи с этим все большее значение приобретает информационная прозрачность (синоним – видимость) в цепи поставок.

В отечественной и иностранной научной литературе представлены различные подходы к оценке информационной прозрачности в цепях поставок.

В аналитическом обзоре «Цифровые технологии в логистике и управлении цепями поставок», говорится о том, что «обеспечение информационной прозрачности цепи поставок означает измерение и контроль эффективности состояния всей цепи в четырех ключевых областях: динамичность, устойчивость, надежность, быстрая реакция» [1, с.29].

Авторы Куликова О.М. и Суворова С.Д. отмечают: «Информационная прозрачность помогает компаниям удовлетворить растущие потребности заинтересованных сторон в устойчивых каналах распределения, убедившись, что поиск сырья, преобразование его в продукцию и доставка на рынок не наносят экологического, социального или экономического ущерба». Эти авторы рассматривают информационную прозрачность как условие эффективной логистической цепи поставки, как сложную задачу и как зону вливания значительных инвестиций [2].

Одним из преимуществ информационной прозрачности, часто упоминаемых в литературе, является повышение быстродействия и гибкости цепи поставок ([3]; [4]).

Зарубежные ученые Fawcett S.E., Magnan G.M. и McCarter M.W. выявили следующие преимущества информационной прозрачности: меньшие размеры партий, уменьшенные уровни запасов, более короткие циклы выполнения заказов, улучшенная координация операций в цепи поставок и улучшенная закупочная деятельность [5].

Исследователь Mark Goh со своими коллегами связывают информационную прозрачность в цепи поставок с более эффективной поддержкой принятия решений партнерам по такой цепи [6].

В статье «Logistics supply chains and their application» приводится следующее мнение: «Точность информации и информационная прозрачность являются важными факторами для обеспечения эффективности цепей поставок» [7].

Не оставлен без внимания в исследованиях и цифровой фактор, влияющий на информационную прозрачность в цепях поставок. Например, учеными рассматривается положительное влияние современных цифровых технологий на информационную прозрачность в цепи поставок [8], а также отмечается, что достижение и сохранение полной информационной прозрачности в цепи поставок,

охватывающей весь мир, невозможно без использования последних достижений в области цифровых технологий [9].

Кроме этого, информационная прозрачность в цепи поставок зависит от способности компании-координатора, т.е. лидера цепи поставок, получать доступ/совместную информацию, связанную со стратегией цепи поставок и операциями партнеров по цепи поставок [10].

### **Методы**

В качестве метода сбора практической информации, которая в дальнейшем была преобразована (трансформирована) в материалы статьи, было использовано наблюдение за работой в системе управления транспортом (TMS) на вебинарах компании ИТОВ, компании «Почтовые технологии» («Почтатех»), в онлайн-сервисе «Rail-Локатор» на вебинаре ООО «НПЦ «Космос-2», в программе управления товарными запасами Forecast Now на вебинаре ООО «Инжэниус Тим» и других. Вместе с тем, применена методология Six Sigma (Шесть Сигм), которая позволила формализовать взаимосвязь информационной прозрачности в цепи поставок и конкретных логистических показателей, выполнить соответствующие расчеты и получить на их основе выводы.

### **Результаты**

#### **Затратный подход**

В соответствии с этим подходом для информационной прозрачности в цепях поставок необходимы затраты денежных средств.

Например, в 2018 году компания DHL инвестировала в расширение возможностей своей платформы по обеспечению информационной прозрачности цепи поставок и управлению рисками Resilience360 DHL [11].

В платформу, обеспечивающую информационную прозрачность в цепи поставок, инвестировала и такая компания, как Volvo Group Venture Capital [12].

В 2021 году PSA unboXed, инвестор стартапов и дочерняя компания терминального оператора PSA International, инвестировала в калифорнийского цифрового провайдера, специализирующегося на цифровизации обеспечения информационной прозрачности в цепях поставок Roambee для того, чтобы совместно создать соответствующее решение для мультимодальных перевозок [13].

Компания Newtown Partners инвестировала в Portcast – стартап, работающий над обеспечением информационной прозрачности в цепях поставок (сегмент морских грузоперевозок) на базе цифровой платформы SaaS [14].

Инвестиции в стартапы в сфере цифровизации обеспечения информационной прозрачности в цепях поставок достигают значительных размеров.

Вместе с тем, информационная прозрачность в цепях поставок привлекает долгосрочные инвестиции, особенно в условиях COVID-19.

#### **Логистический подход**

Для логистического подхода характерно рассмотрение информационной прозрачности транспортировки в режиме реального времени в сочетании с управлением исключениями и аналитикой действий в качестве объективной информационной основы для реагирования грузоотправителями как на вероятное, так и на фактическое нарушение осуществления операций фулфилмента и доставки (табл. 1).

Таблица 1

**Преимущества информационной прозрачности в цепи поставок**

Преимущества	Характеристика преимуществ
Оптимизация обеспечения выполнения складских работ	Возможность для грузоотправителей и грузополучателей более точно распределить рабочую силу и технику, необходимые для выполнения работ на складе.
Уменьшение проблем при отгрузке	Будучи проактивным, получение груза может уменьшить количество задержек с отгрузкой для перевозчиков (простои транспорта из-за отсутствия готовности груза к отгрузке), продолжительность таких задержек и как следствие штрафы за это для грузоотправителя.
Упреждающее планирование перевозок	Легко эффективно реагировать на погодные явления, закрытие дорог и поломки. Таким образом, минимизируются узкие места и задержки по всей транспортной сети и улучшается движение товарного (грузового) потока.
Уменьшение неэффективных затрат на отслеживание	Сотрудникам доступен статус отгрузки, что упрощает процесс отслеживания. Поэтому отдел транспортировки тратит меньше времени на поиск грузов и способов уменьшения сопутствующих косвенных затрат.
Возможность работы с требовательными заказчиками	Возможность справляться с доставкой грузов, характеризующейся более высокими требованиями: с более жесткими сроками поставок и более высокими значениями оперативных показателей эффективности.

Представляется возможным разделить логистические результаты (последствия) информационной прозрачности в зависимости от того, к чему она относится: к грузу или транспорту (табл. 2).

Таблица 2

**Информационная прозрачность в отношении груза и транспорта**

(составлено на основании [15])

<b>Информационная прозрачность в отношении груза</b>	<b>Информационная прозрачность в отношении транспорта</b>
Подтверждается удовлетворение провайдером логистического сервиса потребностей грузоотправителей в информации о грузе: «Где находится груз?», «В каком количестве груз?», «В каком состоянии груз?», «Поврежден (испорчен) груз?»	Обеспечивается понимание следующих аспектов, например, на морском транспорте: статус судна в порту отправления («Судно готово к приему груза, имеет ли разрешение на погрузку?»), место нахождения судна («Судно вышло из порта отправления?»), «Где судно в текущий момент времени?», «Судно прибыло в порт назначения?», статус судна в порту прибытия («Судно готово к выгрузке, имеет ли разрешение на выгрузку?»)

Таким образом, из табл. 2 следует, что информационная прозрачность подтверждает реальную заинтересованность логистического провайдера в желании соответствовать критически важным для клиента KRI своевременной логистики.

Вместе с тем, информационная прозрачность в цепи поставок обеспечивает специфические (в зависимости от типа груза) логистические возможности (табл. 3).

Таблица 3

**Логистические последствия (возможности) информационной прозрачности в цепи поставок в зависимости от типа перевозимого груза**

Тип груза	Логистические последствия (возможности) информационной прозрачности
Одежда	Принятие ритейлером мер для того, чтобы грузовик был принят для выгрузки, несмотря на опоздание в свое «окно» доставки
Мороженое	Экономия времени водителя (отсутствие необходимости останавливаться для проверки температуры в кузове), поступление продукта в хорошем состоянии, одобрение получателем при приемке
Автомобили	Возможность реорганизации автопроизводителем своих поставок и цепей поставок для смягчения последствия плохой погоды на поток входящих материалов, необходимых для изготовления автомобилей, продолжения производственного процесса и исключения задержек в доставке автомобилей дилерам

Кроме этого, информационная прозрачность в цепи поставок позволяет ответить на вопрос «Насколько эффективно перевозчик (стивидорная компания/терминал) используют время для выполнения заказанной у них услуги?».

Многорежимная информационная прозрачность в цепи поставок может координировать данные между различными режимами и системами перевозчиков для управления заказами и преобразовывать данные для того, чтобы клиенты могли видеть релевантные для них данные (продукты/заказы), а перевозчики получали необходимые данные на уровне транспортировки.

Также предлагается оценивать преимущества информационной прозрачности с точки зрения вклада в эффективность цепи поставок (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние информационной прозрачности в цепи поставок на конкретные логистические показатели**

Группа показателей	Показатели
Качество	Уровень качества поставок
	Уровень порчи (повреждения) груза
Уровень сервиса	Своевременность доставки
	Время реагирования (отклика) на заказ
	Доступность продуктов (наличие товаров)
Расходы (издержки)	Стоимость запасов
	Стоимость складирования
	Расходы на дефицит
	Штрафные санкции в связи с возвращением заказа
	Общие логистические издержки
Гибкость	Гибкость по объему поставки
	Гибкость по ассортименту в поставке

Из таблицы 4 видно, что информационная прозрачность в цепи поставок является фактором, влияющим на все логистические показатели.

**Статистический подход**

Статистический подход формализует (с помощью расчетной методологии Six Sigma) представление об информационной прозрачности процессов в цепи поставок. В качестве показателей методологии выступают среднее значение, медиана, дисперсия, стандартное отклонение, ковариация и другие.

Предлагается по методологии Six Sigma рассчитать: потенциальную производительность  $C_p$  – по формула (1), подтвержденную производительность  $C_{pk}$  – по формуле (2) с учетом индексов процесса для нижней (НГД) и верхней (ВГД) границы допуска, возможность процесса на уровне Сигмы с Z-баллом  $Z_{bench}$  – по формуле (3).

$$C_p = \frac{ВГД - НГД}{6\sigma} \tag{1}$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{x} - НГД}{3\sigma}, \frac{ВГД - \bar{x}}{3\sigma}\right) \tag{2}$$

$$Z_{bench} = \min\left(\frac{\bar{x} - НГД}{\sigma}, \frac{ВГД - \bar{x}}{\sigma}\right) \tag{3}$$

Где ВГД – верхняя граница допуска, НГД – нижняя граница допуска  
 В результате, можно рассчитать – по формуле (4) – возможность (емкость) краткосрочного процесса  $Z_{st}$  которая называется уровнем Сигмы:

$$Z_{st} = Z_{bench} + 1,5 \tag{4}$$

Наконец, рассчитывается – по формуле (5) – индекс информационной прозрачности процесса  $i (v_i)$  в Six Sigma:

$$v_i = \min\left(\frac{Z_{bench} + 1,5}{6}, 1\right) \tag{5}$$

где  $0 \leq v_i \leq 1,0$

Рассмотрим (табл. 5) значение информационной прозрачности процесса  $v$ , рассчитанное с использованием среднего значения ( $\bar{X}$ ), стандартного отклонения ( $\sigma$ ), границ допусков (НГД, ВГД).

*Таблица 5*

**Пример информационной прозрачности процесса для времени выполнения заказа**

Процесс	$\bar{X}$ (дни)	$\sigma$ (дни)	НГД (дни)	ВГД (дни)	$C_{pk}$	$Z_{bench}$ (дни)	$Z_{st}$ (дни)	$v$
A	6,0	0,5	-	7,0	0,67	2,0	3,50	0,58
B	6,0	0,33	-	7,0	1,00	3,0	4,50	0,75
C	5,0	0,5	-	7,0	1,33	4,0	5,50	0,92
D	5,0	0,5	-	6,0	0,67	2,0	3,50	0,58

Каждый процесс характеризуется известным средним значением, стандартным отклонением и ВГД, а также не ограничиваемым НГД.

Например, для процесса А значения могут быть следующими:  $C_{pk}$  равно 0,67 [=  $(7 - 6) / (3 * 0,5)$ ],  $Z_{bench}$  равно 2,0 [=  $(7,0 - 6,0) / 0,5$  или  $3 * 0,67$ ],  $Z_{st}$  равно 3,5 (=  $2,0 + 1,5$ ), а информационная прозрачность  $v$  равна 0,58 [=  $\min(3,5/6, 1)$ ].

Для процесса В стандартное отклонение составляет 0,33 дня, т.е. меньше чем, для процесса А, а другие условия совпадают с условиями для процесса А. В соответствии с разницей  $\sigma$  технологическая способность намного больше, чем в процессе А.



Процесс С отличается по среднему значению от процесса А, и в соответствии с разницей в  $\bar{X}$  информационная прозрачность для С (0,92) является наибольшей по сравнению со способами А (0,58) и В (0,75).

Это показывает, что улучшение среднего значения является более ценным, чем улучшение дисперсии при той же границе допуска.

Кроме этого, если ВГД более жесткая, до 6,0 дней, как следует из процесса D, информационная прозрачность процесса значительно ухудшается до 0,58. Несмотря на то, что текущая информационная прозрачность является более высокой из-за хорошей возможности процесса, она теряет конкурентное преимущество, если требования клиента или возможности конкурента превышают то, что достигается на текущем уровне

Предлагаемая модель информационной прозрачности использует среднее значение, стандартное отклонение и границы допуска для расчета уровня информационной прозрачности для различных характеристик. Границами допуска могут быть требования заказчика или стратегическое целевое значение фирмы для устойчивого конкурентного преимущества. Среднее и стандартное отклонение являются результатами процесса при выполнении плана цепи поставок. Таким образом, пригодность предлагаемой модели информационной прозрачности рассматривается с учетом чувствительности.

Для более простого понимания и расчета общего индекса информационной прозрачности в цепи поставок представим пример (рис 1.).

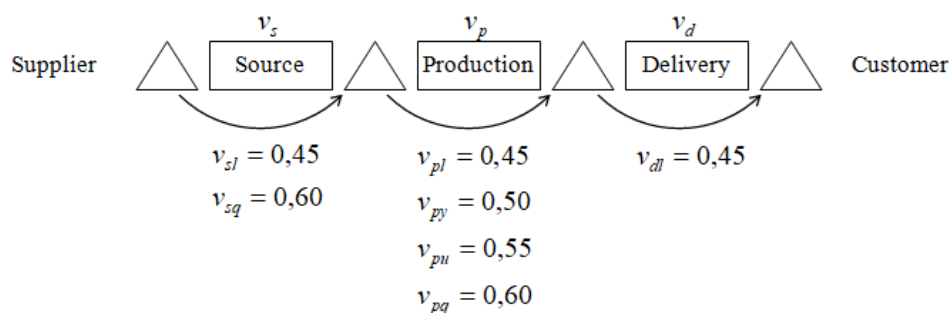


Рис. 1. Пример общей информационной прозрачности в цепи поставок

Условные обозначения:

$v_s, v_p, v_d$  – индекс видимости соответственно для снабжения сырьем, для этапа производства (производственного процесса), для доставки товара

$v_{sl}, v_{pl}, v_{dl}$  – индекс видимости для времени выполнения;  $v_{py}$  – индекс видимости для выхода;

$v_{pu}$  – индекс видимости для использования;  $v_{sq}, v_{pq}$  – индекс видимости для качества

Изображенная цепь поставок (рис. 1) представляет собой случай, когда производится и поставляется единый продукт, состоящий из 3 этапов, включая исходный этап (представляет собой процесс заготовки материалов у поставщика), этап производства (состоит из изготовления продукта) и этап поставки для транспортировки готовой продукции клиенту. Например, если время выполнения на этапе доставки составляет около 88,5% ( $Z_{bench} = 1,2$ ), то по формуле (5)  $v_{sl}$  рассчитывается как  $\min(((1,2 + 1,5)/6), 1) = 0,45$ .

Для исходного этапа, где значения информационной прозрачности составляют, соответственно, 0,45 для времени выполнения и 0,60 для качества, составляет 0,52 ( $=\sqrt{0,45 \times 0,6}$ ). На этапе производства, где добавлены участки информационной прозрачности для выхода продукта и использования, результирующий  $v_p$  равен 0,522 ( $=\sqrt[4]{0,45 \times 0,5 \times 0,55 \times 0,6}$ ). Для этапа доставки, где время выполнения является единственным фактором,  $v_d$  становится просто 0,45.

Наконец, общая информационная прозрачность  $V_{overall}$  равна 0,50 ( $=\sqrt[3]{0,52 \times 0,522 \times 0,45}$ ). Значение  $V_{overall}$  выше, чем индекс информационной прозрачности на этапе поставки, что ниже, чем индекс на исходном этапе и этапе производства. Получается, что уровень Six Sigma равен 3,0 ( $= 0,5 * 6$ ), а производительность процесса – 1,5 ( $= 3,0 - 1,5$ ).

Таким образом, поскольку информационная прозрачность на каждом этапе в цепи поставок находится на достаточно низком уровне, целесообразно осуществить соответствующие улучшения.

**Процессный подход**

Прежде всего, информационная прозрачность в цепи поставок создается у поставщиков продукции, когда на коробку с изделием (изделиями) наносят штрихкод, который затем вносится в программу для трекинга, сканируется при расконсолидации паллеты (в сортировочном/распределительном центре).

Также в контексте процессного подхода к информационной прозрачности в цепи поставок представляет интерес то, как работает радиочастотная идентификация. Сначала с помощью меток радиочастотной идентификации (RFID-меток) осуществляется прием данных; после этого данные с RFID-меток принимаются сканерами или считывателями; затем система считывателя взаимодействует с локальным сервером, с которого данные передаются в систему управления предприятием и систему управления цепями поставок (рис. 2).



Рис. 2. Этапы обеспечения информационной прозрачности в цепи поставок с использованием радиочастотной идентификации

Совсем другие этапы включает в себя информационная прозрачность в цепи поставок, обеспечиваемая с помощью Control Tower («контрольной вышки»):

- 1) автоматический сбор и интеграция структурированных и неструктурированных данных, начиная, со штрих-кодов, электронных подписях на планшетах об отправке грузов, заканчивая данными о погоде и трафике;
- 2) объединение этих данные с установленной логикой для предоставления актуальной информации по логистическим операциям и функциям с помощью удобных для пользователя панелей мониторинга.

### **Заключение**

Таким образом, в статье рассмотрены затратный, логистический, статистический и процессный подходы как составляющие (элементы) комплексного понимания информационной прозрачности в цепях поставок в современных условиях.

### **Список литературы**

1. Цифровые технологии в логистике и управлении цепями поставок : аналитический обзор / В. В. Дыбская, В. И. Сергеев, Н. Н. Лычкина и др. ; под общ. и науч. ред. В. И. Сергеева ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. – 192 с.
2. Куликова О.М., Суворова С.Д. Проектирование эффективной логистической цепочки поставок // Региональные проблемы преобразования экономики. 2021. № 4 (126). С. 122-129.
3. Bartlett, P.A., Julien, D.M. and Baines, T.S. Improving supply chain performance through improved visibility // The International Journal of Logistics Management. 2007. Vol. 18 No. 2, pp. 294-313. DOI:10.1108/09574090710816986
4. Wei, H.-L., Wang, E.T.G. The strategic value of supply chain visibility: increasing the ability to reconfigure // European Journal of Information Systems. 2010. Vol. 19 No. 2, pp. 238-249. DOI:10.1057/ejis.2010.10
5. Fawcett, S.E., Magnan, G.M. and McCarter, M.W. Benefits, barriers, and bridges to effective supply chain management // Supply Chain Management An International Journal. 2008. Vol. 13 No. 1, pp. 35-48. DOI:10.1108/13598540810850300
6. Goh, Mark, et al. Supply chain visibility: A decision making perspective // Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on. IEEE, 2009
7. Drage T. Petreski, Andrej P. Iliev, Lazar M. Gjurov, Aleksandra D. Petreska Logistics supply chains and their application // VOJNOTEHNIČKI GLASNIK/MILITARY TECHNICAL COURIER, 2014. Vol. LXII, No. 4 p.104-119. DOI: 10.5937/vojtehg62-6207
8. Blomkvist, Y.; Ullemar Loenbom, L. Improving Supply Chain Visibility within Logistics by Implementing a Digital Twin: A Case Study at Scania Logistics; KTH Royal Institute of Technology: Stockholm, Sweden, 2020
9. Tarli, M.; Masithah, S. The Effects of Supply Chain Visibility, Supply Chain Flexibility, Supplier Development and Inventory Control Toward Supply Chain Effectiveness. // SSRN Electronic Journal. 2017. DOI:10.2139/SSRN.2984513
10. Caridi, M.; Moretto, A.; Perego, A.; Tumino, A. The benefits of supply chain visibility: A value assessment model. // International Journal of Production Economics. 2014, 151, pp. 1–19 DOI:10.1016/J.IJPE.2013.12.025
11. DHL to invest eur 20 million to enhance its supply chain visibility and risk management platform Resilience360. – URL: <https://www.dhl.com/global-en/home/press/press-archive/2018/dhl-to-invest-eur-20-million-to-enhance-its-supply-chain-visibility-and-risk-management-platform-resilience360.html> (дата обращения: 19.01.2022).
12. Volvo Group Venture Capital invests in supply chain visibility platform. – URL: <https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2021/mar/news-3927071.html> (дата обращения: 19.01.2022).

13. PSA unboxed invests in Roambee for greater supply chain visibility. – URL: <https://www.seatrade-maritime.com/ports-logistics/psa-unboxed-invests-roambee-greater-supply-chain-visibility> (дата обращения: 22.01.2022).
14. Claasen, L. Why we invested in Singaporean supply chain visibility startup Portcast. – URL: <https://www.newtownpartners.com/why-we-invested-in-singaporean-supply-chain-visibility-startup-portcast/> (дата обращения: 19.01.2022).
15. Reidy, S. Freight visibility: Need and importance for your supply chain. – URL: <https://arviem.com/do-you-know-the-value-of-freight-visibility-for-your-supply-chain/> (дата обращения: 19.01.2022).

#### References

1. Digital Technologies in Logistics and Supply Chain Management: Analytical review / V. V. Dybskaya, V. I. Sergeev, N. N. Lychkina et al. ; ed. By V. I. Sergeev ; National Research University Higher School of Economics. — Moscow : HSE Publishing House, 2020. — 192 pp.
2. Kulikova O.M., Suvorova S.D. Designing an efficient logistics supply chain // Regional'nye problemy preobrazovaniya ehkonomiki. 2021. № 4 (126). pp. 122-129.
3. Bartlett, P.A., Julien, D.M. and Baines, T.S. Improving supply chain performance through improved visibility // The International Journal of Logistics Management. 2007. Vol. 18 No. 2, pp. 294-313. DOI:10.1108/09574090710816986
4. Wei, H.-L., Wang, E.T.G. The strategic value of supply chain visibility: increasing the ability to reconfigure // European Journal of Information Systems. 2010. Vol. 19 No. 2, pp. 238-249. DOI:10.1057/ejis.2010.10
5. Fawcett, S.E., Magnan, G.M. and McCarter, M.W. Benefits, barriers, and bridges to effective supply chain management // Supply Chain Management An International Journal. 2008. Vol. 13 No. 1, pp. 35-48. DOI:10.1108/13598540810850300
6. Goh, Mark, et al. Supply chain visibility: A decision making perspective // Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on. IEEE, 2009
7. Drage T. Petreski, Andrej P. Iliev, Lazar M. Gjurov, Aleksandra D. Petreska Logistics supply chains and their application // VOJNOTEHNIČKI GLASNIK/MILITARY TECHNICAL COURIER, 2014. Vol. LXII, No. 4 p.104-119. DOI: 10.5937/vojtehg62-6207
8. Blomkvist, Y.; Ullemar Loenbom, L. Improving Supply Chain Visibility within Logistics by Implementing a Digital Twin: A Case Study at Scania Logistics; KTH Royal Institute of Technology: Stockholm, Sweden, 2020
9. Tarli, M.; Masithah, S. The Effects of Supply Chain Visibility, Supply Chain Flexibility, Supplier Development and Inventory Control Toward Supply Chain Effectiveness. // SSRN Electronic Journal. 2017. DOI:10.2139/SSRN.2984513
10. Caridi, M.; Moretto, A.; Perego, A.; Tumino, A. The benefits of supply chain visibility: A value assessment model. // International Journal of Production Economics. 2014, 151, pp. 1–19 DOI:10.1016/J.IJPE.2013.12.025
11. DHL to invest eur 20 million to enhance its supply chain visibility and risk management platform Resilience360. – URL: <https://www.dhl.com/global-en/home/press/press-archive/2018/dhl-to-invest-eur-20-million-to-enhance-its-supply-chain-visibility-and-risk-management-platform-resilience360.html> (accessed 19.01.2022).
12. Volvo Group Venture Capital invests in supply chain visibility platform. – URL: <https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2021/mar/news-3927071.html> (accessed 19.01.2022).
13. PSA unboxed invests in Roambee for greater supply chain visibility. – URL: <https://www.seatrade-maritime.com/ports-logistics/psa-unboxed-invests-roambee-greater-supply-chain-visibility> (accessed 22.01.2022).
14. Claasen, L. Why we invested in Singaporean supply chain visibility startup Portcast. – URL: <https://www.newtownpartners.com/why-we-invested-in-singaporean-supply-chain-visibility-startup-portcast/> (accessed 19.01.2022).
15. Reidy, S. Freight visibility: Need and importance for your supply chain. – URL: <https://arviem.com/do-you-know-the-value-of-freight-visibility-for-your-supply-chain/> (accessed 19.01.2022).

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

**Сироткин Артем Александрович**, к.э.н.,  
доцент, доцент кафедры техники и технологий  
железнодорожного транспорта, филиал  
Самарского государственного университета  
путей сообщения в г. Нижнем Новгороде,  
603011, г. Нижний Новгород, пл.  
Комсомольская, 3, e-  
mail: arsirotkin@rambler.ru

**Artem A. Sirotkin**, Candidate of Economic  
Sciences, Docent, Associate Professor of the  
Department of Technique and Technologies of  
Railway Transport, The Branch of the Samara  
State Transport University in Nizhny  
Novgorod, 3, Komsomolskaya Square, Nizhny  
Novgorod, 603011, e-  
mail: arsirotkin@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 22.01.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.

Received 22.01.2022; published online 21.03.2022.

УДК 656.078

DOI: 10.37890/jwt.vi70.240

## **Роль государственно-общественного управления в процессах взаимодействия «сухих» и морских портов**

**В.В. Троилин<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0000-0003-0431-3648>

**И.А. Арустамов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), г. Ростов-на-Дону, Россия*

<sup>2</sup>*ООО "СК "РЕКА-МОРЕ" г. Ростов-на-Дону, Россия*

**Аннотация.** «Сухие порты» получили широкое распространение в транспортной системе Российской Федерации. Вместе с тем в российском законодательстве не определено понятие «администрации сухого порта» как органа, осуществляющего управление им, что отрицательно сказывается на его взаимодействии с государственными и коммерческими структурами, социумом в месте его дислокации. Авторами, с использованием инструментов сравнительного анализа, реализованы обоснованные методические подходы к исследованию внутренних и внешних факторов функционального профиля и географического позиционирования, на основании которых разработаны и предлагаются три варианта гипотетической типологии властей «сухого порта» и сформулировано понятие: «администрация «сухого порта».

**Ключевые слова:** «сухой порт», администрация, государственно-общественное управление.

## **The role of state and public administration in the processes of interaction of "dry" and sea ports**

**Vladimir V. Troilin<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0000-0003-0431-3648>

**Igor A. Arustamov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don, Russia*

<sup>2</sup>*"SC RIVER-SEA" JSC, Rostov-on-Don, Russia*

**Abstract.** «Dry ports» are widely used in the transport system of the Russian Federation. At the same time, Russian legislation does not define the concept of «dry port administration» as a body that manages it, which negatively affects its interaction with government and commercial structures, the society at its location. Using the tools of comparative analysis, the authors implemented reasonable methodological approaches to the study of internal and external factors of the functional profile and geographic positioning, on the basis of which three options for a hypothetical typology of the authorities of the «dry port» were developed and proposed and the concept was formulated: «administration of the «dry port».

**Keywords:** «dry port», administration, state-public management.

### **Введение**

Возрастающий рост контейнерных перевозок с середины XX века потребовал внедрения эффективных форм организации перевозок различными видами транспорта, что способствовало использованию мультимодальных технологий.

Увеличение количества морских портов за короткие сроки оказалось невозможным, и решающим фактором стало создание припортовых терминалов, в ряде случаев находящихся на большом расстоянии от морского побережья. Эти терминалы, в зависимости от их принадлежности к конкретному государству, получили различные названия: «грузовая деревня», «грузовой терминал», «сухой порт» и т.д. В научной литературе обобщающим термином стал «сухой порт» (dry port) [1,2,3,4,5,6].

Концепция сухого порта базируется на парадигме, обеспечивающей связь внутренних районов государства с морским побережьем (портом) с использованием терминалов, в которых происходит накопление судовых партий грузов (чаще всего, контейнеров), их хранение, документальное оформление (в том числе, таможенное) и перевалка на смежные виды транспорта с доставкой в/из морской порт. Таким образом, на терминале осуществляются все виды технологических операций с грузами (товарами), за исключением непосредственной погрузки на судно.

«Сухой порт» объединяет интересы морских перевозчиков, стивидорных компаний, грузовладельцев, логистических операторов и владельцев транспортных инфраструктур, а также перевозчиков на смежных видах транспорта. Он может представлять собой совокупность независимых хозяйствующих субъектов, часто являющихся конкурентами. Соответственно, для обеспечения слаженной работы всего транспортно-инфраструктурного комплекса: «сухой порт» возникает необходимость создания единого органа, обеспечивающего его четкое функционирование и имеющего определенный административно-правовой статус.

«Сухие порты» могут иметь различные формы управления в зависимости от инициатора проекта. В практической деятельности дифференцируют два основных компонента управления «сухими портами»: управление собственностью и эксплуатацией. Собственность определяется владельцем терминала. «Сухой порт» может принадлежать публичной (государственной или муниципальной) или частной организации. Государственная – наиболее распространенная форма управления для «сухих портов», так как портовые сборы (платежи), получаемые государством, имеют стратегическое значение для их создания, функционирования и развития, тем самым оказывая влияние на экономику государства в целом. При публичной собственности государственные органы осуществляют инвестиции в инфраструктуру порта и планируют его развитие. Впоследствии порт или его оборудование может передаваться в лизинг частному бизнесу на определенный срок. Частная собственность менее популярна, как и для других объектов транспортной инфраструктуры.

Другой важный компонент – это управление эксплуатацией, то есть повседневной работой «сухого порта». Эксплуатационная деятельность осуществляется различными участниками «сухого порта», которые могут быть как собственниками, так и нет. Исходя из их правового статуса, они могут осуществлять государственный контроль над эксплуатацией оборудования и сотрудниками, управляющими терминалом. Частные компании могут осуществлять управление «сухим портом», принадлежащим им на праве собственности или действовать в соответствии с соглашением об аренде оборудования или концессионным соглашением (на основании действующего законодательства), которое может перейти им в собственность.

### **Методы**

В зависимости от инициатив или плана по созданию и развитию «сухого порта» и форм управления менеджментом и эксплуатацией целесообразно проанализировать возможные комбинации с тем, чтобы предложить наиболее адекватные формы управления.

Государственное управление (когда собственность создается государственным сектором) финансируется из государственного бюджета, а в дальнейшем правительство (в лице государственного предприятия или организации) получает контроль над операциями, доходами, эксплуатационной деятельностью и обеспечивает равный доступ к услугам порта неограниченному числу лиц, безопасность и справедливые цены (в том числе, в рамках антимонопольного законодательства) для бизнеса, решая при этом социальные задачи населения, проживающего в этом регионе. Но, к сожалению, государство не всегда имеет возможность финансирования значимых транспортно-инфраструктурных объектов с большим сроком окупаемости, к тому же государственные органы медленно реагируют на изменяющиеся условия транспортного рынка. Частное управление имеет значительное преимущество, так как, инвестируя собственные ресурсы в развитие национальной транспортной инфраструктуры, проявляет гибкость к изменяющимся рыночным условиям и, особенно, в части тарифов на оказываемые услуги. Несмотря на это, частному бизнесу свойственно также неумелое ведение дел, ведущее к экономическим рискам и банкротству.

Государственно-частное управление (партнерство) – сравнительно новая форма взаимодействия государства и бизнеса в Российской Федерации, но имеющийся многовековой международный опыт, в том числе, строительство Суэцкого и Панамского каналов, свидетельствует об ее эффективности. ГЧП может проявить наибольшую гибкость в создании, функционировании и развитии «сухого порта». Выбор оптимальной модели ГЧП управления «сухим портом» разработан авторами и предложен научному сообществу для обсуждения [7].

На основании вышеизложенного, возможные способы взаимодействия и взаимозависимости собственности и управления «сухим портом», их преимущества и недостатки в обобщенном виде можно представить в виде рисунка 1, из которого следует, что формы собственности непосредственно влияют на финансирование и особенности менеджмента в «сухом порту».

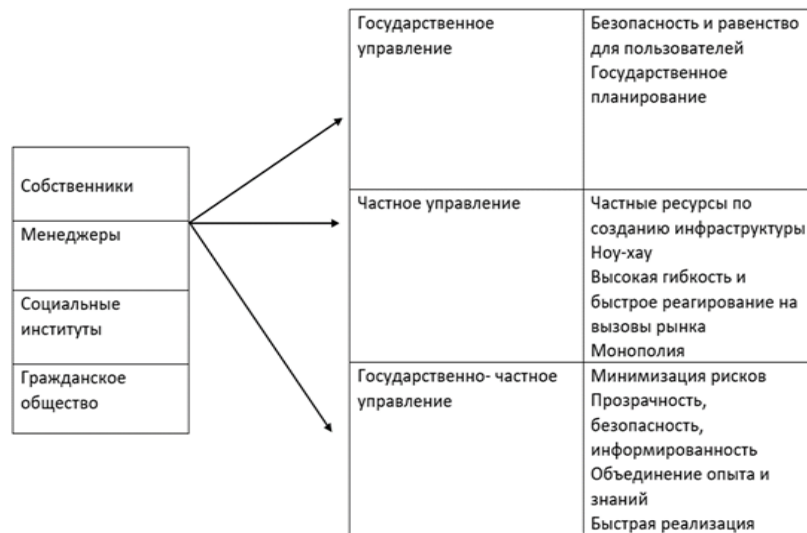


Рис. 1. Главные преимущества различных форм управления «сухим портом»<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Разработан авторами



Суммируя функции, присущие собственности на транспортную инфраструктуру и управление ею, исходя из пространственного, экономического, функционального значения, мы можем систематизировать их разные комбинации, в зависимости от места в транспортной цепи и их взаимодействия с морским портом.

Их можно объединить в четыре группы:

- «сухой порт» как часть «широких ворот» – основной порт и/или портовый кластер с расположенными рядом грузовыми терминалами с дополнительными услугами, функциями распределения и т.д., оказывающий влияние на весь регион;
- «сухой порт» как «функциональный спутник» или филиал/внешний офис с одним или несколькими морскими портами. «Сухой порт» может быть альтернативным ввиду удаленности от морского порта. Функциональный компонент очень важен в данном случае. Этот «спутник» может являться частью группы компаний или находиться в договорных отношениях, в зависимости от его экономического вклада в грузооборот морского порта, взаимодействующего с ним. Также он может быть в качестве дополнительного, неконкурирующего партнера или конкурента морскому порту, но, по меньшей мере, не должен составлять конкуренцию другим морским портам;
- «сухой порт» как хаб хинтерланда, который, прежде всего, служит для обеспечения крупных промышленных районов с ограниченными географическими возможностями рынков. В этом контексте «сухие порты» являются скорее хабами по переработке грузов (распределительным парком, грузовой деревней), соединяющими морской порт с рынками или определенными клиентами;
- «сухой порт» как мультимодальный грузовой терминал, который обеспечивает внутренние рынки товарами и транспортными услугами, а также перевалку грузов с автотранспорта на железнодорожный транспорт и т.д., что позволяет существенно сократить время доставки грузов конечному потребителю, особенно в тех случаях, когда нет прямых связей отправителя (продавца) с морским портом или она осуществляется непрофессиональными операторами, тогда как «сухой» и морской порты обычно связаны договорными отношениями и являются частью международных логистических цепей и транспортных коридоров. Вопрос экономической целесообразности перевозки грузов по мультимодальной технологии широко освещается в научной литературе.

В действительности большинство сухих портов являются комбинацией 4-х вышеназванных групп и имеют вариативность в их управлении.

Одной из важнейших характеристик грузовой работы и иных оказываемых услуг в «сухом порту» является контроль собственников за его функционированием, как и процесс проектирования, создания, планирования и управления. В этот процесс непосредственно включены и иные участники, причем, не только осуществляющие предпринимательскую деятельность, но и взаимодействующие с портом: экспедиторы, транспортные компании, логистические операторы, крупные отправители и получатели грузов и государственные органы, осуществляющие контрольно-надзорную деятельность и государственное управление органов субъекта федерации локации «сухого порта» и иные организации, в том числе, общественные. Также немаловажной в этом контексте является роль социума, находящегося в хинтерланде порта, так как в рамках гражданского общества он может как положительно, так и отрицательно влиять на функционирование порта. На основании

вышеизложенного необходимо уяснить функцию органа, осуществляющего управление портом, проводя аналогию с морскими портами, в которых осуществляют свою деятельность Администрации с организационно-правовой формой ФГБУ, выполняющие, в основном, контрольно-надзорные функции в сфере торгового мореплавания [8].

### **Обсуждение**

Деятельность «сухих портов» аналогична внутриворотной (береговой) морских портов, за исключением погрузки судов, соответственно, обладает рядом схожих коммерческо-транспортных операций. Так, на территории «сухого порта» может функционировать множество самостоятельных хозяйствующих субъектов, находящихся в различных экономико-правовых отношениях с собственниками «сухого порта», которые, в общем случае, будут создавать орган управления общей компетенции, то есть, Администрацию. Коммерческие и государственные функции тесно переплетаются в «сухом порту» и эти тенденции создают крайне неопределенную и сложную среду и коренным образом влияют на концепцию его функционирования.

По нашему мнению, под администрацией «сухого порта» следует понимать «субъект, который независимо от связи с другими видами деятельности, в соответствии с законодательством имеет своей целью осуществлять администрирование или управление портовой инфраструктурой, а также координацию и контроль за деятельностью различных операторов в порту». В большинстве случаев администрация обладает функцией арендодателя, хотя может осуществлять и другие функции.

Постоянно меняющаяся рыночная среда, в которой функционируют «сухие порты», оказывает влияние как на традиционную роль государства в сфере управления экономикой, так и на участников рынка, а также социум дислокации «сухого порта». Вместе с тем необходимо отметить, что основное влияние исходит, прежде всего, от участников транспортного рынка, которые, в лучшем случае, рассчитывают на помощь Администрации порта в достижении своих целей, ориентированных на получение прибыли, но одновременно видят в ней и бюрократическую помеху. В условиях глобализации транспортных цепей участники рынка становятся все более организованными и стараются контролировать всю транспортную инфраструктуру, участвующую в доставке товаров (грузов). Вместе с тем, отдельные администрации «сухих портов» часто остаются в стороне от этих процессов, показывая ограниченную заинтересованность. Далее идет влияние со стороны государства в лице его органов и должностных лиц, которые могут также делегировать часть своих функций портовым властям, предоставляя им различную степень управленческой автономии, сохраняя экономический контроль, в том числе, через правовое положение единственного или мажоритарного акционера. Недостаточное внимание уделяется развитию «сухих портов», и решение всех важных вопросов перенаправляется бизнес-сообществу, а администрация порта рассматривается при этом лишь как источник федерального или местного бюджета.

И, наконец, влияние социума и его общественности, представляющей интересы жителей региона, которые видят в Администрации ответственных за отрицательное воздействие на окружающую среду и иные внешние негативные факторы, порождаемые портом, даже если они не входят в их прямую ответственность. К тому же, головные организации, к которым относятся администрации, часто зарегистрированы не по месту дислокации портов, что также является негативным фактором для местных бюджетов.

В связи с тем, что «сухие порты» стали образовываться только в последние 60 лет, а в некоторых странах этот срок еще меньше (Китай, Индия), на создание администраций «сухих портов» оказывали влияние местные экономико-правовые факторы. Учитывая то, что администрации «сухих портов» должны соответствовать меняющимся рыночным условиям, по нашему мнению, можно условно определить три варианта их функционирования:

1. полноправное партнерство с бизнес-структурами хинтерланда, морских портов в рамках мультимодальных транспортных сетей;
2. ограниченная роль, обусловленная вспомогательной деятельностью в сфере безопасности: аренда инфраструктуры, концессионная деятельность.
3. уход с рынка в результате непродуманной экономической политики партнерства.

Варианты позиционирования могут быть развиты далее, используя основные функции, которыми могут обладать администрации «сухих портов». Сюда входят три основные: арендодателя, регулирующего органа и оператора, а также функция менеджера сообщества, которая только в последние годы в рамках демократизации общественных процессов, стала использоваться в сфере транспорта [9]. Эти функции осуществляются на уровне самого порта и составляют фактическую юрисдикцию администрации «сухого порта», однако могут распространяться и на региональный, а в ряде случаев, и на международный уровень.

### **Результаты**

Объединение функционального профиля и географического позиционирования позволяет разработать три варианта подхода к гипотетической типологии властей «сухих портов». Это: консерватор, фасилитатор, предприниматель. Основные особенности каждого гипотетического вида показаны в таблице 1, где Консерватор – портовая администрация, концентрирующая свое внимание на хорошем уровне хозяйствования и по существу, придерживающаяся пассивной и механистической реализации трех традиционных функций, характерных управлению на местном уровне. Из-за такого сдержанного консервативного отношения власти могут подвергаться риску маргинализации и даже исчезновения в будущем. Фасилитатор - портовая администрация, позиционирующая себя как медиатор и интрапренер между экономическими и общественными интересами с хорошо развитой функцией менеджмента. Такая администрация также смотрит за пределы «сухого порта» и пытается наладить стратегические региональные партнерства. Этот тип портовых властей в современных условиях хозяйствования наиболее часто заслуживает внимания и одобрения бизнес-сообщества. Предприниматель – портовая администрация, включающая в себя основные черты фасилитатора с более направленным коммерческим подходом в качестве инвестора, поставщика услуг и консультанта на всех трех географических уровнях.

Таблица 1

Гипотетическая типология властей «сухого порта»<sup>6</sup>

Тип	Консерватор	Фасилитатор	Предприниматель
Назначение:			
Арендодатель	Пассивный управляющий недвижимостью: непрерывность и техническое обслуживание – развитие в основном оставлено на рассмотрение государства/частного сектора; финансовые доходы от недвижимости на тарифной основе.	Активный брокер в сфере недвижимости: непрерывность, обслуживание и улучшение; брокер по развитию и соинвестор – включая деятельность в сфере городской и транспортной недвижимости; финансовые доходы от недвижимости на коммерческой основе	Активный девелопер недвижимости: непрерывность, обслуживание и улучшение – прямой инвестор, включая развитие городской и транспортной инфраструктуры; финансовый доход от недвижимости на коммерческой основе; финансовый доход от непрофильной деятельности;
		Посредник в коммерческих отношениях B2B между поставщиками услуг и клиентами порта.	Прямые коммерческие переговоры B2B с клиентами порта; активное стремление к занятию рыночной ниши.
		Стратегическое партнерство с внутренними, «сухими» и морскими портами.	Прямые инвестиции во внутренние терминалы, «сухие» и морские порты.
Регулятор	Пассивное применение и обеспечение соблюдения правил и положений, установленных другими лицами.  Финансовые доходы от деятельности регулирующего органа на тарифной основе	Активное применение и обеспечение соблюдения правил и положений посредством сотрудничества с местными, региональными и национальными регулирующими органами, а также установление собственных правил и положений.	Аналогичен фасилитатору.
		Оказание помощи портовому сообществу в соблюдении правил и норм.	Идейный фасилитатор. Опыт продаж за пределами порта.

<sup>6</sup> Составлена авторами

		Финансовые доходы от деятельности регулирующего органа на тарифной основе с различными вариантами взимания платы для обеспечения устойчивости работы.	Финансовые доходы от деятельности регулирующего органа на коммерческой основе.
Оператор	Механистическое применение концессионной политики.	Динамическое использование концессионной политики в сочетании с ролью брокера по недвижимости. «Лидер неудовлетворенности» результатами работы поставщиков портовых услуг. Предоставляет услуги общеэкономического значения и специализированные коммерческие услуги.	Динамическое использование концессионной политики в сочетании с ролью девелопера недвижимости. Акционер компании поставщиков портовых услуг. Предоставляет общеэкономические и коммерческие услуги. Предоставляет услуги в других портах.
Менеджер сообщества	Не активно развивается.	Экономический аспект: устранение транспортных узких мест; предоставление ИТ-услуг; продвижение и маркетинг; лоббирование.	Тот же тип посредника, но с более прямым коммерческим участием.
Географическое значение	Местный	Местный, региональный	Местный, региональный, глобальный

Портовые власти теоретически могут взять на себя множество вспомогательных функций, оказываемых за границами порта. При этом следует учитывать ряд факторов, связанных с управлением, которые могут повлиять на уровень, где администрация «сухого порта» может быть просто консерватором или взять на себя фасилитаторские или предпринимательские обязанности.

Следует признать, что факторы управления играют важную роль в производительности портов, но, безусловно, они являются не единственными. Но нет сомнения в том, что факторы государственно-общественного управления в большой степени определяют эффективность работы «сухого порта», среди которых можно выделить четыре основных: два формальных и два неформальных. Два формальных фактора состоят из правовой нормативной базы и финансовых возможностей. Неформальные – связаны с межличностными отношениями, культурой управления, на которые, несомненно, влияют социальные условия среды функционирования порта. Разумный баланс вышеназванных факторов и будет определять сферу деятельности порта и его экономико-географическое пространство, на котором руководство должно поддерживать и стимулировать проактивную культуру.

В управлении «сухого порта» должен быть оптимальным баланс сил между государством и администрацией порта, имеющих часто разные цели. Их взаимоотношения будут влиять на всю деятельность порта даже в случае, если портовые мощности являются государственной собственностью, что приведет к потенциальным конфликтам. Взаимоотношение с государством также будет влиять и на разработку стратегий по взаимодействию с хинтерландом, хотя, с другой стороны, полное отсутствие государственного контроля может быть контрпродуктивным, приводя к монополистическому поведению, преференциальному отношению к отдельным пользователям порта и их имуществу, не принося никакой выгоды, что влечет к расточительному избытку производственных мощностей.

Нормативно-правовая база является важным фактором, обеспечивающим благоприятные условия, которые являются балансом сил с государством (его органами). В этом контексте имеет важное значение коммерческая, управленческая и финансовая автономия «сухих портов», что позволяет их администрациям быть больше, чем «консерваторы». Правовая база также будет определять возможности портовых властей устанавливать локальные правила и нормы в отношении охраны окружающей среды, транспортной безопасности, а также осуществлять контроль и надзор за предоставляемыми транспортными услугами.

Необходимо отметить, что четкое правовое регулирование позволит более рационально использовать земельные и инфраструктурные объекты. При этом необходимо учитывать главенство федеральных норм по отношению к местным и локальным, в том числе, в поддержке автономных (негосударственных) «сухих портов», власти которых берут на себя ответственность за их стратегическое развитие, стимулируя диалог между всеми заинтересованными сторонами, что соответствует определённому ранее типу: «фасилитатор». Наряду с этим, в экономико-политическом контексте следует учитывать тот факт, что портовые власти, занимающиеся экономической деятельностью, по сути должны обладать квалифицированным персоналом как и любые предприятия, независимо от их правовой формы и/или формы собственности, что сделало бы их полностью подчиненными принципам законодательства о конкуренции.

Если власти «сухого порта» берут на себя вспомогательную, и тем более, предпринимательскую роль, например, активно участвуют в качестве соинвесторов или самостоятельно инвестируют средства в создание транспортной инфраструктуры, их финансовая независимость становится ключевым моментом, позволяя не ограничиваться простой ролью консерватора и добиваться более высоких амбиций.

По нашему мнению, в контексте настоящего исследования проблемы управления «сухим портом» и его взаимодействия с морским портом в свете демократизации управления экономическими процессами, происходящими в России и за рубежом, целесообразно рассматривать и применять в практической деятельности функцию управления «менеджер сообщества».

С учетом неформальных факторов, влияющих на управление портом, и как следствие, на его экономические показатели, нами исследовалось влияние межличностных факторов на взаимодействие между менеджерами «сухих» и морских портов. Но в хинтерланде функционирования «сухого порта» находится множество различных государственных и коммерческих структур, имеющих, в ряде случаев, противоположные интересы. В этом контексте понятие «менеджер сообщества» должно приобретать более широкое значение, требующее наполнения соответствующими дефинициями и, как следствие – правами и обязанностями.

### **Заключение**

В последнее десятилетие растет понимание того, что государственное управление направлено на максимальное удовлетворение потребностей общества, в том числе как коммерческих структур, так и населения, что должно способствовать повышению уровня жизни в стране. Это, так называемое, «благое управление» [10], которое является ключевым фактором, определяющим способность достичь устойчивого экономического и социального развития. Появляется все больше свидетельств того, что для развития экономики недостаточно просто выработать соответствующую политику, а необходимо иметь хорошую институциональную структуру, предполагающую наличие соответствующей среды, позволяющей эффективно проводить ту или иную политику и побуждающую индивидов инвестировать капитал, образование, технологии, то есть, факторы экономического роста. В этой связи мы не рассматриваем государственное управление как рудимент, а считаем, что именно оно должно обеспечить успешный переход к демократическому обществу в условиях рыночной экономики.

Исходя из того, что управление имеет сложную историческую, политическую и социально-культурную основу, оно требует междисциплинарного подхода, и его можно охарактеризовать, как способность формальной и неформальной институциональной среды, в которой взаимодействуют отдельные лица, гражданские ассоциации, государственные должностные лица и служащие, коммерческие структуры обеспечивать эффективное государственное управление. Стимулирование процесса партнерства между ними повышает качество предоставляемых услуг и социальную подотчетность (в том числе, госорганов) и обеспечивает активное общественное участие в принятии решений.

Термин «благое управление» хорошо согласуется с управлением «сухими портами» и их взаимодействию с морскими портами, хинтерландом, государственными органами, так как оно должно быть партисипативным, ориентированным на консенсус, транспарентным, действенным, справедливым и инклюзивным. Эти характеристики описывают ожидаемое управление взаимодействием. Очевидно, что будет целесообразным на данном этапе развития государственно-общественного управления в сфере водного транспорта применительно к «сухим портам» создание такого органа, который бы координировал управление взаимодействием не в рамках государственных органов или коммерческих организаций, функционирующих в порту, и не являлся бы надстройкой над ними. Создание такого органа возможно как в форме некоммерческих организаций [11], так и общественных объединений, а также как координационного органа при администрации «сухого порта». Опыт создания и функционирования таких организаций имеется как на международном, так и российском уровне [12,13].

Несомненный интерес вызывает создание в субъектах РФ при органах государственного управления «Морских советов» - коллегиальных органов, способствующих обеспечению согласованных действий органов государственной власти с территориальными федеральными органами исполнительной власти, органами местного самоуправления, организациями по вопросам морской деятельности [14]. По нашему мнению, аналогичный орган целесообразно создать при администрации «сухого порта» и условно выделить в самостоятельную структуру, разработав правовое положение. Его создание не потребует значительных затрат, так как его деятельность будет осуществляться штатными сотрудниками порта в рамках должностных обязанностей. В этой связи, систему государственно-общественного управления взаимодействием «сухого порта» с иными субъектами транспортного рынка, схематично можно представить в виде рисунка 2.

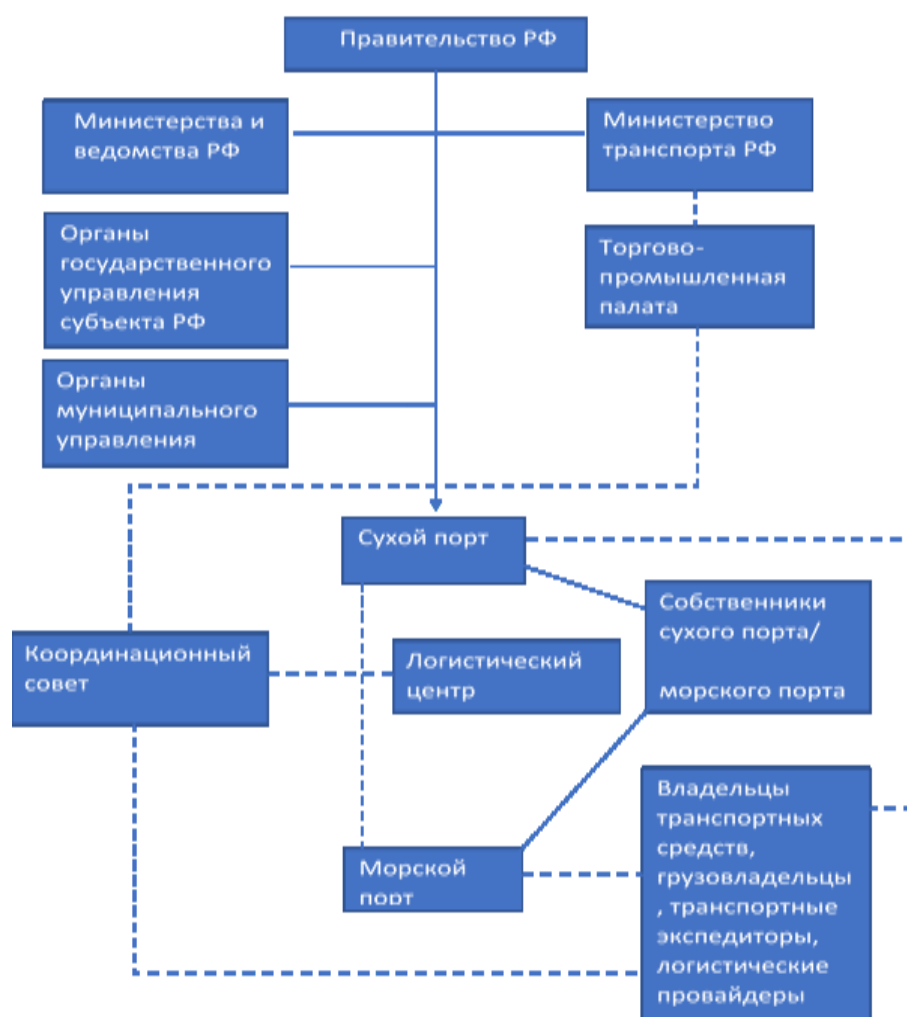


Рис. 2. Схема государственно-общественного управления взаимодействия «сухого порта» с субъектами транспортного рынка<sup>7</sup>

Создание координационного совета будет содействовать:

- устранению межведомственных преград, в том числе, при взаимодействии государственных и коммерческих структур;
- совместному планированию развития транспортных коммуникаций, с учетом перспективных грузопотоков;
- внедрению новых современных транспортных технологий;
- объединению усилий в создании совместных инвестиционных транспортных проектов.

В общем случае все это будет содействовать увеличению пропускной способности всей транспортной системы хинтерланда, в которой расположен «сухой»

<sup>7</sup> Разработан авторами



и морской порт, и предоставит местному бизнесу возможность для расширения своих производств.

#### Список литературы

1. Bask, A., V. Roso, D. Andersson, and E. Hämäläinen. 2014. Development of seaport-dry port dyads: Two cases from Northern Europe. *Journal of Transport Geography* 39: 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.014>.
2. Cullinane, K., Bergqvist, R., Wilmsmeier, G., 2012. The dry port concept – theory and practice. *Marit. Econom. Logist.* 14, 1–13
3. Fatimazahra Bentaleb Charif Mabrouki Elalami Semma Dry port development: A Systematic Review December 2015 // *Journal of ETA Maritime Science* 3(2):Pages 73 – 94
4. Jagan Jeevan, Shu-Ling Chen , Stephen Cahoon The impact of dry port operations on container seaports competitiveness// *Maritime Policy & Management The flagship journal of international shipping and port research* Volume 46, 2019 - Issue 1 Pages 4-23 | Published online: 07 Aug 2018.
5. Notteboom, T. & Winkelmans, W. (2001), "Structural changes in Logistics: how will port authorities face the challenge?" *Maritime Policy & Management*, Vol. 28, No.1: pp. 71-89.
6. Roso, V., Woxenius, J., Lumsden, K. The dry port concept - connecting seaports with their hinterland by rail.// *Journal of Transport Geography* Volume 17, Issue 5, September 2009, Pages 338-345
7. Троилин В.В. Разработка алгоритма выбора модели государственно-частного партнерства управления сухим портом /В. Троилин, И. Арустамов// *Вестник РГЭУ (РИНХ)*. № 4 (72), 2020- С. 88-103.
8. Приказ Министерства транспорта РФ от 29 января 2014 г. N 24 "Об утверждении Положения об администрации морских портов"// *Российской газете* от 15 октября 2014 г. N 235
9. Троилин В.В. Совершенствование промышленной инфраструктуры предприятий водного транспорта : Теория. Методология. Практика : [Монография] / Троилин В. В.; М-во образования Рос. Федерации. Ростов. гос. экон. ун-т (РИНХ). - Ростов н/Д : РГЭУ, 2001. - 194 с.;
10. Wasim Ismail Al-Habil Governance and government in public administration//[Electronic resource] URL: [https://www.researchgate.net/publication/228426412\\_Governance\\_and\\_government\\_in\\_public\\_administration](https://www.researchgate.net/publication/228426412_Governance_and_government_in_public_administration) (date of access: 05.05.2019)
11. Международная палата судоходства[Электронный ресурс]. URL: <https://www.ics-shipping.org/> (дата обращения 05.04.2020).
12. Союз транспортников России[Электронный ресурс]. URL: [http://www.souztransrus.ru/info\\_str/](http://www.souztransrus.ru/info_str/) (дата обращения 05.04.2020).
13. Ассоциация портов Черного и Азовского морей (BASPA)// [Электронный ресурс]. URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/v\\_odesse\\_izbrali\\_prezidenta\\_mezhdunarodnoy\\_associacii\\_portov\\_chernogo\\_i\\_azovskogo\\_morey.html](https://www.korabel.ru/news/comments/v_odesse_izbrali_prezidenta_mezhdunarodnoy_associacii_portov_chernogo_i_azovskogo_morey.html) . (дата обращения: 22.05.2020)
14. Морской совет при Правительстве Ростовской области// [Электронный ресурс]. URL: <https://www.donland.ru/commission/15/> (дата обращения 05.04.2020).

#### References

1. Bask, A., V. Roso, D. Andersson, and E. Hämäläinen. 2014. Development of seaport-dry port dyads: Two cases from Northern Europe. *Journal of Transport Geography* 39: 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.014>.
2. Cullinane, K., Bergqvist, R., Wilmsmeier, G., 2012. The dry port concept – theory and practice. *Marit. Econom. Logist.* 14, 1–13
3. Fatimazahra Bentaleb Charif Mabrouki Elalami Semma Dry port development: A Systematic Review December 2015 // *Journal of ETA Maritime Science* 3(2):Pages 73 – 94
4. Jagan Jeevan, Shu-Ling Chen , Stephen Cahoon The impact of dry port operations on container seaports competitiveness// *Maritime Policy & Management The flagship journal of*

- international shipping and port research Volume 46, 2019 - Issue 1 Pages 4-23 | Published online: 07 Aug 2018.
5. Notteboom, T. & Winkelmann, W. (2001), "Structural changes in Logistics: how will port authorities face the challenge?" *Maritime Policy & Management*, Vol. 28, No.1: pp. 71-89.
  6. Roso, V., Woxenius, J., Lumsden, K. The dry port concept - connecting seaports with their hinterland by rail.//*Journal of Transport Geography* Volume 17, Issue 5, September 2009, Pages 338-345
  7. Troilin V.V. Razrabotka algoritma vybora modeli gosudarstvenno-chastnogo partnerstva upravleniya sukhim portom /V. Troilin, I. Arustamov// *Vestnik RGEHU (RINKH)*. № 4 (72), 2020- S. 88-103.
  8. Prikaz Ministerstva transporta RF ot 29 yanvarya 2014 g. N 24 "Ob utverzhdenii Polozhenii ob administratsii morskikh portov"// *Rossiiskoi gazete* ot 15 oktyabrya 2014 g. N 235
  9. Troilin V.V. Sovershenstvovanie promyshlennoi infrastruktury predpriyatii vodnogo transporta : Teoriya. Metodologiya. Praktika : [Monografiya] / Troilin V. V.; M-vo obrazovaniya Ros. Federatsii. Rostov. gos. ehkon. un-t (RINKH). - Rostov n/D : RGEHU, 2001. - 194 s.;
  10. Wasim Ismail Al-Habil Governance and government in public administration//[Electronic resource] URL: [https://www.researchgate.net/publication/228426412\\_Governance\\_and\\_government\\_in\\_public\\_administration](https://www.researchgate.net/publication/228426412_Governance_and_government_in_public_administration) (date of access: 05.05.2019)
  11. Mezhdunarodnaya palata sudokhodstva[Ehlektronnyi resurs]. URL: <https://www.ics-shipping.org/> (data obrashcheniya 05.04.2020).
  12. Soyuz transportnikov Rossii[Ehlektronnyi resurs]. URL: [http://www.souztransrus.ru/info\\_str/](http://www.souztransrus.ru/info_str/) (data obrashcheniya 05.04.2020).
  13. Assotsiatsiya portov Chernogo i Azovskogo morei (BASPA)// [Ehlektronnyi resurs]. URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/v\\_odesse\\_izbrali\\_prezidenta\\_mezhdunarodnoy\\_assotsiatsii\\_portov\\_chernogo\\_i\\_azovskogo\\_morey.html](https://www.korabel.ru/news/comments/v_odesse_izbrali_prezidenta_mezhdunarodnoy_assotsiatsii_portov_chernogo_i_azovskogo_morey.html) . (data obrashcheniya: 22.05.2020)
  14. Morskoi sovet pri Pravitel'stve Rostovskoi oblasti// [Ehlektronnyi resurs]. URL: <https://www.donland.ru/commission/15/> (data obrashcheniya 05.04.2020).

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

**Троилин Владимир Всеволодович**, профессор, профессор кафедры коммерции и логистики, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ) (ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)»), 344000, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 69  
e-mail: profvvt@gmail.com

**Vladimir V. Troilin**, Ph.D. in Economics, Professor of Commerce and Logistics department, Rostov State University of Economics, 344000, Rostov-on-Don city, Bolshaya Sadovaya str., 69,  
e-mail: profvvt@gmail.com

**Арустамов Игорь Артурович**, менеджер ООО"СК "РЕКА-МОРЕ", 344002, г.Ростов-на-Дону, пр. Семашко, 3,  
e-mail: igor\_arustamov@mail.ru

**Igor A. Arustamov**, Manager of "SC 'RIVER-SEA" JSC, 344002, Rostov on Don city, Semashko Ave., 3,  
e-mail: igor\_arustamov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22.01.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 22.01.2022; published online 21.03.2022.

УДК 656.615

DOI: 10.37890/jwt.vi70.243

## **Эффект снижения предельной интенсивности грузовой обработки транспортных средств при увеличении задействованного числа технологических линий**

**А. А. Фунтусов**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7310-8552>

*Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского,  
г. Владивосток, Россия*

**Аннотация.** Опыт производственной деятельности морских и речных портов показывает, что интенсивность грузовой обработки судов и других транспортных средств возрастает с увеличением задействованного числа технологических (механизированных) линий отнюдь не линейно: в согласии с универсальным законом убывающей предельной производительности факторов производства каждая дополнительная технологическая линия даёт всё меньший и меньший прирост интенсивности обработки транспортного средства. Несмотря на её важность для планирования грузовых операций, эта закономерность не получила ясного теоретического объяснения в специальной литературе. Настоящая статья представляет попытку автора восполнить этот пробел. В статье предлагается теоретическое объяснение причин снижения предельной интенсивности обработки транспортных средств при увеличении задействованного числа технологических линий. В статье показано, что это может быть объяснено действием двух эффектов: эффекта интерференции (взаимных помех) и конъюнктивного эффекта. Оба эти эффекта обуславливаются тем, что грузовая обработка транспортного средства представляет собой не детерминированный, а случайный (стохастический) процесс. В статье дается количественная и качественная оценка влияния указанных эффектов на интенсивность грузовой обработки транспортных средств в зависимости от задействованного числа технологических линий.

**Ключевые слова:** морской порт, транспортный терминал, грузовые операции, транспортное средство, технологическая линия, подъёмно-транспортная машина, порядковые статистики, система массового обслуживания, закон убывающей предельной производительности

## **A theoretical analysis of the phenomenon of diminishing marginal productivity of gangs employed for (un)loading a vehicle**

**Anatoly A. Funtusov**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7310-8552>

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

**Abstract.** The experience of (un)loading ships and other vehicles in sea ports shows that the rate of (un)loading (i. e. the amount of cargo being (un)loaded (from) onto a vehicle per time unit) does not increase in direct proportion to the number of gangs employed; in accordance with the law of diminishing marginal productivity each additional gang adds less and less to the rate of (un)loading. Despite its importance in operations planning, this phenomenon has not been given careful consideration and clear explanation in the literature related to port operations. This paper attempts to fill this gap by offering a theoretical explanation for why the marginal rate of (un)loading decreases with the addition of each extra gang. This paper suggests two reasons behind the phenomenon: the interference effect, and the conjunction

effect. Both of these effects are due to the fact that (un)loading a vehicle is not a deterministic but a stochastic process. Each of the effects is examined in the paper both quantitatively and qualitatively.

**Keywords:** sea port, transport terminal, cargo handling operations, vehicle, gang, cargo handling equipment, order statistics, queueing system, law of diminishing marginal productivity

### **Введение**

В основе решения многих задач планирования производственной деятельности морских и речных портов лежит вопрос о том, каким образом интенсивность грузовой обработки транспортных средств (судов, ж.-д. вагонов, автомашин) зависит от задействованного числа (концентрации) технологических (механизированных) линий.

На первый взгляд ответ на этот вопрос представляется очевидным: если интенсивность загрузки (разгрузки) транспортного средства (ТС) одной технологической линией (ТЛ) составляет  $P$  (тонн за единицу времени), то при одновременном использовании  $N$  ТЛ она составит  $NP$  (тонн за единицу времени), т. е. интенсивность грузовой обработки ТС должна быть связана с числом задействованных ТЛ простой линейной зависимостью.

Однако при более внимательном рассмотрении этого вопроса обнаруживается, что интенсивность  $M$  грузовой обработки ТС изменяется с увеличением концентрации ТЛ отнюдь не линейно, а зависит от  $N$  более сложным образом. В общем случае указанная зависимость (без учета подготовительных, заключительных и вспомогательных операций) может быть записана в виде

$$M(N) = NP(1 - k) \quad (1)$$

где  $N$  – концентрация ТЛ на обработке ТС,  $P$  – производительность одной ТЛ, а  $k < 1$  – поправочный коэффициент, величина которого зависит от  $N$ .

При  $N = 1$   $k = 0$ , а при  $N \geq 2$  значение коэффициента  $k$  будет тем больше, чем больше число  $N$ . Вследствие этого с увеличением  $N$  каждая дополнительная ТЛ даёт всё меньший и меньший прирост интенсивности  $M$  обработки ТС. Другими словами, предельная интенсивность обработки ТС, т. е. разность  $M(N + 1) - M(N)$ , убывает с ростом  $N$ . При грузовой обработке ТС таким образом находит подтверждение универсальный закон убывающей предельной производительности [1] (убывающей отдачи [2]) факторов производства.

Применительно к грузовой обработке морских и речных судов отмеченный факт хорошо известен и описан в специальной литературе, посвященной вопросам проектирования и эксплуатации морских и речных портов (табл. 1). Однако сведения, приводимые в упомянутой литературе, весьма неоднозначны. Так, согласно [3, с. 246], при обработке судна, имеющего четыре трюма (люка), одновременно тремя ТЛ (кранами) коэффициент  $k$  будет равен нулю. Однако согласно [4, с. 20] коэффициент  $k$  в этом случае должен быть равен 0,05. Согласно [5, с. 50], при обработке судна-контейнеровоза одновременно тремя ТЛ (контейнерными перегружателями)  $k = 0$ , тогда как согласно [6, с. 44] коэффициент  $k$  должен быть равен 0,2.

Таблица 1

**Оценки величины коэффициента  $k$**

Источник [3]	Источник [4]	Источник [5]	Источник [6]	$k$
Морские суда (в зависимости от числа $n$ люков на судне)	Речные суда проекта 507 (4 трюма)	Суда-контейнеровозы на специализированных контейнерных терминалах		
$N < n$	$N \leq 2$	$N \leq 3$	$N = 1$	0,00
$N = n$	$N = 3$	$N = 4$	$N = 2$	0,05
$N = n + 1$	$N = 4$	$N = 5$	-	0,10
$N = n + 2$	-	$N = 6$	-	0,15
-	$N = 5$	$N > 6$	$N \geq 3$	0,20

Причину столь значительного разброса оценок следует, очевидно, искать в том, что эти оценки были получены эмпирически в разных условиях обработки судов. При этом ни в одном из упомянутых источников эти условия не раскрываются. Поэтому данные табл. 1 и другие подобные оценки, к сожалению, дают очень мало для понимания причин и характера нелинейной зависимости интенсивности грузовой обработки судна от задействованного числа ТЛ.

Не найдя в специальной литературе работ, содержащих какое-либо теоретическое объяснение убывающей предельной интенсивности грузовой обработки ТС, автор предпринял самостоятельное исследование этого вопроса с целью получить более ясное качественное и количественное представление о том, каким образом интенсивность (и, соответственно, продолжительность) грузовой обработки ТС зависит от концентрации ТЛ. В настоящей статье излагаются основные результаты этого исследования.

В статье отдельно рассматриваются два эффекта, действием которых можно объяснить снижение предельной интенсивности обработки ТС с увеличением концентрации ТЛ. Оба эти эффекта обязаны своим происхождением тому обстоятельству, что грузовая обработка ТС представляет собой не детерминированный, а случайный (стохастический) процесс.

Ввиду ограниченности объема статьи, для простоты и краткости изложения анализ ограничивается только теми случаями, когда погрузка (выгрузка) груза осуществляется по простой технологической схеме (например, «вагон – погрузчик – склад»); при этом ТЛ состоит из подъемно-транспортных машин (ПТМ) одного типа, которые выполняют все операции с грузом при перегрузке его по данному варианту работ. Очевидно, что в этом случае одна ТЛ с несколькими ПТМ эквивалентна такому же числу ТЛ с одной единственной ПТМ в каждой. Случаи обработки ТС по сложной технологической схеме, когда ТЛ состоит из ПТМ разных типов, выполняющих каждая свою часть операций по перемещению груза (например, «трюм – кран – причал – погрузчик – склад»), требуют отдельного изучения и в статье не рассматриваются.

**Эффект интерференции (взаимных помех)**

Одной из причин того, что зависимость интенсивности грузовой обработки ТС от концентрации ТЛ носит нелинейный характер, выражаемый формулой (1), является эффект интерференции (взаимных помех). Данный эффект имеет место при пересечении оперативных зон ТЛ в процессе грузовой обработки ТС.

Суть эффекта интерференции можно пояснить на следующем примере, заимствованном из действующего руководства по определению технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов [7]. Помимо его наглядности, данный пример позволяет показать, что эффект интерференции не всегда учитывается при планировании грузовой обработки ТС.

Пусть крытый четырехосный вагон с грузом бумаги в рулонах разгружается с помощью двух электропогрузчиков по технологической схеме «вагон – погрузчик – склад» (в данном случае мы имеем две ТЛ, каждая из которых состоит из одного погрузчика). В соответствии с [8] предполагается, что въезд второго погрузчика в вагон возможен только после выезда первого погрузчика на расстояние не менее 2 (м) от дверного проема вагона. Погрузчики перегружают по одному рулону бумаги за один рабочий цикл.

Согласно [7], продолжительность разгрузки вагона (в часах) при одновременной работе двух погрузчиков (без учета подготовительных и заключительных операций) будет равна

$$t_{гр} = \frac{Q_B}{2P}, \quad (2)$$

где  $Q_B$  – количество груза в вагоне (т), а  $P$  – среднечасовая производительность погрузчика (т/час), которая определяется по формуле

$$P = q_{ц}/t_{ц}, \quad (3)$$

где  $q_{ц}$  – количество груза, перегружаемое погрузчиком за один рабочий цикл (т), а  $t_{ц}$  – средняя продолжительность рабочего цикла погрузчика (выраженная в часах).

Легко видеть, что формула (2) предусматривает линейную зависимость интенсивности разгрузки вагона от числа задействованных ТЛ (погрузчиков). Действительно, согласно (2) интенсивность разгрузки вагона двумя погрузчиками (в тоннах за час) равна

$$M = Q_B/t_{гр} = 2P$$

Покажем, что в действительности интенсивность разгрузки вагона в рассматриваемом примере будет равна не  $2P$ , а  $2P(1 - k_{int}) < 2P$ , согласно формуле (1), в которой коэффициент  $k$  будет иметь смысл коэффициента интерференции  $k_{int}$ . Соответственно, продолжительность разгрузки вагона (без учета подготовительных и заключительных операций) будет равна

$$t_{гр} = \frac{Q_B}{2P(1 - k_{int})}. \quad (4)$$

Для этого, прежде всего, обратим внимание на то обстоятельство, что продолжительность каждой отдельной операции, выполняемой погрузчиками в процессе разгрузки вагона (захват рулона, передвижение на склад, укладка рулона в штабель и т. д.), является случайной величиной.

Имея в виду это обстоятельство, заметим далее, что вагон и два погрузчика, которые работают одновременно на разгрузке вагона, образуют своеобразную систему массового обслуживания (СМО). В этой системе участок грузового фронта, включающий в себя кузов вагона и прилежащий к двери вагона участок рампы радиусом 2 (м), – назовем этот участок зоной выгрузки, – играет роль канала обслуживания, который принимает и «обслуживает» поток заявок, поступающих попеременно от двух источников – погрузчиков. Въезд погрузчика в зону выгрузки

означает поступление заявки на обслуживание, суть которого сводится к тому, что погрузчику предоставляется доступ в вагон для выгрузки очередного рулона бумаги. Если в момент поступления заявки канал обслуживания занят (в зоне выгрузки уже находится другой погрузчик), то заявка становится в очередь у границы зоны выгрузки и ожидает освобождения канала (выезда первого погрузчика из вагона на расстояние не менее 2 (м) от дверного проема).

С точки зрения теории массового обслуживания (ТМО) описанная выше система «два погрузчика – вагон» представляет собой не что иное, как одноканальную замкнутую СМО с двумя источниками заявок [9]. Применяв известный математический аппарат ТМО для систем указанного типа, мы можем найти интенсивность и продолжительность разгрузки вагона при одновременной работе двух погрузчиков.

Предположим, что время нахождения погрузчика в зоне выгрузки, т. е. интервал времени с момента въезда погрузчика в зону выгрузки (порожнем) до момента выезда его из зоны выгрузки (с грузом), является случайной величиной, распределенной по показательному закону. Тогда в установившемся стационарном режиме среднее число рулонов бумаги, выгружаемое из вагона за единицу времени (абсолютная пропускная способность системы), будет равно

$$A = \frac{2}{\tau + t} \left( 1 - \frac{\rho^2}{1 + 2\rho + 2\rho^2} \right),$$

где  $\tau$  – средний интервал времени с момента въезда погрузчика в зону выгрузки (порожнем) до момента выезда его из зоны выгрузки (с грузом),  $t$  – средний интервал времени с момента выезда погрузчика (с грузом) из зоны выгрузки до момента возвращения погрузчика (порожнем) к границе зоны выгрузки, а  $\rho = \tau/t$ .

Умножив обе части последнего уравнения на  $q_{ц}$ , получим следующее выражение для интенсивности разгрузки вагона двумя погрузчиками (в тоннах за единицу времени):

$$M = \frac{2q_{ц}}{\tau + t} \left( 1 - \frac{\rho^2}{1 + 2\rho + 2\rho^2} \right)$$

Наконец, заметив, что  $\tau + t = t_{ц}$ , в соответствии с формулой (3) мы можем переписать последнее выражение в виде

$$M = 2P \left( 1 - \frac{\rho^2}{1 + 2\rho + 2\rho^2} \right).$$

Но это есть не что иное, как формула (1), в которой  $N = 2$ , а

$$k = k_{int} = \rho^2 / (1 + 2\rho + 2\rho^2), \tag{5}$$

что и требовалось показать. При этом оказывается, что коэффициент  $k_{int}$  не является некой константой, а зависит от величины  $\rho$ , которая определяется по формуле

$$\rho = \tau/t = \tau/(t_{ц} - \tau) = \varepsilon/(1 - \varepsilon), \tag{6}$$

где введено обозначение  $\varepsilon = \tau/t_{ц}$ .

В условиях численного примера, приведенного в [7],  $\tau \approx 21$  (с), а  $t_{ц} = 63$  (с). Таким образом,  $\varepsilon = 21/63 = 1/3$  и, по формуле (6),  $\rho = 0,5$ . Подставив это значение в формулу (5), найдем, что  $k_{int} = 0,1$ , и, следовательно, интенсивность разгрузки вагона двумя погрузчиками будет равна  $2P(1 - 0,1) = 1,8P$ . Соответственно, при  $Q_{в} = 68$  (т) и

$P = 31,4$  (т/час), по формуле (4), средняя продолжительность  $t_{гр}$  разгрузки вагона (без учета подготовительных и заключительных операций) составит не 65 (мин.), как предлагается считать в [7], а около 72 (мин.), т. е. приблизительно на 11 % больше, – разница незначительная с точки зрения оперативного планирования, но достаточно большая, чтобы принять её во внимание при решении задач среднесрочного и долгосрочного планирования.

Для того чтобы понять, в чем заключается причина указанного эффекта, следует заметить, что рассмотренная замкнутая СМО «два погрузчика – вагон» может находиться в трёх состояниях:

- 1) оба погрузчика находятся за пределами зоны выгрузки; зона выгрузки свободна;
- 2) один погрузчик находится в зоне выгрузки, а второй выполняет операции за её пределами (например, в складе);
- 3) один погрузчик находится в зоне выгрузки, второй погрузчик также готов въехать в вагон за очередным рулоном, но стоит в очереди у границы зоны выгрузки в ожидании выезда первого погрузчика.

В установившемся стационарном режиме система какую-то часть времени будет находиться в каждом из указанных трёх состояний, в том числе и в последнем из них. Это означает, что каждый из двух погрузчиков будет терять часть рабочего времени у границы зоны выгрузки в ожидании выезда из вагона другого погрузчика, теряя при этом часть своей производительности. Величина коэффициента интерференции  $k_{int}$  как раз и показывает, какую долю своей производительности будет терять каждый из двух погрузчиков.

В рассмотренном примере оперативные зоны двух ТЛ (погрузчиков) пересекаются в грузовом помещении ТС (в кузове вагона). Однако оперативные зоны ТЛ могут пересекаться и на другом участке грузовых работ. Представим, например, что два погрузчика разгружают не один вагон, а два разных вагона, но при этом складировать груз в одном месте, так что оба погрузчика не могут производить эту операцию одновременно (скажем, из-за узкого технологического проезда в складе или при складировании груза в один ряд штабеля). Другим примером может служить случай, когда погрузчики завозят груз в склад через одни ворота, ширина которых не позволяет безопасно разъехаться двум погрузчикам, так что при встрече у ворот один из погрузчиков должен уступить дорогу. В обоих указанных и подобных им случаях будет наблюдаться тот же самый эффект взаимных помех, который был рассмотрен нами выше.

Переходя от частного примера к общему случаю, с помощью математического аппарата ТМО можно показать, что, если оперативные зоны ТЛ пересекаются *на одном участке* грузовых работ, а продолжительность операций, выполняемых на участке пересечения оперативных зон ТЛ (в рамках одного рабочего цикла), подчиняется показательному закону распределения, то зависимость коэффициента интерференции  $k_{int}$  от числа ТЛ (ПТМ), участвующих в обработке ТС, может быть записана в следующем виде:

$$k_{int} = 1 - \frac{1 + \rho}{\rho N} \left( 1 - \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho^i N!}{(N-i)!}} \right),$$



где  $\rho$  определяется по формуле (6); при этом величину  $\tau$  следует понимать как среднюю продолжительность операций, выполняемых ПТМ на участке пересечения оперативных зон ТЛ (в рамках одного рабочего цикла).

Зависимость коэффициента интерференции  $k_{int}$  от числа  $N$  при разных значениях  $\rho$  изображена графически на рис. 1. Как видно из рисунка, чем больше ТЛ сосредоточено на обработке ТС и чем больше значение  $\rho$ , тем сильнее проявляется эффект взаимных помех.

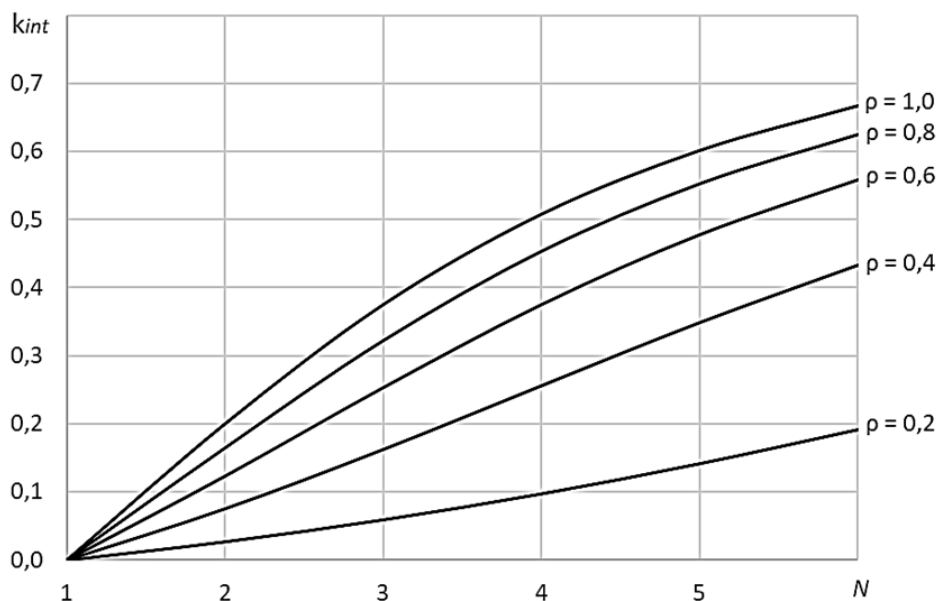


Рис. 1. Зависимость коэффициента интерференции от числа ТЛ, участвующих в обработке ТС, при пересечении оперативных зон ТЛ на одном участке работ

Введем понятие эффективной концентрации ТЛ на обработке ТС, под которой будем понимать величину  $N_{эф} = N(1 - k)$ . Согласно (1) эффективная концентрация ТЛ равна интенсивности обработки ТС при производительности ТЛ, равной единице ( $P = 1$ ).

Полагая  $k = k_{int}$ , в соответствии со сказанным выше, мы можем записать выражение для эффективной концентрации ТЛ в следующем виде:

$$N_{эф} = \frac{1 + \rho}{\rho} \left( 1 - \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho^i N!}{(N-i)!}} \right). \quad (k = k_{int})$$

Зависимость  $N_{эф}$  от номинального числа ТЛ (ПТМ), участвующих в обработке ТС, изображена графически на рис. 2. Легко видеть из рисунка, что при увеличении числа ТЛ каждая дополнительная ТЛ даёт всё меньший и меньший прирост величины  $N_{эф}$

(а, следовательно, – всё меньший и меньший прирост интенсивности обработки ТС), причем величина этого прироста будет тем меньше, чем больше величина  $\rho$ .

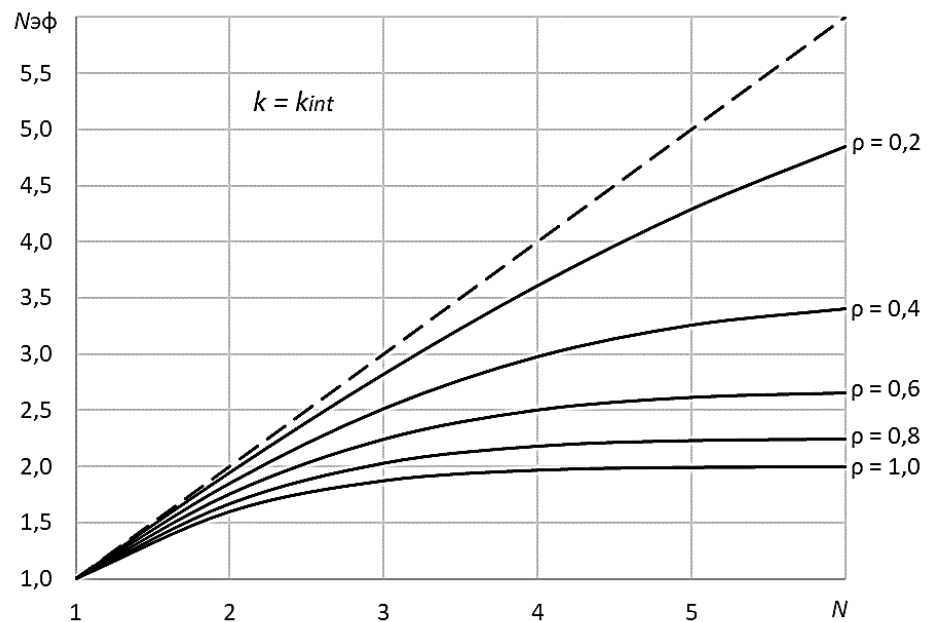


Рис. 2. Зависимость эффективной концентрации ТЛ на обработке ТС от номинального числа ТЛ при пересечении оперативных зон ТЛ на одном участке работ

В пределе, при неограниченном увеличении числа ТЛ, величина  $N_{эф}$  стремится к постоянному значению, равному  $(1 + \rho)/\rho$ . Это означает, что, если оперативные зоны ТЛ пересекаются на каком-то участке грузовых работ, то, сколько бы ТЛ мы ни сосредоточили на обработке ТС, интенсивность  $M$  его грузовой обработки не превысит величины  $M_{max} = P(1 + \rho)/\rho$ .

Напомним, что приведенные выше формулы для  $k_{int}$  и  $N_{эф}$  были выведены в предположении, что время работы перегрузочной машины на участке пересечения оперативных зон ТЛ (в рамках одного рабочего цикла) подчиняется показательному закону распределения. Можно показать, что, если указанное время подчиняется какому-либо иному закону распределения (с меньшим коэффициентом вариации), то значения коэффициента  $k_{int}$  будут несколько меньше приведенных выше оценок. Иными словами, численные значения коэффициента  $k_{int}$ , приведенные на рис. 1, следует рассматривать как предельно максимальные («пессимистические») оценки.

### Конъюнктивный эффект

В соответствии со сказанным выше, при обработке ТС одновременно двумя или несколькими ТЛ следует по возможности организовывать грузовые работы таким образом, чтобы оперативные зоны ТЛ (траектории движения самих ПТМ, их стрел или других конструктивных элементов) нигде не пересекались друг с другом.

Однако можно показать, что даже и в этом случае, несмотря на отсутствие эффекта взаимных помех, зависимость интенсивности грузовой обработки ТС от концентрации ТЛ будет носить нелинейный характер, выражаемый формулой (1), в которой коэффициент  $k$  будет иметь теперь совершенно иной смысл.

Чтобы продемонстрировать это, вернемся к примеру, который был рассмотрен нами в предыдущем разделе, но на этот раз предположим, что два погрузчика разгружают не один вагон, а группу (подачу) из шести вагонов, поданных одновременно к рампе склада, т. е. в качестве ТС будем рассматривать теперь не отдельный вагон, а группу (подачу) вагонов.

Полагая, что объем работ поровну распределен между ТЛ (по три вагона), оперативные зоны ТЛ (погрузчиков) нигде не пересекаются друг с другом (эффект взаимных помех отсутствует) и погрузчики приступают к разгрузке вагонов одновременно, спросим себя: какова будет средняя продолжительность  $t_{гр}$  грузовой обработки подачи вагонов?

Обратившись с этим вопросом к специальной литературе, в частности к [10], мы получим следующий ответ (без учета подготовительных, заключительных и вспомогательных операций):

$$t_{гр} = \frac{m_{п} Q_{в}}{NP},$$

где  $m_{п}$  – количество вагонов в подаче,  $Q_{в}$  – количество груза в вагоне,  $N$  – число ТЛ (ПТМ), участвующих в обработке подачи вагонов,  $P$  – производительность ТЛ (ПТМ).

Покажем, что приведенная выше формула была бы справедлива только в том случае, если бы обработка вагонов представляла собой не стохастический, а строго детерминированный процесс. Однако в действительности это не так, и поэтому в указанную формулу необходимо внести следующую поправку:

$$t_{гр} = \frac{m_{п} Q_{в}}{NP(1 - k_{con})}, \quad (7)$$

где  $k_{con} < 1$  – поправочный коэффициент, величина которого зависит от числа  $N$ .

Чтобы пояснить смысл коэффициента  $k_{con}$  и определить его количественно, обратим внимание на следующие обстоятельства:

- 1) обработка группы (подачи) вагонов в нашем примере будет завершена только тогда, когда оба погрузчика закончат свою часть работы (обработку своих трех вагонов);
- 2) время, затрачиваемое погрузчиком на разгрузку вагона, является случайной величиной; поэтому один погрузчик может закончить свою часть работы (обработку своих трех вагонов) несколько раньше или позже, чем другой погрузчик;
- 3) момент завершения обработки всей подачи вагонов будет определять тот погрузчик, который завершит свою часть работы (обработку своей части вагонов) последним;
- 4) пусть продолжительность одного рабочего цикла погрузчика является случайной величиной с математическим ожиданием  $t_{ц}$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma_{ц}$ , и для разгрузки одного вагона погрузчику требуется выполнить  $n_{цв}$  рабочих циклов; тогда, если  $n_{цв}$  достаточно велико (практически можно считать большим  $n_{цв} > 10$ ), в силу центральной предельной теоремы теории вероятностей [11], закон распределения продолжительности разгрузки вагона будет близок к нормальному закону с математическим ожиданием  $n_{цв} t_{ц}$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma_{ц} \sqrt{n_{цв}}$ ; соответственно, если переход погрузчика от одного вагона к другому занимает ничтожно малое время по сравнению с продолжительностью разгрузки вагона, продолжительность

разгрузки трёх вагонов будет приближенно распределена по нормальному закону с математическим ожиданием  $3n_{цв}t_{ц}$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma_{ц}\sqrt{3n_{цв}}$ .

Пользуясь терминологией формальной логики [12], первые три из указанных обстоятельств в совокупности можно назвать эффектом конъюнкции, или конъюнктивным эффектом, а коэффициент  $k_{con}$  в формуле (7), который выражает действие этого эффекта, – коэффициентом конъюнктивности.

Перефразируя известную поговорку о скорости каравана верблюдов, суть конъюнктивного эффекта можно коротко выразить, сказав, что интенсивность обработки ТС двумя или несколькими ТЛ определяется по самой «медленной» ТЛ.

С точки зрения теории порядковых статистик, конъюнктивный эффект выражается в том, что средняя продолжительность обработки группы (подачи) вагонов в нашем примере будет равна математическому ожиданию второй порядковой статистики в выборке объема 2 из нормально распределенной генеральной совокупности с математическим ожиданием  $3n_{цв}t_{ц}$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma_{ц}\sqrt{3n_{цв}}$  [13].

Таким образом, средняя продолжительность обработки вагонов двумя погрузчиками (без учета подготовительных и заключительных операций) будет равна [14]

$$t_{гр}(2) = e_2\sigma_{ц}\sqrt{3n_{цв}} + 3n_{цв}t_{ц} = 3n_{цв}t_{ц} \left( 1 + \frac{e_2v_{ц}}{\sqrt{3n_{цв}}} \right),$$

где  $e_2$  – математическое ожидание наибольшей порядковой статистики в выборке объема 2 из стандартного нормального распределения, а  $v_{ц} = \sigma_{ц}/t_{ц}$  –

коэффициент вариации продолжительности рабочего цикла погрузчика.

Учитывая, что  $n_{цв} = Q_{в}/q_{ц}$  и  $q_{ц}/t_{ц} = P$ , мы можем переписать последнее выражение в виде

$$t_{гр}(2) = \frac{3Q_{в}}{P} \left( 1 + \frac{e_2v_{ц}}{\sqrt{3n_{цв}}} \right)$$

Наконец, поскольку

$$1 + \frac{e_2v_{ц}}{\sqrt{3n_{цв}}} = \frac{1}{1 - \frac{e_2v_{ц}}{e_2v_{ц} + \sqrt{3n_{цв}}}},$$

получим

$$t_{гр}(2) = \frac{3Q_{в}}{P \left( 1 - \frac{e_2v_{ц}}{e_2v_{ц} + \sqrt{3n_{цв}}} \right)}$$

в согласии с формулой (7), если положить в ней, по условию,  $m_{ц} = 6$ ,  $N = 2$ , а коэффициент конъюнктивности

$$k_{con} = \frac{e_2v_{ц}}{e_2v_{ц} + \sqrt{3n_{цв}}} = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{3n_{цв}}}{e_2v_{ц}}}$$

В условиях нашего численного примера в каждом вагоне находится 124 рулона бумаги, и погрузчики выгружают по одному рулону за один рабочий цикл. Поэтому  $n_{цв} = 124$ . Пусть коэффициент вариации  $v_{ц}$  продолжительности рабочего цикла погрузчика равен 0,8. Тогда, определив по табл. 2 [15, с. 91], что  $e_2 = 0,56419$ , получим  $k_{con} = 0,023$  и, по формуле (7),  $t_{гр}(2) = 399$  (мин.).

Таблица 2

**Математическое ожидание наибольших порядковых статистик в выборках из стандартного нормального распределения**

Объем выборки (число ТЛ) $N$	$e_N$
2	0,564190
3	0,846284
4	1,029375
5	1,162964
6	1,267206

Вернемся к нашему примеру и увеличим число ТЛ (погрузчиков) до трёх. Тогда при равном распределении объема работ между ТЛ (по два вагона) средняя продолжительность обработки подачи из шести вагонов будет равна математическому ожиданию третьей порядковой статистики в выборке объема 3 из нормально распределенной генеральной совокупности с математическим ожиданием  $2n_{цв}t_{ц}$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma_{ц}\sqrt{2n_{цв}}$ :

$$t_{гр}(3) = e_3\sigma_{ц}\sqrt{2n_{цв}} + 2n_{цв}t_{ц} = \frac{2Q_B}{P(1 - k_{con})},$$

где  $e_3$  – математическое ожидание наибольшей порядковой статистики в выборке объема 3 из стандартного нормального распределения (табл. 2), а коэффициент конъюнктивности равен

$$k_{con} = \frac{e_3 v_{ц}}{e_3 v_{ц} + \sqrt{2n_{цв}}} = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{2n_{цв}}}{e_3 v_{ц}}}$$

Итак, если объем работ равномерно распределен между ТЛ и оперативные зоны ТЛ нигде не пересекаются друг с другом, зависимость интенсивности грузовой обработки ТС от задействованного числа  $N$  технологических линий (ПТМ) будет выражаться формулой (1), в которой коэффициент  $k$  будет иметь смысл коэффициента конъюнктивности

$$k_{con} = \frac{1}{1 + \frac{\varphi}{e_N \sqrt{N}}}, \tag{8}$$

а эффективная концентрация ТЛ и средняя продолжительность грузовой обработки ТС (без учета подготовительных и заключительных операций) будут определяться следующими выражениями:

$$N_{эф} = \frac{\varphi N}{\varphi + e_N \sqrt{N}} \tag{9}$$

$$t_{гр} = e_N \sigma_{ц} \sqrt{\frac{R_{ц}}{N}} + \frac{R_{ц} t_{ц}}{N} = \frac{Q_{тс}}{NP(1 - k_{con})}. \tag{10}$$

Здесь  $e_N$  – математическое ожидание наибольшей порядковой статистики в выборке объема  $N$  из стандартного нормального распределения (табл. 2),  $t_{ц}$  – средняя продолжительность одного рабочего цикла ПТМ,  $\sigma_{ц}$  – среднее квадратическое отклонение продолжительности рабочего цикла ПТМ,  $Q_{тс}$  – количество груза, которое требуется погрузить в ТС (выгрузить из ТС),  $R_{ц} = Q_{тс}/q_{ц}$  – общее число рабочих циклов (подъемов), которое необходимо выполнить для полной загрузки или разгрузки ТС, а величина  $\varphi$  определяется по формуле

$$\varphi = \frac{\sqrt{R_{ц}}}{v_{ц}}, \tag{11}$$

где  $v_{ц} = \sigma_{ц}/t_{ц}$  – коэффициент вариации продолжительности рабочего цикла перегрузочной машины.

Приведенные выше формулы, напомним, будут справедливы при условии, что отношение  $R_{ц}/N$  (т. е. число рабочих циклов (подъемов), приходящееся на одну ТЛ) достаточно велико для того, чтобы время работы каждой ТЛ на обработке ТС можно было считать приближенно распределенным по нормальному закону.

Зависимость коэффициента конъюнктивности  $k_{con}$  от числа ТЛ, участвующих в обработке ТС, при разных значениях  $\varphi$  изображена графически на рис. 3.

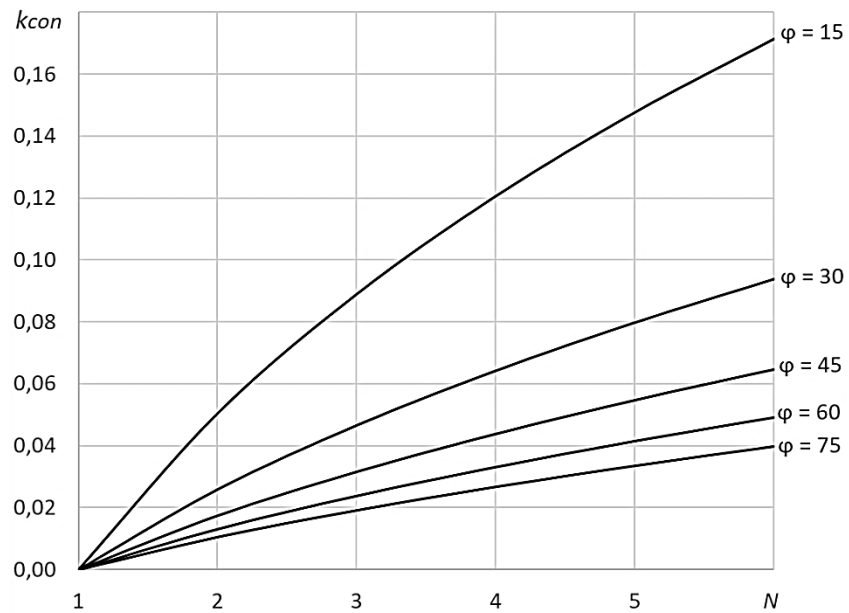


Рис. 3. Зависимость коэффициента конъюнктивности от числа ТЛ, участвующих в обработке ТС (оперативные зоны ТЛ не пересекаются друг с другом)

Как видно из рисунка, при любом  $N$  коэффициент конъюнктивности будет тем больше, чем меньше величина  $\varphi$ . Согласно (11), это означает, что конъюнктивный эффект будет проявляться тем сильнее, чем больший коэффициент вариации  $v_{ц}$  продолжительности рабочего цикла имеют ПТМ в ходе обработки ТС. Другими

словами, коэффициент  $k_{con}$  будет тем больше, чем более случайной, непостоянной величиной является продолжительность рабочего цикла при обработке ТС. Подставив формулу (11) в формулу (8), легко видеть, что при  $v_{ц} = 0$ , т. е. при строго постоянной, неслучайной продолжительности рабочего цикла, коэффициент конъюнктивности обращается в ноль. Однако очевидно, что в действительности это практически невыполнимо, так как даже в случае полной автоматизации, когда перегрузочной машиной управляет не человек, а компьютер, величина  $v_{ц}$  и, соответственно, коэффициент  $k_{con}$  не могут быть полностью сведены к нулю.

Другой величиной, которая существенно влияет на коэффициент конъюнктивности, является величина  $R_{ц}$ . Чем больше эта величина, тем меньше, согласно (8) и (11), будет величина  $k_{con}$ . Отсюда следует, что при прочих равных условиях эффект конъюнктивности будет проявляться сильнее при обработке небольших ТС (малой грузоподъемности).

Нетрудно убедиться в том, что, согласно (9), при любом значении  $\varphi$  величина  $N_{эф}$  возрастает с увеличением числа ТЛ таким образом, что каждая дополнительная ТЛ даёт всё меньший и меньший прирост интенсивности обработки ТС.

### **Кумулятивное действие конъюнктивного эффекта при многоэтапной обработке ТС**

В примере, рассмотренном в предыдущем разделе, ТЛ (погрузчики), задействованные на обработке ТС, работают независимо друг от друга в непрерывном, безостановочном режиме. Однако весьма часто процесс обработки ТС разбивается на несколько этапов с прерыванием работы всех ТЛ в промежутках между этапами для «перенастройки» производственного процесса (для перестановки ТЛ между трюмами, для передвижки вагонов вдоль грузового фронта и т. п.).

При такой организации грузовых работ влияние конъюнктивного эффекта на продолжительность (и, соответственно, интенсивность) обработки ТС усиливается с каждым новым этапом обработки. Чтобы продемонстрировать это, рассмотрим условный пример, изображенный на рис. 4.

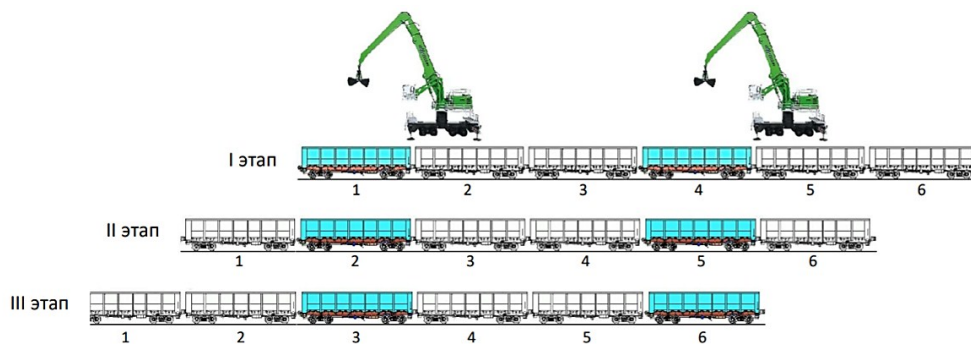


Рис. 4. Пример многоэтапного процесса обработки ТС двумя ТЛ (перегрузочными машинами)

В указанном примере процесс обработки ТС (группы (подачи) из шести вагонов) разбивается на три этапа. На первом этапе две ТЛ (два перегружателя), работая параллельно, разгружают вагоны с номерами 1 и 4. После этого производится передвижка вагонов, и на втором этапе разгружаются вагоны с номерами 2 и 5. Наконец, после еще одной передвижки вагонов на третьем этапе разгружаются вагоны с номерами 3 и 6.

Заметим, что ТЛ могут начинать следующий этап обработки вагонов только одновременно. В этом смысле имеет место строгая координация работы ТЛ.

Обозначим через  $S$  число этапов, на которое разбивается процесс обработки ТС. Тогда, если продолжительность вспомогательных операций в рамках каждого отдельного этапа пренебрежимо мала по сравнению с продолжительностью самого этапа, согласно изложенному в предыдущем разделе, средняя продолжительность одного этапа обработки вагонов в нашем примере может быть найдена по формуле

$$t_{\text{эт}} = \frac{Q_{\text{ТС}}}{NPS(1 - k_{\text{con}}^s)}, \quad (12)$$

при  $N = 2, S = 3$  и

$$k_{\text{con}}^s = \frac{1}{1 + \frac{\varphi_s}{e_N \sqrt{N}}},$$

где

$$\varphi_s = \frac{1}{v_{\text{ц}}} \sqrt{\frac{R_{\text{ц}}}{S}}.$$

Средняя продолжительность обработки всей подачи вагонов (без учета подготовительных и заключительных операций) будет равна

$$t_{\text{гр}} = St_{\text{эт}} + (S - 1)t_{\text{пер}} = St_{\text{эт}} \left( 1 + \frac{(S - 1)t_{\text{пер}}}{St_{\text{эт}}} \right),$$

где  $t_{\text{пер}}$  – средняя продолжительность технологического перерыва между двумя последовательными этапами обработки ТС (в нашем примере она равна среднему времени, которое затрачивается на одну передвижку вагонов).

Подставив формулу (12) в последнее выражение и введя обозначение  $\vartheta = t_{\text{пер}}/t_{\text{эт}}$ , получим

$$t_{\text{гр}} = \frac{Q_{\text{ТС}} \left( 1 + \vartheta \frac{(S - 1)}{S} \right)}{NP(1 - k_{\text{con}}^s)}.$$

Наконец, после несложных преобразований мы можем написать:

$$t_{\text{гр}} = \frac{Q_{\text{ТС}}}{NP(1 - k_{\text{con}}^s)(1 - k_s)}. \quad (13)$$

Здесь  $k_{\text{con}}^s$  – коэффициент конъюнктивности на одном этапе обработки ТС, а величина  $k_s$  определяется по формуле

$$k_s = \frac{\vartheta(S - 1)}{S + \vartheta(S - 1)}.$$

Величина  $k_s$  будет тем больше, чем большее число  $S$  этапов имеет процесс обработки ТС и чем больше относительная продолжительность  $\vartheta$  перерывов между этапами, а при  $S$ , равном 1,  $k_s$  обращается в ноль. Поэтому эту величину можно назвать коэффициентом прерывности обработки ТС.

Таким образом, мы приходим к выводу, что при многоэтапной обработке ТС со строгой координацией работы ТЛ на продолжительность обработки ТС оказывают



влияние два эффекта: 1) конъюнктивный эффект на каждом этапе обработки и 2) эффект прерывания работы ТЛ при переходе от одного этапа к другому. Действие первого эффекта выражается коэффициентом  $k_{con}^s$ , а действие второго эффекта – коэффициентом  $k_s$ .

Рассматривая оба указанных эффекта в совокупности как кумулятивный конъюнктивный эффект, мы можем переписать выражение (13) в следующем виде:

$$t_{гр} = \frac{Q_{тс}}{NP(1 - k_{con}^{cum})},$$

где  $k_{con}^{cum}$  – кумулятивный коэффициент конъюнктивности, определяемый по формуле

$$k_{con}^{cum} = k_{con}^s + k_s - k_{con}^s k_s. \quad (14)$$

Соответственно, интенсивность грузовой обработки ТС будет равна

$$M = Q_{тс}/t_{гр} = NP(1 - k_{con}^{cum})$$

в полном согласии с формулой (1) при  $k = k_{con}^{cum}$ .

Заметим, что случай  $S = 1$  соответствует тому, что ТЛ, участвующие в обработке ТС, работают в непрерывном, безостановочном режиме независимо друг от друга. Нетрудно убедиться, что в этом случае  $k_{con}^{cum} = k_{con}^s$ , т. е. мы получаем простой конъюнктивный эффект, рассмотренный нами в предыдущем разделе.

Из полученных нами формул следует, что при многоэтапной обработке ТС строгой координацией работы ТЛ (т. е. при  $S \geq 2$ ) интенсивность обработки ТС при любом заданном  $N$  будет всегда ниже, чем при  $S = 1$ , причем тем ниже, чем больше  $S$ . Согласно (14), это обуславливается не только ростом коэффициента прерывности  $k_s$ , но и тем, что коэффициент конъюнктивности  $k_{con}^s$  возрастает с каждым новым этапом обработки ТС. Отсюда следует заключить, что при организации грузовой обработки ТС следует по возможности разбивать процесс обработки на минимальное количество этапов, если при этом все ТЛ должны начинать каждый этап одновременно.

### **Заключение**

В основе решения многих задач планирования производственной деятельности морских и речных портов лежит вопрос о том, каким образом интенсивность грузовой обработки транспортных средств (судов, ж.-д. вагонов, автомашин) зависит от задействованного числа (концентрации) технологических (механизированных) линий (ТЛ).

Опыт показывает, что указанная зависимость отнюдь не линейна, как может показаться на первый взгляд, а носит более сложный характер. В согласии с универсальным законом убывающей предельной производительности факторов производства предельная интенсивность обработки ТС (т. е. прирост интенсивности обработки при добавлении одной дополнительной ТЛ) убывает с увеличением задействованного числа ТЛ. Другими словами, каждая дополнительная ТЛ даёт всё меньший и меньший прирост интенсивности обработки ТС.

Не найдя удовлетворительного теоретического объяснения в специальной литературе, в настоящей статье автор предпринял самостоятельную попытку выяснить причины указанной закономерности.

Исследование приводит к выводу, что снижение предельной интенсивности обработки ТС с увеличением концентрации ТЛ может быть обусловлено действием двух эффектов: 1) эффекта интерференции (взаимных помех) и 2) эффекта конъюнктивности. Оба эффекта обязаны своим происхождением тому

обстоятельству, что грузовая обработка ТС представляет собой не детерминированный, а случайный (стохастический) процесс. В статье было дано подробное объяснение каждого из эффектов.

Исследование показывает, что в общем случае зависимость интенсивности  $M(N)$  грузовой обработки ТС от концентрации ТЛ (без учета подготовительных, заключительных и вспомогательных операций) может быть записана в виде

$$M(N) = NP(1 - k),$$

где  $N$  – число ТЛ, участвующих в обработке ТС,  $P$  – производительность ТЛ, а  $k < 1$  – коэффициент, величина которого возрастает с увеличением  $N$ .

В статье было показано, что коэффициент  $k$  в приведенной выше формуле имеет смысл коэффициента интерференции  $k_{int}$  или коэффициента конъюнктивности  $k_{con}$  в зависимости от того, какой из эффектов имеет место при обработке ТС, а в случае многоэтапной обработки ТС с координацией работы ТЛ коэффициент  $k$  следует интерпретировать как кумулятивный коэффициент конъюнктивности  $k_{con}^{cum}$ .

С помощью математического аппарата теории массового обслуживания и теории порядковых статистик в статье были выведены формулы для определения коэффициентов  $k_{int}$ ,  $k_{con}$  и  $k_{con}^{cum}$  в зависимости от числа ТЛ, участвующих в обработке ТС. На основании полученных формул были даны численные оценки коэффициентов и было показано, что их величина возрастает с увеличением  $N$  таким образом, что каждая дополнительная ТЛ даёт всё меньший и меньший прирост интенсивности обработки ТС.

Поскольку грузовая обработка ТС представляет собой не детерминированный, а стохастический процесс, все выводы и оценки, полученные в статье, справедливы только при массовой обработке большого числа ТС, т. е. могут иметь значение прежде всего при среднесрочном и долгосрочном планировании производственной деятельности портов и других транспортных терминалов.

#### Список литературы

1. Пиндайк Р., Рабинфельд Д. Микроэкономика. / Пер. с англ. –СПб.: Питер, 2002.–608 с.
2. Макконнелл К. Р., Брю С. Л. Экономикс: принципы, проблемы и политика: Пер. с 14-го англ. изд. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 972 с.
3. Ветренко Л. Д., Ананьина В. З., Степанец А. В. Организация и технология перегрузочных процессов в морских портах. – М.: Транспорт, 1989. – 270 с.
4. Руководство по проектированию речных портов. Минречфлот РСФСР – М.: Транспорт, 1985. – 143 с.
5. Нормы технологического проектирования морских портов. Свод правил. СП 350.1326000.2018. – М.: Минтранс России, Стандартинформ, 2018. – 217 с.
6. Port Engineering, Planning, Construction, Maintenance, and Security. Edited by Gregory P. Tsinker. John Wiley & Sons, Inc. 2004. 881 p.
7. Приказ МПС РФ от 10.11.2003 г. № 70 «О методике по разработке и определению технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов».
8. Инструкция по типовым способам и приемам погрузочно-разгрузочных работ при загрузке-разгрузке крытых вагонов. РД 31.41.07-82. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1983. – 84 с.
9. Лабскер Л. Г., Бабешко Л. О. Теория массового обслуживания в экономической сфере. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 319 с.
10. Приказ МПС РФ от 29.09.2003 г. № 67 «Об утверждении Порядка разработки и определения технологических сроков оборота вагонов и технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов».
11. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.

12. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. / Пер. с англ. – М.: Наука, 1971. – 320 с.
13. David H. A., Nagaraja H. N. Order statistics. Third edition. A John Wiley & Sons, Inc. 2003. 458 p.
14. Боярский Э. А. Порядковые статистики. – М.: Статистика, 1972. – 120 с.
15. Arnold, B. C., Balakrishnan, N., Nagaraja, H. N. A First Course in Order Statistics. Society for Industrial and Applied Mathematics. 2008. 279 p.

#### References

1. Pindyck R., Rubinfeld D. Microeconomics. St. Petersburg, Piter Publ., 2002. 608 p. (in Russ.)
2. McConnell C. R., Brue S. L. Economics: Principles, Problems, and Policies. Moscow, INFRA-M Publ., 2003. 972 p. (in Russ.)
3. Vetrov L. D., Anan'ina V. Z., Stepanets A. V. Organizatsiya i tekhnologiya peregruzochnykh protsessov v morskikh portakh [Organization and technology of cargo handling operations in sea ports]. Moscow, Transport Publ., 1989. 270 p. (in Russ.)
4. Rukovodstvo po proektirovaniyu rechnykh portov [The Guidelines for the design of river ports]. Moscow, Transport Publ., 1985. 143 p. (in Russ.)
5. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya morskikh portov. Svod pravil. SP 350.1326000.2018. [The Guidelines for the technological design of sea ports. Rule book No. CII 350.1326000.2018]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 217 p. (in Russ.)
6. Port Engineering. Planning, Construction, Maintenance, and Security. Edited by Gregory P. Tsinker. John Wiley & Sons, Inc. 2004. 881 p.
7. O metodike po razrabotke i opredeleniyu tekhnologicheskikh norm pogruzki gruzov v vagony i vygruzki gruzov iz vagonov [The guidelines for the calculation of the standard amount of time allowed for (un)loading of cargo (from) into railroad cars]. Order of the Ministry of Railways of the Russian Federation No. 70 dated 10.11.2003. (in Russ.)
8. Instruktsiya po tipovym sposobam i priemam pogruzochno-razgruzochnykh rabot pri zagruz-ke-razgruzke krytykh vagonov. RD 31.41.07-82 [Manual on loading and unloading of railroad boxcars. Guidance document No. PД 31.41.07-82]. Moscow. Mortechnikinformreklama Publ. 1983. 84 p. (in Russ.)
9. Labsker L. G., Babeshko L. O. Teoriya massovogo obsluzhivaniya v ehkonomicheskoi sfere [Queueing theory with applications]. Moscow, YUNITI Publ., 1998. 319 p. (in Russ.)
10. Ob utverzhdenii Poryadka razrabotki i opredeleniya tekhnologicheskikh srokov oborota vagonov i tekhnologicheskikh norm pogruzki gruzov v vagony i vygruzki gruzov iz vagonov [The guidelines for the determination of the standard turnaround time of railroad cars at railroad terminals]. Order of the Ministry of Railways of the Russian Federation No. 67 dated 29.09.2003. (in Russ.)
11. Venttsel' E. S., Ovcharov L. A. Teoriya veroyatnostei i ee inzhenernye prilozheniya [Probability theory with applications in engineering]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 480 p. (in Russ.)
12. Mendelson E. Introduction to mathematical logic. Moscow, Nauka Publ. 1971. 320 p. (in Russ.)
13. David H. A., Nagaraja H. N. Order statistics. Third edition. John Wiley & Sons, Inc. 2003. 458 p.
14. Boyarskii E. H. A. Poryadkovye statistiki [Order statistics]. Moscow, Statistika Publ., 1972. 120 p. (in Russ.)
15. Arnold, B. C., Balakrishnan, N., Nagaraja, H. N. A First Course in Order Statistics. Society for Industrial and Applied Mathematics. 2008. 279 p.

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

**Фунтусов Анатолий Анатольевич,**

к. т. н., доцент кафедры управления морским транспортом, Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского (ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского»), 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, e-mail: ilim81@yandex.ru

**Anatoly A. Funtusov,**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Maritime Management Department, Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy, 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, e-mail: ilim81@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 14.02.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 14.02.2022; published online 21.03.2022.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА,  
СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ СУДОХОДСТВА**

**OPERATION OF WATER TRANSPORT,  
NAVIGATION AND SAFETY OF NAVIGATION**

УДК 656.62; 629.122

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.241>

**Проблемы и методы обновления речных судов**

**В.Ю. Корьев<sup>1</sup>**

**М.В. Никулина<sup>2</sup>**

<https://orcid.org/0000-0002-8973-4101>

**Ю.И. Платов<sup>2</sup>**

**И.В. Уставщиков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Общество с ограниченной ответственностью «ТК ЯРБУНКЕР»*

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

**Аннотация.** Статья посвящена актуальным проблемам обновления флота в условиях существующей модели экономики. Констатируется явная тенденция убыли речных транспортных судов. Одними из главных и очевидных причин являются диспаритет стоимости новых судов, заемных средств, уровня фрахтовых ставок, эксплуатационных расходов и отсутствие даже у крупных судоходных предприятий собственных средств для воспроизводства основных фондов в требуемом для этого объёме. Приводятся показатели экономической эффективности новых и возрастных судов при различных условиях эксплуатации. Показывается, что проблема обновления флота в целом, и особенно – на внутренних грузовых перевозках, не может быть решена только действующим льготированием покупки новых судов и модернизацией возрастного флота и является проблемой, требующей кардинального решения на государственном уровне с привлечением специалистов проектных и научно-исследовательских центров и институтов.

В связи с этим предлагаются направления, предусматривающие поэтапные подходы к решению проблемы обновления флота.

**Ключевые слова:** стратегия обновления флота, модернизация и ремонт, эффективность судов, методы внешнего и внутреннего проектирования

**Problems and methods of updating river vessels**

**Vadim I. Koryev<sup>1</sup>**

**Marina V. Nikulina<sup>2</sup>**

<https://orcid.org/0000-0002-8973-4101>

**Juri I. Platov<sup>2</sup>**

**Ivan V. Ustavshchikov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Yarbunker, Russia*

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

**Abstract.** The article is devoted to the actual problems of fleet renewal in the conditions of the existing economic model. A clear trend of decline of river transport vessels is stated. One of the main and obvious reasons is the disparity in the cost of new ships, borrowed funds, the level of freight rates, operating costs, and the lack of own funds even for large shipping companies to reproduce fixed assets in the required volume. The indicators of economic efficiency of new and old ships under different operating conditions are given. It is shown that the problem of updating the fleet as a whole, and especially in domestic cargo transportation, cannot be solved only by the current incentives for the purchase of new ships and the modernization of the age fleet and is a problem that requires a radical solution at the state level with the involvement of design and scientific specialists, research centers and institutes.

In this regard, directions are proposed that provide step-by-step approaches to solving the problem of fleet renewal.

**Keywords:** fleet renewal strategy, modernization and repair, ship efficiency, external and internal design methods

### **Актуальность**

В «Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года» [1] отмечаются резкое падение доли внутреннего водного транспорта в Российской Федерации в общем объеме перевозок грузов и грузообороте всех видов транспорта и существенное снижение его конкурентоспособности. Среди основных факторов сложившегося положения называется высокий износ речного транспортного флота, в связи с чем заявляется необходимость принятия эффективных управленческих решений по его обновлению и модернизации и предлагаются масштабные мероприятия по реализации этих решений, призванные повысить эффективность использования внутреннего водного транспорта.

Ситуация, складывающаяся на практике в реальности, менее оптимистична. Исходя из статистики строительства новых и списания старых судов, приведенной в материалах морского инженерного бюро [2], можно сделать вывод, что, за исключением периода 2005-2008 годов, темпы списания старых судов в период с 2000 по 2021 годы в среднем намного превышают темпы строительства новых судов. Такие же тенденции приведены в работе [3] применительно к судам, зарегистрированным в Российском Международном реестре судов.

Очевидных причин неудовлетворительных темпов обновления речного флота много. Одна из главных причин – сложившееся рыночное соотношение стоимости новых судов, фрахтовых ставок, эксплуатационных расходов, стоимости заемных средств, а также отсутствие даже у крупных судоходных предприятий (СП) собственных средств. Амортизацию как источник средств для воспроизводства основных фондов в рассмотрение можно не принимать, так как она уже утратила свое значение вследствие устаревания эксплуатируемых судов и их относительно низкой балансовой стоимости, а также ее обесценивания в течение жизненного цикла судна. Существенное влияние оказали такие факторы, как снижение объемов производства и потребления промышленной и сельскохозяйственной продукции в 90-е годы XX века, разрушение традиционных транспортных схем доставки грузов речным транспортом, а также возникновение серьезной конкуренции со стороны железнодорожного и автомобильного видов транспорта [1]. В результате в большинстве случаев при перевозке грузов на конкурентных направлениях новые суда не окупаются даже при наличии у СП собственных средств. А использование заёмных средств доступно далеко не всем СП из-за высокой стоимости долгосрочных кредитов.

### Проблемы

В работе [4], выполненной при научном руководстве одного из авторов настоящей статьи, показано, что обновление флота возможно только при уровне кредитных ставок ниже 5%, что несопоставимо с действующими ставками. Снижение кредитных ставок существенно повышает эффективность новых судов и конкурентоспособность речных перевозок вследствие уменьшения оборотных средств, отвлекаемых при транспортировке грузов (так называемого связанного капитала) [5].

Введение в действие льгот на строительство, приобретение и эксплуатацию судов [6] отчасти дает возможность для некоторых грузовых перевозок решать проблему окупаемости и эффективности судов при их круглогодичной эксплуатации [7]. В рамках этих перевозок осваиваются, как правило, экспортные грузопотоки, связанные с высоко тарифицированными грузами, как наливными (нефть и нефтепродукты), так и некоторыми сухогрузными (зерно и другие сельхозпродукты, лесные и пр.). При этом чаще всего новые суда работают в навигационный период из внутренних портов напрямую или через накопители в устьевых портах, а в межнавигационный период – на морских перевозках.

Эти выводы подтверждаются показателями эффективности танкеров проекта RST27 на перевозках нефтепродуктов, полученными для разных сроков навигации (рабочего периода) и при разных уровнях рентабельности, рассчитанной как отношение валовой прибыли к эксплуатационным расходам. Информация по ним приведена в табл. 1. Как видно из представленных данных, с учетом действующих льгот, определенный уровень эффекта и окупаемость обеспечиваются как при наличии собственных средств, так и при кредитовании, но только при высоких уровнях рентабельности и продолжительном рабочем периоде.

Таблица 1

**Показатели эффективности танкера проекта RST27 на перевозках нефтепродуктов**

Рабочий период, сут.	Рентабельность, %	Экономический эффект, млн. руб.		Срок окупаемости, лет			Внутренняя норма рентабельности, %
		в случае собственных средств	в случае заемных средств	номинальный	дисконтированный	в случае заемных средств	
340	83,5	622,1	577,1	6,2	8,3	8,9	18,8
	50,0	162,1	114,5	8,8	15,2	17,8	11,6
	38,2	0,0	-	10,4	25,7	-	8,9
220	88,1	161,5	113,9	8,8	15,1	17,8	11,6
	80,0	90,8	-	9,4	18,7	-	10,4
	69,6	0,0	-	10,4	25,7	-	8,9

В сложившихся экономических условиях многие СП, не имея возможности приобретения новых судов, осуществляют обновление флота путем купли на рынке судов, пригодных к эксплуатации, или модернизации (реновации, капитального ремонта) имеющихся на балансе собственных судов [8,9,10,11].

При этом возникают первоначальные разовые затраты, связанные либо с покупкой судна, либо с обновлением оборудования и механизмов, корпуса (ликвидацией зон значительной коррозии, окраски балластных танков и т.д.). В дальнейшем затраты по поддержанию судна в рабочем состоянии осуществляются в соответствии с существующими правилами и требованиями [9,10]. Причём, эти затраты по новым и возрастным судам, чей срок эксплуатации уже давно вышел за пределы нормативного периода (условно будем называть такие суда старыми), заметно отличаются только в отдельные годы, что иллюстрируется на примере танкеров проектов RST27 и 1577 в течение их жизненного цикла (рис.1, табл. 2). Существенные различия, да и то только в первой половине жизненного цикла, наблюдаются во время освидетельствования и ремонта судов, что незначительно влияет на эффективность их использования.

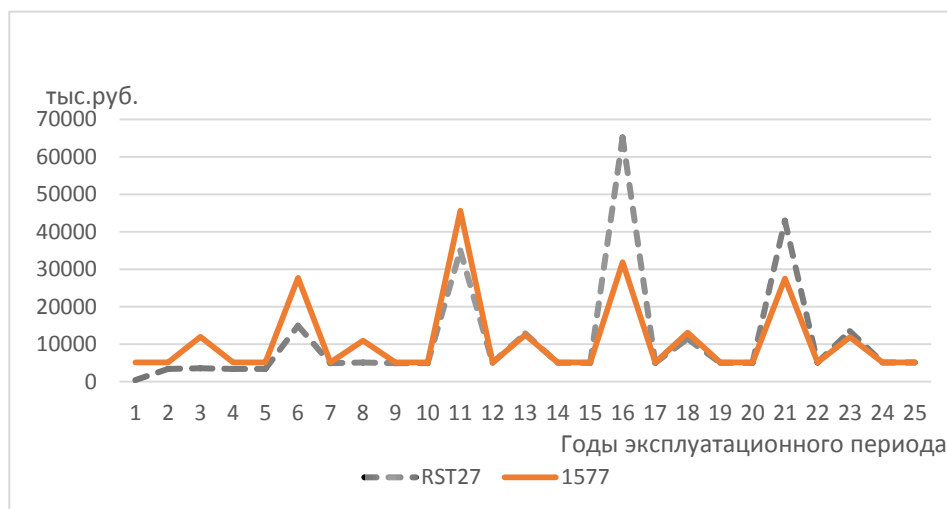


Рис. 1. Затраты на ремонт по танкерам проектов RST27 и 1577 в течение жизненного цикла

Таблица 2

**Продолжительность проведения освидетельствований и ремонтов, сут.**

Проект	Годы проведения освидетельствований и ремонтов								
	3	6	8	11	13	16	18	21	23
RST27	2	35	2	50	25	60	35	60	35
1577	35	60	35	60	35	60	35	60	35

Поэтому при сравнительно низких первоначальных затратах старые суда также обеспечивают эффективность, но существенно более низкую, чем у новых судов, и только при высоком уровне рентабельности и длительном рабочем периоде (табл. 3).



При определении эффектов для старых судов были учтены риски снижения качества перевозок грузов [12].

Таблица 3

**Показатели эффективности танкера проекта 1577 на перевозках нефтепродуктов**

Рабочий период, сут.	Рентабельность, %	Экономический эффект, млн. руб.		Срок окупаемости, лет			Внутренняя норма рентабельности, %
		в случае собственных средств	в случае заемных средств	номинальный	дисконтированный	в случае заемных средств	
340	76,7	331,1	263,3	4,2	5,1	7,1	32,0
	50,0	132,5	-	5,7	8,9	-	20,1
	32,2	0,0	-	9,1	25,8	-	11,9
220	83,2	107,6	-	6,0	9,8	-	18,6
	75,0	68,9	-	7,3	12,6	-	16,2
	60,3	0,0	-	9,1	25,8	-	11,9

Анализируя данные табл. 1, 3, можно сделать вывод о том, что на современном этапе ценовые параметры, определяющие эффективность судов, практически не позволяют на уровне СП решать проблему, связанную с обновлением речных судов, используемых на внутренних перевозках всех грузов, как правило, низко тарифицированных и потому не обеспечивающих приемлемую рентабельность и окупаемость. Повлиять на эффективность судов в условиях современной модели экономики СП самостоятельно не могут, за исключением отдельных СП, практикующих оптимизацию расходов по горюче-смазочным материалам и других статей расходов [13].

Все вышесказанное указывает на то, что проблема обновления судов внутреннего водного транспорта может быть решена только на государственном уровне путем кардинального изменения механизма функционирования экономики, и авторы статьи не берут на себя смелость давать конструктивные предложения по ее решению.

Второй, менее значимой и очевидной, но влияющей на конкурентоспособность речного транспорта, является актуальная проблема технико-экономического обоснования (ТЭО) обновления транспортных судов, отмечавшаяся и ранее [11,14].

В советский период ТЭО являлось государственной задачей и предметом пристального изучения научно-исследовательскими и проектными организациями с привлечением учёных и специалистов отрасли. Эти обоснования были обязательными и осуществлялись системно, исходя из целей и экономических критериев и методических положений того времени [15,16].

В кратком изложении, схема обоснования реализовывалась при решении задач внешнего и внутреннего проектирования. Задачи внешнего проектирования являлись в большей степени исследовательскими и были направлены на определение значимых

характеристик судов [4,15,16,17,18]. Результаты исследований являлись базой для подготовки заданий на разработку проектов судов, то есть, внутреннего проектирования, методы которого принципиально не изменились и в настоящее время.

Аналогичные задачи на ранней стадии проектирования судов решаются и за рубежом [19,20,21,22,23,24,25,26,27,28].

Конечной целью внешнего и внутреннего проектирования являлась разработка сетки типов судов и плана обновления флота для каждого бассейна и парохозяйства. Сетка разрабатывалась на уровне отрасли, исходя из потребностей в перевозках грузов, возраста судов и наличия бюджетных средств. Такая типизация флота наиболее полно отвечала условиям эксплуатации и удовлетворению потребностей в перевозках грузов, а также и эффективности транспортной работы при плановой модели экономики.

В рыночных условиях решение задач внешнего проектирования не является обязательной процедурой и экономическое обоснование обновления судов является внутренней проблемой каждого отдельного СП. При этом отсутствует методологическая база ТЭО замены судов, адекватная современным экономическим условиям.

В то же время, вопросы обоснования параметров судов являются более важными и актуальными, чем даже в советский период. Возрастание их актуальности является следствием относительно и абсолютно возросшей стоимости судов и неуклонного роста расходов на горюче-смазочные материалы, а также и других прямых эксплуатационных затрат. Эти расходы должны компенсироваться повышением фрахтовых ставок. Однако, рост последних весьма ограничен серьезной конкуренцией со стороны других видов транспорта и целым рядом других причин. При этом опять-таки необходимо учитывать недостаток собственных средств СП, высокую стоимость кредитов, капиталоемкость судов и длительные сроки их окупаемости. По этим причинам процессы обновления флота на речном транспорте значительно замедлились, а для некоторых СП и внутренних перевозок сухогрузов прекратились вовсе.

В целом можно утверждать, что рассмотренные выше проблемы существенно снижают эффективность и конкурентоспособность речного транспорта.

### **Обсуждение**

Разрешение проблемы обновления флота, кроме урегулирования на государственном уровне, лежит в плоскости создания методов решения задач, во-первых, внешнего проектирования, а во-вторых, разработки оптимальной стратегии замены флота, адекватной современным условиям. Эта стратегия в рыночных условиях в каком-то смысле могла бы стать альтернативой созданию сетки типов судов и централизованного формирования планов обновления флота. По нашему мнению, создание методологий внешнего проектирования и разработки названной стратегии является важным фактором, который сможет существенно повлиять на эффективность эксплуатации судов новых типов. К сожалению, исследования подобного рода проводятся не регулярно и только по инициативе отдельных специалистов и соискателей ученых степеней, а не исходя из потребностей СП.

На первом этапе, на уровне внешнего проектирования, необходимо создать методы оптимизации взаимосвязанных параметров отдельного судна и на их основе определять степень влияния параметров на стоимость судна и эффективность его использования при разных условиях эксплуатации. К этим параметрам относятся: скорость, мощность, расход топлива, грузоподъемность, характеристики корпуса

(главные размерения, полнота водоизмещения), условия плавания и др. В этом направлении заслуживают внимание исследования [29,30,31], выполненные на стыке внешнего и внутреннего проектирования в полном соответствии с задачами, поставленными в [1]. В них, помимо оптимизации взаимосвязанных параметров судна по критериям экономической эффективности грузовых перевозок, на основе современных информационных технологий разработаны методы определения названных параметров, отчасти повышающие точность методов, применявшихся в советский период при плановой экономике.

Более простым и значительно менее трудоемким является подход, основанный на анализе работы существующих судов [32], наиболее эффективные из которых принимаются в качестве прототипов для постройки новых судов и модернизации существующих. Анализ и выбор судов осуществляется на основе максимизации прибыли, а в качестве критерия используется тайм-чартерный эквивалент или показатель среднесуточной доходности. Однако в этом качестве тайм-чартерный эквивалент не отражает в полной мере эффективность судна, так как существенно зависит от неуправляемых внешних факторов, а именно от конъюнктуры рынка перевозок грузов, в том числе уровня фрахтовых ставок [33,34,35].

На втором этапе, на основе оптимальных параметров судов, осуществляется собственно разработка стратегии замены флота. При этом, если критериями являются оптимизация инвестиций, интегральных затрат или рыночной стоимости, то стратегия должна основываться на отборе судов из множества всех возможных вариантов судов, в том числе существующих и не обязательно самых эффективных. Такая стратегия может быть выработана на основе различных экономико-математических моделей с одновременным учетом амортизации, прибыли СП, заемных средств и инвестиций, необходимых для обновления флота. Такие модели оптимизации обновления флота были предложены ранее в работах [4,36], но, к сожалению, кроме учебного процесса они не получили дальнейшего развития и практического применения.

### **Заключение**

Рассмотренные выше вопросы позволяют сделать вывод о том, что одно только введение в действие льгот [6] на строительство, приобретение и эксплуатацию судов не решает кардинально проблему обновления флота, особенно на внутренних перевозках.

Решение этой проблемы, во-первых, требует определенных затрат на научно-исследовательские изыскания для создания методов внешнего проектирования и моделей разработки стратегий обновления флота с учетом действующей экономической системы хозяйствования. Во-вторых, на наш взгляд, решение проблемы невозможно без кардинального участия государственных структур. В противном случае реализация стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации [1] в части обновления флота может быть поставлена под сомнение.

В современных условиях при реализации стратегий замены флота могут возникать дополнительные трудности. Во-первых, определение прогнозных грузопотоков. Для большинства СП, работающих на рынке перевозок, трудности могут быть вызваны неопределённостью и степенью доступности информации, связанной с прогнозированием грузопотоков, особенно в условиях конкуренции с другими видами транспорта и другими судоходными компаниями. При выборе стратегий обновления флота необходимо учитывать интересы не только судовладельцев, но и грузовладельцев, в части затрат на транспортные услуги с учетом массы грузов, находящихся в процессе обращения, так как право выбора

транспорта, в основном, является прерогативой грузовладельцев, а также территориальных и региональных структур [37,38]. На наш взгляд, в этом направлении также необходимы механизмы регулирования со стороны государства.

Решение названных выше проблем путем реализация предлагаемых в статье направлений с учетом отечественного и зарубежного опыта свидетельствует о существовании невостребованных резервов, способных повысить эффективность стратегии технического перевооружения речного флота и в целом – конкурентоспособность внутреннего водного транспорта, а, следовательно, и эффективность экономики Российской Федерации.

#### Список литературы

1. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 февраля 2016 г. № 327-р. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/8910> (дата обращения 03.01.2022).
2. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Прогноз состава флота судов смешанного «река-море» плавания до 2025 года с определением наиболее востребованных типов судов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. Специальный выпуск 2. С. 169–178. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-S-I-169-1. URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/ksrc/2018/sv2-22.pdf/download/sv2-22.pdf> (дата обращения 03.01.2022).
3. Уртминцев Ю.Н., Замараева К.В. Обновление транспортного флота на внутреннем водном транспорте: состояние, проблемы, перспективы // Вестник ВГАВТ. 2015. № 43. С. 268-273. URL: [http://journal.vsuwt.ru/public/v\\_arc/v43.pdf](http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v43.pdf) (дата обращения 05.01.2022).
4. Самсонов Р.И. Разработка стратегии обновления и использования речного грузового флота: дис. канд. тех. наук. 05.22.19. Н. Новгород, 2004. 104 с.
5. Stock RJ, Lambert MD. Strategic Logistics Management, 4th Edition. McGraw-Hill, New York, 2001. PP. 872.
6. Постановление Правительства РФ от 22 мая 2008 г. N 383 "Об утверждении Правил предоставления субсидий российским организациям на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в российских кредитных организациях и в государственной корпорации развития "ВЭБ.РФ" в 2009 - 2023 годах, а также на уплату лизинговых платежей по договорам лизинга, заключенным в 2009 - 2023 годах с российскими лизинговыми компаниями на приобретение гражданских судов" (с изменениями и дополнениями) URL: <https://base.garant.ru/12160492/> (дата обращения 03.01.2022).
7. Radmilović Z. River-sea shipping – competitiveness of various transport technologies / Z. Radmilović, R. Zobenica, V. Maraš // Journal of Transport Geography. 2011. Vol. 19. – Is. 6. – Pp. 1509-1516. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2011.03.002 URL: [https://www.researchgate.net/publication/241104641\\_River-sea\\_shipping\\_-\\_competitiveness\\_of\\_various\\_transport\\_technologies](https://www.researchgate.net/publication/241104641_River-sea_shipping_-_competitiveness_of_various_transport_technologies) (дата обращения 05.01.2022).
8. Марченко С.С. Возможности повышения конкурентоспособности сухогрузных судов смешанного плавания за счет модернизации флота // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2013. № 3 (22). С. 136–143.
9. Ефремов Н.А. О продлении эксплуатационного ресурса судов внутреннего и смешанного («река – море») плавания. М.: Российский Речной Регистр. 2002. 64 с.
10. Обновление судов внутреннего и смешанного (река – море) плавания. Руководство Р.002-2010. С изменением 1. Москва. Утверждено приказами Российского Речного Регистра от 17.06.2010 № 31-п, от 26.10.2018 № 80-п (Извещение № 1). URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/r-002-2010-1.pdf> (дата обращения 04.01.2022).
11. Кузьмичев И.К., Веселов Г.В., Новиков А.В. Модернизация флота и реконструкция водных путей: зарубежный и отечественный опыт // Великие реки 2019: Материалы

- международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». 2019. URL: [http://vf-река-море.рф/2019/PDF/11\\_14.pdf](http://vf-река-море.рф/2019/PDF/11_14.pdf) (дата обращения 04.01.2022).
12. Viera Bartošová, Peter Majerčák, Dagmar Hrašková. Taking Risk into Account in the Evaluation of Economic Efficiency of Investment Projects: Traditional Methods: Article (International Conference on Applied Economics, ICOAE 2015, 2-4 July 2015, Kazan, Russia). Procedia Economics and Finance 24 (2015) by Elsevier B.V. p. 68-75. URL: [https://www.researchgate.net/publication/283954077\\_Taking\\_Risk\\_into\\_Account\\_in\\_the\\_Evaluation\\_of\\_Economic\\_Efficiency\\_of\\_Investment\\_Projects\\_Traditional\\_Methods](https://www.researchgate.net/publication/283954077_Taking_Risk_into_Account_in_the_Evaluation_of_Economic_Efficiency_of_Investment_Projects_Traditional_Methods) (дата обращения: 09.01.2022).
  13. Christopher M. Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improving Service, 2nd Edition. Financial Times/Prentice Hall, 1999. PP. 288.
  14. Платов Ю.И., Никулина М.В. Основные подходы к обоснованию стратегических планов обновления транспортного флота // Тр.ВГАВТ. 1999. № 287.
  15. Арсеньев С.П. Выбор типов судов транспортного флота // Труды ЦНИЭВТ. М.: Транспорт. 1968. №.50.
  16. Бронников А. В. Выбор критериев для определения элементов транспортных судов в процессе проектирования. В кн.: Общие вопросы проектирования судов (НТО Судпрома). Л.: Судостроение. 1973. № 199. С. 63- 72.
  17. Фомкинский Л.И. Методика тяговых расчётов при обосновании судов речного флота // Труды ЦНИЭВТ. М., 1972. № 86. 185 с.
  18. Сырмай А. Г. Методика обоснования скорости хода и грузоподъемности морских судов. М.: Изд-во АН СССР. 1961.
  19. Papanikolaou A. Ship design - Methodologies of Preliminary Design / A. Papanikolaou. - Heidelberg: Springer, 2014. P. 635. Reference: p. 620-621. ISBN 978-94-017-8750-5. DOI:10.1007/978-94-017-8751-2. URL: [https://www.researchgate.net/publication/265710516\\_Ship\\_Design\\_-\\_Methodologies\\_of\\_Preliminary\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/265710516_Ship_Design_-_Methodologies_of_Preliminary_Design) (дата обращения: 09.01.2022).
  20. Schneekluth, H. Ship design for efficiency and economy. 2nd ed./H. Schneekluth, V. Bertram. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998. P.226. Reference: p. 204-205. ISBN 0 7506 4133 9.
  21. Burger, R. Improving the Predictions of Ship Speed and Fuel Consumption for Heavy Lift Vessels // Master thesis in Marine Technology. Delft: Technische Universiteit Delft, 2017. URL: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:dd79c53c-9e9f-44f9-8d71-f981eba12798> (дата обращения: 08.01.2022).
  22. Hekkenberg, R. G. Inland Ships for Efficient Transport Chains / R. G. Hekkenberg // PhD thesis. Delft: Technische Universiteit Delft, 2013. URL: [https://www.researchgate.net/publication/277964902\\_Inland\\_Ships\\_for\\_Efficient\\_Transport\\_Chains](https://www.researchgate.net/publication/277964902_Inland_Ships_for_Efficient_Transport_Chains) (дата обращения: 08.01.2022).
  23. Janet, Yong What price speed-revisited / Janet Yong, Rod Smith, Linda Hatano, Stuart Hillmansen // Ingenia, 2005. ISSUE 22. pp.46-51 URL: [https://www.researchgate.net/publication/291159843\\_What\\_price\\_speed-revisited](https://www.researchgate.net/publication/291159843_What_price_speed-revisited) (дата обращения: 08.01.2022).
  24. Moody, R. Preliminary power prediction during early design stages of a ship / R. Moody. Cape Town: School of Mechanical and Process Engineering at the Cape Technikon, 1996. P.230.
  25. Andersson H., Fagerholt K., Hobbeslanda K. Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from RoRo shipping // Computers & Operations Research, 2014. №55. P. 233-240. DOI:10.1016/j.cor.2014.03.017 URL: [https://www.researchgate.net/publication/261327407\\_Integrated\\_maritime\\_fleet\\_deployment\\_and\\_speed\\_optimization\\_Case\\_study\\_from\\_RoRo\\_shipping](https://www.researchgate.net/publication/261327407_Integrated_maritime_fleet_deployment_and_speed_optimization_Case_study_from_RoRo_shipping) (дата обращения: 08.01.2022).
  26. Traung J.O. New Possibilities for Improvement in the Design of Fishing Vessels / J.O. Traung, D.J. Doust, J.G. Hayes // Fishing Boats of the World. 1967. P. 139.
  27. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A.: Ship Resistance and Propulsion Practical Estimation of Ship Propulsive Power. Cambridge University Press, 2011. DOI: 10.1017/CBO9780511974113. URL:

- [https://www.researchgate.net/publication/264929515\\_Ship\\_resistance\\_and\\_propulsion\\_Practical\\_estimation\\_of\\_ship\\_propulsive\\_power](https://www.researchgate.net/publication/264929515_Ship_resistance_and_propulsion_Practical_estimation_of_ship_propulsive_power) (дата обращения: 08.01.2022)
28. Barras C.B. Ship design and performance for masters and mates / С. В. Barras. – Oxford: Elsevier, 2004. P. 265. Reference: p. 241-242. ISBN 0 7506 6000 7. URL: [https://www.researchgate.net/publication/292924723\\_Ship\\_Design\\_and\\_Performance\\_for\\_Masters\\_and\\_Mates](https://www.researchgate.net/publication/292924723_Ship_Design_and_Performance_for_Masters_and_Mates) (дата обращения: 13.01.2022).
  29. Платов А.Ю., Васильева О.Ю. Эксплуатационно-экономическое обоснование параметров речных судов на основе ИТ // Великие реки 2018: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». 2018. ISBN 978-5-901722-60-2. URL: <http://вф-река-море.рф/2018/PDF/108.pdf> (дата обращения: 08.01.2022).
  30. Васильева О.Ю. Применение линейных моделей для экономического обоснования новых судов / Под ред. Д.В. Хавина, С.В. Горбунова, Е.Ю. Есина. // Актуальные проблемы гуманитарных, инженерных и социально-экономических наук в свете современных исследований: Материалы Национальной научно-практической конференции. - Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. С. 5-8.
  31. Платов А.Ю., Васильева О.Ю. Проблема расчёта расхода топлива главными двигателями при эксплуатационно-техническом обосновании грузовых судов внутреннего и смешанного плавания // Великие реки 2019: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». 2019, С. 103. ISBN 978-5-901722-63-3. URL: [http://вф-река-море.рф/2019/PDF/11\\_20.pdf](http://вф-река-море.рф/2019/PDF/11_20.pdf) (дата обращения: 08.01.2022).
  32. Корьев В.Ю., Корьева Д.А. Один из подходов повышения эффективности эксплуатации судов при стратегическом планировании // Великие реки 2019: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». 2019. URL: [http://вф-река-море.рф/2019/PDF/11\\_13.pdf](http://вф-река-море.рф/2019/PDF/11_13.pdf) (дата обращения 13.01.2022).
  33. Туркина Л.А. Морское судоходство: монография / Л.А. Туркина, Е.Г. Белова. Ростов н/Д.: Феникс. 2010. 274 с.
  34. Ronen D. Effect of oil price on the optimal speed of ships. Journal of the Operational Research Society, 33 (11), 1982, pp. 1035–1040. DOI: <https://doi.org/10.1057/jors.1982.215> URL: <https://link.springer.com/article/10.1057/jors.1982.215> (дата обращения 13.01.2022).
  35. Jae-Gon Kim, Hwa-Joong Kim, Hong-Bae Jun, Chong-Man Kim. Optimizing Ship Speed to Minimize Total Fuel Consumption with Multiple Time Windows // Mathematical Problems in Engineering. 2016. Pp 1-7. DOI:10.1155/2016/3130291 URL: [https://www.researchgate.net/publication/309586425\\_Optimizing\\_Ship\\_Speed\\_to\\_Minimize\\_Total\\_Fuel\\_Consumption\\_with\\_Multiple\\_Time\\_Windows](https://www.researchgate.net/publication/309586425_Optimizing_Ship_Speed_to_Minimize_Total_Fuel_Consumption_with_Multiple_Time_Windows) (дата обращения: 13.01.2022).
  36. Астахов В.И., Кузьмичев И.К., Никулина М.В., Платов Ю.И., Самсонов Р.И. Стратегический менеджмент: Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Разработка стратегии замены флота» для студентов специальности 0611, 0608 / В.И. Астахов, И.К. Кузьмичев, М.В. Никулина, Ю.И. Платов, Р.И. Самсонов. Н. Новгород: Издательство ФГОУ ВПО ВГАВТ. 2005. 44 с.
  37. Tempelmeier H. Inventory service-levels in the customer supply chain, in: OR-Spektrum 22(3). 2000. Pp.361-380. DOI:10.1007/s002910000044 URL: [https://www.researchgate.net/publication/225657390\\_Inventory\\_service-levels\\_in\\_the\\_customer\\_supply\\_chain](https://www.researchgate.net/publication/225657390_Inventory_service-levels_in_the_customer_supply_chain) (дата обращения 13.01.2022).
  38. Majercák J., Majercák P., Kurbatova A., Kurbatova E. Logistic evaluation of the choice of service provider in transport under different conditions // IOP Conference Series Materials Science and Engineering 918(1). 2020. P. 012051. DOI:10.1088/1757-899X/918/1/012051 URL: [https://www.researchgate.net/publication/346112954\\_Logistic\\_evaluation\\_of\\_the\\_choice\\_of\\_service\\_provider\\_in\\_transport\\_under\\_different\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/346112954_Logistic_evaluation_of_the_choice_of_service_provider_in_transport_under_different_conditions) (дата обращения 13.01.2022).

### References

1. Strategiya razvitiya vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii na peri-od do 2030 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 29 fevralya 2016 g. № 327-r. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/8910> (data obrashcheniya 03.01.2022).
2. Egorov G.V., Egorov A.G. Prognoz sostava flota sudov smeshannogo «reka-more» plavaniya do 2025 goda s opredeleniem naibolee vostrebovannyh tipov sudov // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. 2018. Special'nyj vypusk 2. S. 169–178. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-S-I-169-1. URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/ksrc/2018/sv2-22.pdf/download/sv2-22.pdf> (data obrashcheniya 03.01.2022).
3. Urtminceev YU.N., Zamaraeva K.V. Obnovlenie transportnogo flota na vnutrennem vodnom transporte: sostoyanie, problemy, perspektivy // Vestnik VGAVT. 2015. № 43. S. 268-273. URL: [http://journal.vsuwt.ru/public/v\\_arc/v43.pdf](http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v43.pdf) (data obrashcheniya 05.01.2022).
4. Samsonov R.I. Razrabotka strategii obnoveniya i ispol'zovaniya rechnogo gruzovogo flota: dis. kand. tekhn. nauk. 05.22.19. N. Novgorod, 2004. 104 s.
5. Stock R.J., Lambert M.D. Strategic Logistics Management, 4th Edition. McGraw-Hill, New York, 2001. PP. 872.
6. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 22 maya 2008 g. N 383 "Ob utverzhdenii Pravil predostavleniya subsidij rossijskim organizacijam na vozmeshchenie chasti zatrat na uplatu procentov po kreditam, poluchennym v rossijskih kreditnyh organizacijah i v gosudarstvennoj korporacii razvitiya "VEB.RF" v 2009 - 2023 godah, a takzhe na uplatu lizingovyh platezhej po dogovoram lizinga, zaklyuchennym v 2009 - 2023 godah s rossijskimi lizingovymi kompaniyami na priobretenie grazhdanskich sudov" (s izmeneniyami i dopolneniyami) URL: <https://base.garant.ru/12160492/> (data obrashcheniya 03.01.2022).
7. Radmilović Z. River-sea shipping – competitiveness of various transport technologies / Z. Radmilović, R. Zobenica, V. Maras // Journal of Transport Geography. 2011. Vol. 19. – Is. 6. – Pp. 1509-1516. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2011.03.002 URL: [https://www.researchgate.net/publication/241104641\\_River-sea\\_shipping\\_-\\_competitiveness\\_of\\_various\\_transport\\_technologies](https://www.researchgate.net/publication/241104641_River-sea_shipping_-_competitiveness_of_various_transport_technologies) (data obrashcheniya 05.01.2022).
8. Marchenko S.S. Vozmozhnosti povysheniya konkurentosposobnosti suhogruznih sudov smeshannogo plavaniya za schet modernizacii flota // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2013. № 3 (22). S. 136–143.
9. Efremov N.A. O prodlenii ekspluatacionnogo resursa sudov vnutrennego i smeshannogo («reka – more») plavaniya. M.: Rossijskij Rechnoj Registr. 2002. 64 s.
10. Obnovlenie sudov vnutrennego i smeshannogo (reka – more) plavaniya. Rukovodstvo R.002-2010. S izmeneniyami. Moskva. Utverzhdeno prikazami Rossijskogo Rechnogo Registra ot 17.06.2010 № 31-p, ot 26.10.2018 № 80-p (Izveshchenie № 1). URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/r-002-2010-1.pdf> (data obrashcheniya 04.01.2022).
11. Kuz'michev I.K., Veselov G.V., Novikov A.V. Modernizaciya flota i rekonstrukciya vodnyh putej: zarubezhnyj i otechestvennyj opyt // Velikie reki 2019: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoj konferencii. FGBOU VO «VGUVT». 2019. URL: [http://vf-reka-more.rf/2019/PDF/11\\_14.pdf](http://vf-reka-more.rf/2019/PDF/11_14.pdf) (data obrashcheniya 04.01.2022).
12. Viera Bartošová, Peter Majerþák, Dagmar Hrašková. Taking Risk into Account in the Evaluation of Economic Efficiency of Investment Projects: Traditional Methods: Article (International Conference on Applied Economics, ICOAE 2015, 2-4 July 2015, Kazan, Russia). Procedia Economics and Finance 24 (2015) by Elsevier B.V. p. 68-75. URL: [https://www.researchgate.net/publication/283954077\\_Taking\\_Risk\\_into\\_Account\\_in\\_the\\_Evaluation\\_of\\_Economic\\_Efficiency\\_of\\_Investment\\_Projects\\_Traditional\\_Methods](https://www.researchgate.net/publication/283954077_Taking_Risk_into_Account_in_the_Evaluation_of_Economic_Efficiency_of_Investment_Projects_Traditional_Methods) (data obrashcheniya: 09.01.2022).
13. Christopher M. Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improving Service, 2nd Edition. Financial Times/Prentice Hall, 1999. PP. 288.
14. Platov YU.I., Nikulina M.V. Osnovnye podhody k obosnovaniyu strategicheskich planov obnoveniya transportnogo flota // Tr.VGAVT. 1999. № 287.
15. Arsen'ev S.P. Vybór tipov sudov transportnogo flota // Trudy CNIEVT. M.: Transport. 1968. № 50.

16. Bronnikov A. V. Vybor kriteriev dlya opredeleniya elementov transportnyh sudov v processe proektirovaniya. V kn.: Obshchie voprosy proektirovaniya sudov (NTO Sudproma). L.: Sudostroenie. 1973. № 199. S. 63- 72.
17. Fomkinskij L.I. Metodika tyagovyh raschyotov pri obosnovanii sudov rechnogo flota // Trudy CNIIEVT. M., 1972. № 86. 185 s.
18. Syrmaj A. G. Metodika obosnovaniya skorosti hoda i gruzopod"emnosti morskikh su-dov. M.: Izd-vo AN SSSR. 1961.
19. Papanikolaou A. Ship design - Methodologies of Preliminary Design / A. Papanikolaou. - Heidelberg: Springer, 2014. P. 635. Reference: p. 620-621. ISBN 978-94-017-8750-5. DOI:10.1007/978-94-017-8751-2. URL: [https://www.researchgate.net/publication/265710516\\_Ship\\_Design\\_-\\_Methodologies\\_of\\_Preliminary\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/265710516_Ship_Design_-_Methodologies_of_Preliminary_Design) (data obrashcheniya: 09.01.2022).
20. Schneekluth, H. Ship design for efficiency and economy. 2nd ed./H. Schneekluth, V. Bertram. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998. P.226. Reference: p. 204-205. ISBN 0 7506 4133 9.
21. Burger, R. Improving the Predictions of Ship Speed and Fuel Consumption for Heavy Lift Vessels // Master thesis in Marine Technology. Delft: Technische Universiteit Delft, 2017. URL: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:dd79c53c-9e9f-44f9-8d71-f981eba12798> (data obrashcheniya: 08.01.2022).
22. Hekkenberg, R. G. Inland Ships for Efficient Transport Chains / R. G. Hekkenberg // PhD thesis. Delft: Technische Universiteit Delft, 2013. URL: [https://www.researchgate.net/publication/277964902\\_Inland\\_Ships\\_for\\_Efficient\\_Transport\\_Chains](https://www.researchgate.net/publication/277964902_Inland_Ships_for_Efficient_Transport_Chains) (data obrashcheniya: 08.01.2022).
23. Janet, Yong What price speed-revisited / Janet Yong, Rod Smith, Linda Hatano, Stuart Hillmansen // Ingenia, 2005. ISSUE 22. pp.46-51 URL: [https://www.researchgate.net/publication/291159843\\_What\\_price\\_speed-revisited](https://www.researchgate.net/publication/291159843_What_price_speed-revisited) (data obrashcheniya: 08.01.2022).
24. Moody, R. Preliminary power prediction during early design stages of a ship / R. Moody. Cape Town: School of Mechanical and Process Engineering at the Cape Technikon, 1996. P.230.
25. Andersson H., Fagerholt K., Hobbeslanda K. Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from RoRo shipping // Computers & Operations Research, 2014. №55. P. 233-240. DOI:10.1016/j.cor.2014.03.017 URL: [https://www.researchgate.net/publication/261327407\\_Integrated\\_maritime\\_fleet\\_deploymen\\_t\\_and\\_speed\\_optimization\\_Case\\_study\\_from\\_RoRo\\_shipping](https://www.researchgate.net/publication/261327407_Integrated_maritime_fleet_deploymen_t_and_speed_optimization_Case_study_from_RoRo_shipping) (data obrashcheniya: 08.01.2022).
26. Traung J.O. New Possibilities for Improvement in the Design of Fishing Vessels / J.O. Traung, D.J. Doust, J.G. Hayes // Fishing Boats of the World. 1967. P. 139.
27. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A.: Ship Resistance and Propulsion Practical Estimation of Ship Propulsive Power. Cambridge University Press, 2011. DOI: 10.1017/CBO9780511974113. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264929515\\_Ship\\_resistance\\_and\\_propulsion\\_Practical\\_estimation\\_of\\_ship\\_propulsive\\_power](https://www.researchgate.net/publication/264929515_Ship_resistance_and_propulsion_Practical_estimation_of_ship_propulsive_power) (data obrashcheniya: 08.01.2022)
28. Barras C.B. Ship design and performance for masters and mates / C. B. Barras. – Oxford: Elsevier, 2004. P. 265. Reference: p. 241-242. ISBN 0 7506 6000 7. URL: [https://www.researchgate.net/publication/292924723\\_Ship\\_Design\\_and\\_Performance\\_for\\_Masters\\_and\\_Mates](https://www.researchgate.net/publication/292924723_Ship_Design_and_Performance_for_Masters_and_Mates) (data obrashcheniya: 13.01.2022).
29. Platov A.YU., Vasil'eva O.YU. Eksplyuatsionno-ekonomicheskoe obosnovanie parametrov rechnyh sudov na osnove IT // Velikie reki 2018: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii. FGBOU VO «VGUVT». 2018. ISBN 978-5-901722-60-2. URL: <http://vf-reka-more.rf/2018/PDF/108.pdf> (data obrashcheniya: 08.01.2022).
30. Vasil'eva O.YU. Primenenie linejnyh modelej dlya ekonomicheskogo obosnovaniya no-vyh sudov / Pod red. D.V. Havina, S.V. Gorbunova, E.YU. Esina. // Aktual'nye problemy gumanitarnyh, inzhenernyh i social'no-ekonomicheskikh nauk v svete sovremennyh issledovanij: Materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. - N. Novgorod: NNGASU, 2018. S. 5-8.



31. Platov A.YU., Vasil'eva O.YU. Problema raschyota raskhoda topliva glavnymi dvigate-lyami pri ekspluatacionno-tekhnicheskoy obosnovanii gruzovykh sudov vnutrennego i sme-shannogo plavaniya // Velikie reki 2019: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii. FGBOU VO «VGUVT». 2019, S. 103. ISBN 978-5-901722-63-3. URL: [http://vf-reka-more.rf/2019/PDF/11\\_20.pdf](http://vf-reka-more.rf/2019/PDF/11_20.pdf) (data obrashcheniya: 08.01.2022).
32. Kor'ev V.YU., Kor'eva D.A. Odin iz podhodov povysheniya effektivnosti ekspluata-cii sudov pri strategicheskoy planirovani // Velikie reki 2019: Materialy mezhduna-rodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii. FGBOU VO «VGUVT». 2019. URL: [http://vf-reka-more.rf/2019/PDF/11\\_13.pdf](http://vf-reka-more.rf/2019/PDF/11_13.pdf) (data obrashcheniya 13.01.2022).
33. Turkina L.A. Morskoe sudohodstvo: monografiya / L.A. Turkina, E.G. Belova. Rostov n/D.: Feniks. 2010. 274 s.
34. Ronen D. Effect of oil price on the optimal speed of ships. Journal of the Operational Re-search Society, 33 (11), 1982, pp. 1035–1040. DOI: <https://doi.org/10.1057/jors.1982.215> URL: <https://link.springer.com/article/10.1057/jors.1982.215> (data obrashcheniya 13.01.2022).
35. Jae-Gon Kim, Hwa-Joong Kim, Hong-Bae Jun, Chong-Man Kim. Optimizing Ship Speed to Minimize Total Fuel Consumption with Multiple Time Windows // Mathematical Problems in Engineering. 2016. Rr 1-7. DOI:10.1155/2016/3130291 URL: [https://www.researchgate.net/publication/309586425\\_Optimizing\\_Ship\\_Speed\\_to\\_Minimize\\_Total\\_Fuel\\_Consumption\\_with\\_Multiple\\_Time\\_Windows](https://www.researchgate.net/publication/309586425_Optimizing_Ship_Speed_to_Minimize_Total_Fuel_Consumption_with_Multiple_Time_Windows) (data obrashcheniya: 13.01.2022).
36. Astahov V.I., Kuz'michev I.K., Nikulina M.V., Platov YU.I., Samsonov R.I. Strategicheskij menedzhment: Metodicheskie ukazaniya po vypolneniyu kursovogo proekta po discipline «Razrabotka strategii zameny flota» dlya studentov special'nosti 0611, 0608 / V.I. Astahov, I.K. Kuz'michev, M.V. Nikulina, YU.I. Platov, R.I. Samsonov. N. Novgorod: Izdatel'stvo FGOU VPO VGAVT. 2005. 44 s.
37. Tempelmeier H. Inventory service-levels in the customer supply chain, in: OR-Spektrum 22(3). 2000. PP.361-380. DOI:10.1007/s002910000044 URL: [https://www.researchgate.net/publication/225657390\\_Inventory\\_service-levels\\_in\\_the\\_customer\\_supply\\_chain](https://www.researchgate.net/publication/225657390_Inventory_service-levels_in_the_customer_supply_chain) (data obrashcheniya 13.01.2022).
38. Majerčák J., Majerčák P., Kurbatova A., Kurbatova E. Logistic evaluation of the choice of service provider in transport under different conditions // IOP Conference Series Materials Sci-ence and Engineering 918(1). 2020. R. 012051. DOI:10.1088/1757-899X/918/1/012051 URL: [https://www.researchgate.net/publication/346112954\\_Logistic\\_evaluation\\_of\\_the\\_choice\\_of\\_service\\_provider\\_in\\_transport\\_under\\_different\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/346112954_Logistic_evaluation_of_the_choice_of_service_provider_in_transport_under_different_conditions) (data obrashcheniya 13.01.2022).

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

**Корьев Вадим Юрьевич**, к.т.н., генеральный директор, Общество с ограниченной ответственностью «ТК ЯРБУНКЕР» (ООО «ТК ЯРБУНКЕР»), 603001, г. Нижний Новгород, Нижне-Волжская наб., д. 6/1, офис 307, e-mail: [office-nn@yarbunker.com](mailto:office-nn@yarbunker.com)

**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](mailto:marina_platnik@rambler.ru)

**Платов Юрий Иванович**, д.т.н., профессор, профессор кафедры управления транспортом,

**Vadim I. Koryev**, Ph.D. in Engineering Science, Chief Executive Officer (CEO), Limited Liability Company TC YARBUNKER, TC YARBUNKER LLC, 6/1 Nizhne-Volzhskaya embankment, office 307, Nizhny Novgorod, 603001, e-mail: [office-nn@yarbunker.com](mailto:office-nn@yarbunker.com)

**Marina V. Nikulina**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: [marina\\_platnik@rambler.ru](mailto:marina_platnik@rambler.ru)

**Juri I. Platov**, Dr. Sci. (Eng), professor of Transport Management Chair, Volga State

Волжский государственный университет  
водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,  
e-mail: platov\_ji@mail.ru

University of Water Transport, 5, Nesterov st,  
Nizhny Novgorod, 603950, e-mail:  
platov\_ji@mail.ru

**Уставщиков Иван Викторович**, аспирант  
кафедры Управления транспортом, Волжский  
государственный университет водного  
транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г.  
Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail:  
ustavshchikov@yarbunker.com

**Ivan V. Ustavshikov**, postgraduate of Transport  
Management Chair Volga State University of  
Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny  
Novgorod, 603950, e-mail:  
ustavshchikov@yarbunker.com

Статья поступила в редакцию 26.01.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 26.01.2022; published online 21.03.2022.

### **Информация для авторов**

Требования к оформлению статей, а также примеры оформления списков литературы изложены на сайте журнала <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/rules>

#### ***I. Материалы, предоставляемые автором в редакцию:***

1. Файл с текстом статьи (в формате Microsoft Word или RTF) направляется на электронный адрес [raeva@vsawt.com](mailto:raeva@vsawt.com) либо подается через сайт издания. Рекомендованный объем статьи – 0,5 - 1 печатных листов (8-16 страниц).
2. Экспертное заключение о возможности открытого опубликования материалов статьи (можно прислать PDF файл на электронную почту [raeva@vsawt.com](mailto:raeva@vsawt.com), либо направляется в бумажном виде по адресу г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5, к.325).

#### ***II. Основные требования к содержанию статьи:***

1. Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях. Научная статья должна содержать очевидный элемент создания нового знания в сравнении с имеющейся научной литературой по избранной теме исследования. Предпочтение отдается статьям научно-теоретического, научно-практического и аналитического характера.
2. Показатель итоговой оценки оригинальности текста в системе Антиплагиат должен быть не менее 80%, показатель заимствования не более 10%, показатель самоцитирования не более 25%

При оформлении статьи рекомендуется ориентироваться на публикации, вошедшие в Текущий выпуск.

#### ***III. Перечень структурных элементов статьи***

1. УДК (из классификатора)
2. Надпись "DOI: 10.37890/jwt.vi"
3. Название статьи
4. Сведения об авторах в формате:
  - Инициалы, Фамилия (на русском языке) каждого автора, например, И.И. Иванов
  - Идентификатор автора ORCID, например, ORCID: <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 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, .pdf.

- 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 попытку 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
- предпочтительнее ссылки на периодические издания (русские и английские), индексируемые в МНБД;
- если цитируемая статья имеет DOI, необходимо указывать его после описания цитируемой статьи. Для проверки наличия у статьи DOI можно, например, воспользоваться сервисом Crossref по ссылке <https://search.crossref.org/references>
- нежелательно включать в списки литературы анонимные источники и нормативные документы (постановления, законы, инструкции и т.д.), которые никогда не будут проиндексированы в базах данных цитирования, предпочтительно их цитировать непосредственно в тексте или во внутритекстовых сносках;
- нежелательно использовать в списках литературы авторефераты диссертаций и диссертации, учебные пособия и учебники;
- анонимные интернет-источники необходимо указывать в постраничных сносках, а не в списках литературы.

**References** - список литературы на английском языке.

Для русскоязычных статей необходимо указывать: ФИО авторов на латинице (транслитерация); название статьи (транслитерация); перевод названия статьи на английский язык; название журнала на английском языке (транслитерация, если нет информации об использовании журналом англоязычного названия); выходные данные с обозначением на английском языке (год, том, номер страницы «от-до»); указание на язык статьи, если она представлена на русском языке (In Russ.); DOI статьи (при наличии) или URL при отсутствии DOI, если есть доступ к статье.

В этом разделе должны использоваться только английские символы, наличие кириллических знаков не допускается. При ссылке на сайты, содержащие в названии русские символы, придется воспользоваться так называемым punicode-конвертором (например, <https://hb.by/punocode-converter.aspx>). С помощью подобных онлайн-сервисов имя сайта преобразуется в специальный код, который и указывается вместо русскоязычного названия. К примеру, ссылка «<http://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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:raeva@vsawt.com)

**Редакция не рассматривает к публикации статьи, оформление которых не соответствует всем необходимым требованиям.**

### **Article design**

#### **Materials provided by the author to the editorial office:**

1. A file with the text of the article (in Microsoft Word or RTF format) sent to the email address [raeva@vsawt.com](mailto:raeva@vsawt.com) or submitted via the publication's website. The recommended article size is 0.5 - 1 printed sheets (8-16 pages).
2. An expert opinion on the possibility of open publication of the materials of the article (can be sent as a PDF file to e-mail [raeva@vsawt.com](mailto:raeva@vsawt.com) or sent in paper form to the address Nizhny Novgorod, Nesterov St., 5, room 325).

#### **The basic requirements for the contents and design of the article:**

1. The material proposed for publication must be original, not previously published in other publications. A scientific article should contain the obvious element of new knowledge in comparison with the existing scientific literature on the chosen research theme. Preference is given to articles of a scientific, theoretical and analytical character.
2. The index of the final assessment of the text originality in the Antiplagiat system must be not less than 80%, the borrowing indicator should be no more than 10%, the self-citation must be no more than 25%

When creating an article, it's convenient to use the **Article Template**. The Template contains detailed information about the required design of the article, the text of the Template itself meets these requirements and can serve as an example of the design of the material.

#### **The structure of the article should be strictly observed and include:**

1. UDC (from the classifier)
2. Subject (article title in Russian)
3. Information about the authors:
  1. Initials, Surname (in Russian), for example: I.I. Ivanov
  2. Name of the organization without abbreviations (do not indicate the legal form), place of publication, for example, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia
  3. ORCID author identifier, for example, <http://orcid.org/0000-0002-8255-3017>
4. Annotation in Russian on average of 100-250 words of text (not less than 10 lines)
5. Keywords, phrases in Russian
6. The text of the article (should be structured)
  1. An introduction (statement of the research problem on a relevant theme, a clear description of the program (structure) of the article)
  2. The main body of the article (original author's study)
  3. The conclusion (structured conclusions corresponding to the statement of the research tasks stated in the introduction)

All formulas must be typed through Microsoft Equation 3.0 or MathType; Drawings, illustrations, graphics are inserted into the text, **not in tables**.

The list of the literature used is made out in accordance with State Standard 5.0.7 (it is an obligatory element of publication, links to all sources in the list of references are obligatory). Sources in the list of references are numbered and arranged in the order of they are mentioned in the text.

While preparing the bibliography of a scientific article, authors should consider the following recommendations:

1. at least 15 links should be mentioned;
2. references to all sources of literature in the text are required;
3. at least 50% of references to English-language sources are needed;
4. references to Russian and English periodicals are preferable;

5. not more than 20-25% of the total number of references to your own articles are required;
6. The Subject ( the title of the article in English)
7. the information about the authors in English:
  1. The first name, the second name, the surname (in English), e.g. Ivan I. Ivanov
  2. the place of work (in English)
  3. ORCID
8. Abstract in English
9. Keywords in English
10. References - a list of literature (bibliography) in transliteration (transliteration is a letter-by-word transmission of a text written using the Russian alphabet by means of the Latin alphabet, a list of literature (bibliography) in other languages should be given in the original language).
11. The information about the authors in Russian and in English:
  1. The first name, the second name, the third name
  2. The position, the title, the academic degree, the department, the unit;
  3. The full and the abbreviated name of the organization where the work is performed, address;
  4. e-mail
12. Coordinates for feedback (e-mail, phone);
13. The section into which the article is submitted for consideration

In the article the following things must be considered:

1. Font size 10, Times New Roman;
2. Single line spacing;
3. Margins: left - 3 cm, right - 1.5 cm, upper - 2 cm, lower - 2 cm;
4. Tables, diagrams, pictures width - max 13 cm.

**The editors do not consider publishing the articles the design of which does not meet all the necessary requirements.**



**Научные проблемы  
водного транспорта**

**Russian Journal of Water  
Transport**

**№70(1), 2022**

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 13,06. Уч.-изд. л. 18,29.  
Заказ 140. Тираж 500.

Федеральное агентство морского и речного транспорта.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса ФГБОУ ВО «ВГУВТ». Адрес 603951, Российская Федерация, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.