

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА

БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ЛЕДОВАЯ ПРОХОДИМОСТЬ СУДНА
ОЦЕНКА РИСКА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ И ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ ДЛЯ БУКСИРОВ

МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИЖИТЕЛИ ДЕФЕКТЫ ВЫПУСКНОГО КЛАПАНА ДВИГАТЕЛЯ

УПРАВЛЕНИЕ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ КОМПЕТЕНЦИИ МОРЯКОВ И ЭКОЛОГИЯ



№ 81
декабрь
2025

Научно-технический и информационно-аналитический журнал, издается с 1916 года.

Учредитель-издатель: ФАУ «Российский морской регистр судоходства»
Главный редактор: М.А. Кутейников. E-mail: kuteynikov.ma@rs-class.org
ISSN 2223-7097

Редакционная коллегия

А.О. Березин (председатель) — д.э.н., Российский морской регистр судоходства (РС)
М.С. Бойко (зам. председателя) — к.т.н., РС
А.С. Большев — д.т.н., проф., СПбГПУ им. Петра Великого
А.В. Григорьев — к.т.н., доц., проф. кафедры САЭС, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
А.А. Иванченко — д.т.н., проф., зав. кафедрой ДВС и автоматики СЭУ, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
А.В. Ильин — д.т.н., доц., зам. генерального директора по научной работе, НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей»
М.А. Кутейников — д.т.н., помощник по науч.-техн. деятельности, РС
В.Н. Половинкин — д.т.н., проф., научный руководитель, Крыловский государственный научный центр
А.А. Родионов — д.т.н., проф., зав. кафедрой строительной механики корабля, СПбГМТУ
К.В. Рождественский — д.т.н., проф., директор департамента междунар. сотрудничества, СПбГМТУ
А.Е. Сазонов — д.т.н., проф., член-корр. РАН, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
О.Я. Тимофеев — д.т.н., проф., СПбГМТУ
В.Н. Тряскин — д.т.н., проф., зав. кафедрой конструкции и технической эксплуатации судов, СПбГМТУ
А.В. Кириченко — д.т.н., проф., зав. кафедрой портов и грузовых терминалов, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
А.Л. Кузнецов — д.т.н., проф., проф. кафедры портов и грузовых терминалов, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
В.В. Каретников — д.т.н., проф., первый проректор, зав. кафедрой судоходства на внутренних водных путях, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
Ю.М. Искандеров — д.т.н., проф., зав. лабораторией интеллектуальных систем, СПб ФИЦ РАН, СПИИРАН
В.А. Жуков — д.т.н., проф., зав. кафедрой судостроения и энергетических установок, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
С.В. Смоленцев — д.т.н., проф., зав. кафедрой автоматики и вычислительной техники, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
С.Н. Хрунков — д.т.н., проф., зав. кафедрой энергетических установок и тепловых двигателей, НГТУ им. Р.Е. Алексеева
М.Н. Покусаев — д.т.н., проф., зав. кафедрой эксплуатации водного транспорта, АГТУ
А.В. Анисимов — д.т.н., доц. кафедры наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов им. А.И. Меоса, НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей»
В.В. Ярисов — д.т.н., проф. кафедры физики и общих дисциплин БВВМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова
А.А. Буцанец — к.т.н., доц. кафедры теории и конструкции судовых ДВС, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

Подписка на журнал может быть оформлена по каталогу «Урал-пресс». Подписной индекс 80534.

Электронная версия доступна по адресу: <https://sbornik.rs-class.org/jour>.
Журнал включен в Российский индекс научного цитирования www.elibrary.ru, Реферативный журнал и фонд научно-технической литературы ВИНТИ РАН, международную базу данных периодических изданий Ulrich's Periodicals Directory.

Журнал зарегистрирован Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64086 от 25 декабря 2015 г.

Решением Президиума ВАК журнал «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства» включен в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук <http://perechen.vak2.ed.gov.ru/>

Ответственность за содержание информационных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы.

Scientific and technical periodical has been published since 1916.

The Founder and the Publisher: Russian Maritime Register of Shipping (RS)

Editor-in-Chief: Mikhail Kuteynikov. E-mail: kuteynikov.ma@rs-class.org
ISSN 2223-7097

Editorial board

Alexey O. Berezin — Chairman of Editorial Board, DSc, Deputy Director General, RS

Maxim S. Boyko — Cand. Tech. Sc., Deputy Chairman, RS

Alexander S. Bolshev — DSc, Prof., Peter the Great St. Petersburg State Polytechnic University

Andrey V. Grigoriev — Cand. Tech. Sc., Assoc. Prof., Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping (SUMIS)

Alexander A. Ivanchenko — DSc, Prof., Head of the Dep. of ICE and Automation of Marine Power Plants, SUMIS

Alexey V. Ilin — DSc, Assoc. Prof., Deputy General Director and Head of the Research and Production Center, NRC Kurchatov Institute, CRISM Prometey

Mikhail A. Kuteynikov — DSc, Asst. in Scientific and Technical Activity, RS
Valery N. Polovinkin — DSc, Prof., Research Adviser, Krylov State Research Centre

Aleksander A. Rodionov — DSc, Prof., Head of the Dep. of Ship Structural Design, St. Petersburg State Marine Technical University (SMTU)

Kirill V. Rozhdestvenskiy — DSc, Prof., Director of the Dep. of International Cooperation, SMTU

Anatoliy Ye. Sazonov — DSc, Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), SUMIS

Oleg Ya. Timofeev — DSc, Prof., SMTU

Vladimir N. Tryaskin — DSc, Prof., Head of the Dep. of Design and Technical Operation of Ships, SMTU

Alexander V. Kirichenko — DSc, Prof., Head of the Dep. of Ports and Cargo Terminals, SUMIS

Alexander L. Kuznetsov* — DSc, Prof., Dep. of Ports and Cargo Terminals, SUMIS

Vladimir V. Karetnikov — DSc, Prof., First Vice-Rector, Head of the Dep. of Navigation on Inland Waterways, SUMIS

Yurii M. Iskanderov — DSc, Prof., Head of the Lab. of Intelligent Systems, St. Petersburg Federal Research Center of RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS

Vladimir A. Zhukov — DSc, Prof., Head of the Dep. of Theory and Design of Ship ICE, SUMIS

Sergey V. Smolentsev — DSc, Prof., Head of the Dep. of Automation and Computer Engineering, SUMIS

Sergey N. Khrunkov — DSc, Prof., Head of the Dep. of Power Plants and Thermal Engines, R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University

Mikhail N. Pokusaev — DSc, Prof., Head of the Dep. of Operation of Water Transport, Astrakhan State Technical University

Andrey V. Anisimov — DSc, Assoc. Prof. of the A.I. Meos Dep. of Nanostructured, Fibrous and Composite Materials, NRC Kurchatov Institute, CRISM Prometey

Vladimir V. Yarisov — DSc, Prof., Dep. of Physics and General Disciplines, Admiral F.F. Ushakov Baltic Higher Naval College

Artem A. Butsanets — Cand. Tech. Sc., Assoc. Prof. Dep. of Theory and Design of Ship ICE, SUMIS

Subscription index is 80534 in Ural-press catalog.

On-line version of the journal is available at <https://sbornik.rs-class.org/jour>

The journal is included in Russian index of scientific citing www.elibrary.ru, VINITI RAS Scientific and Technical Literature Collection, Ulrich's Periodicals Directory international database.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media. Registration Certificate ПИ № ФС77-64086 of 25.12.2015.

The journal is included into the List of Supreme Attestation Commission of leading peer-reviewed scientific magazines and editions, in which basic scientific results of doctoral and post-doctoral theses (in application for the scientific degrees of Doctor and Candidate of Science) shall be published <http://perechen.vak2.ed.gov.ru/>

Authors are responsible for the contents of information and advertisement materials as well as for use of information not liable to publication in open press.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА

№ 81

RESEARCH BULLETIN BY RUSSIAN MARITIME REGISTER OF SHIPPING

Журнал «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства» публикует результаты научных исследований по широкому спектру вопросов безопасности мореплавания судов и морских объектов, охраны человеческой жизни на море, сохранности грузов, экологической безопасности, обзорные материалы и информацию о существенных изменениях действующих правил и руководств Регистра. Журнал предназначен для широкого круга специалистов, связанных с вопросами безопасности человеческой жизни на море, охраны окружающей среды, проектирования и строительства судов и средств освоения шельфа. Также журнал будет интересен студентам и курсантам профильных технических образовательных учреждений.

Регистр выражает признательность авторам статей и приглашает ученых и специалистов к публикациям научных работ в журнале.

Журнал распространяется на специализированных отраслевых мероприятиях, конференциях и выставках.

Журнал входит в Перечень ВАК по следующим научным специальностям:

2.5.17 – Теория корабля и строительная механика

2.5.18 – Проектирование и конструкция судов

2.5.20 – Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping is a periodical covering a wide range of questions in the areas of shipbuilding and shipping, offshore development facilities, up-to-date maritime technology, environmental protection and maritime safety. New research results and scientific developments in the area of shipbuilding, are introduced in our journal.

The journal is intended for specialists of shipbuilding and ship repair companies, design engineering bureaus, research institutes, professors and postgraduate students of marine universities.

Russian Maritime Register of Shipping expresses appreciation to the authors and invites scientists and specialists to submit articles for publication in the journal.

The journal is distributed at trade events, conferences and exhibitions.

The Research Bulletin publishes the articles on the specialties in accordance with the nomenclature of specialties of scientific workers:

2.5.17 – Theory of the ship and ship structural mechanics

2.5.18 – Design and construction of ships

2.5.20 – Ship energetics and its components (main and auxiliary)

2.6.1 – Metal science and thermal treatment of metals and alloys

Санкт-Петербург
2025



СОДЕРЖАНИЕ

БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ MARITIME SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

<i>Сазонов К.Е.</i> Связаны ли предельная ледопроходимость судна и значения его знака ледового класса Регистра?	4
<i>K.E. Sazonov</i> Does the limiting ice-going capability actually correlate with RS ice class notation signs?	
<i>Шурпяк В.К.</i> Применение методов оценки риска для определения допустимых условий ледового плавания	12
<i>V.K. Shurpyak</i> Application of risk assessment methods to determine acceptable ice navigation conditions	
<i>Василевский С.Н.</i> Об основах внедрения и перспективах развития Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты.	29
<i>S.N. Vasilevskiy</i> International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers: core of implementation and prospects for development	

УПРАВЛЕНИЕ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ SEA TRANSPORT MANAGEMENT

<i>Ватолин Д.С., Буцанец А.А.</i> Обзор новых требований к компетенциям моряков как следствия повышения экологических требований	38
<i>D.S. Vatolin, A.A. Butsanets</i> An overview of new requirements for seafarers' competencies resulting from increased environmental regulations	

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ И ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ DESIGN OF SHIPS AND FLOATING FACILITIES

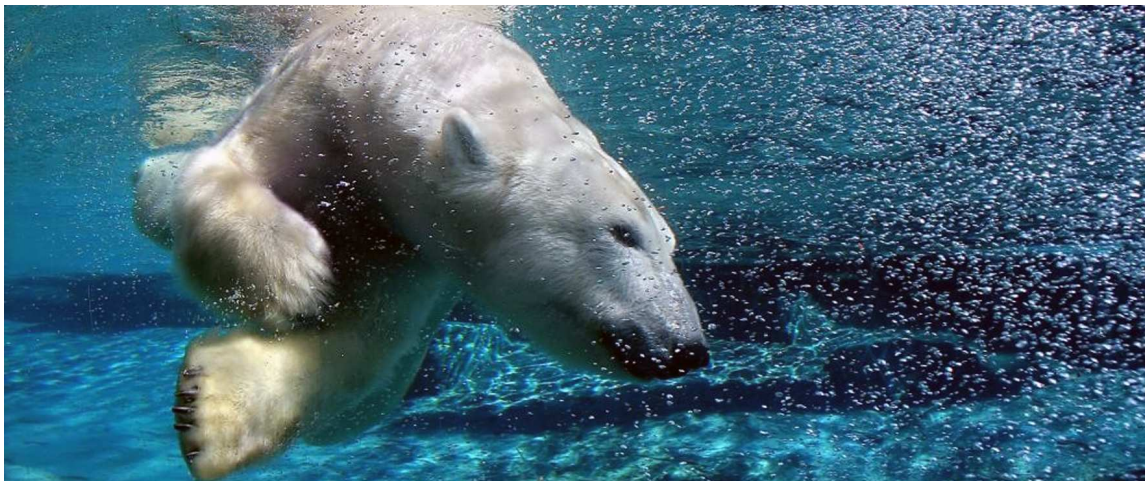
<i>Реуцкий А.С., Романов Р.Ю.</i> Оценка влияния использования сжиженного природного газа на главные размерения и тяговые характеристики буксиров с ледовым классом Arc5	47
<i>A.S. Reutskii, R.Yu. Romanov</i> Assessment of the impact of the use of liquefied natural gas on the main dimensions and traction characteristics of tugs with ice class Arc5	

МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИЖИТЕЛИ MECHANICAL INSTALLATIONS AND PROPULSION

- Минасян М.А., Минасян А.М., Чжо Нанда Тхейн, Вай Ян Паинг* Маловиброактивные и малошумные поршень и шатун двигателя внутреннего сгорания. 61
M.A. Minasyan, A.M. Minasyan, Chjo Nanda Thein, Wai Yang Paing Low-vibration and low-noise internal combustion engine piston and connecting rod
- Шурпьяк В.К., Семионичев Д.С., Чугаева А.Е.* Анализ современных тенденций применения движителей на судах с классом Регистра 69
V.K. Shurpyak, D.S. Semionichev, A.E. Chugaeva Analysis of current trends in the use of propulsors on ships with the Register class
- Хмельницкий К.Е.* Разработка мобильного программно-аппаратного комплекса для измерения мощности подвесных лодочных моторов. 86
K.E. Khmelnitsky Development of a mobile software and hardware complex for measuring the power of outboard motors
- Житников А.А., Марченко А.А.* Разработка алгоритма идентификации неисправности индуктивного датчика оборотов 96
A.A. Zhitnikov, A.A. Marchenko Development of an algorithm for identifying an inductive speed sensor
- Покусаев М.Н., Трифонов А.В., Шишкин Н.Д.* Испытания насоса системы охлаждения судового двигателя с приводом через электромагнитную муфту 105
M.N. Pokusaev, A.V. Trifonov, N.D. Shishkin Testing of a marine engine cooling system pump driven by an electromagnetic clutch
- Трифонов А.В., Хмельницкая А.А., Степанов Н.Е.* Анализ методов снижения механических потерь в приводах вспомогательных механизмов дизелей 116
A.V. Trifonov, A.A. Khmelnitskaya, N.E. Stepanov Analysis of methods for reducing mechanical losses in drives of auxiliary mechanisms of diesel engines
- Покусаев М.Н., Харламова А.Э., Букин В.Г., Муханов И.Р.* Разработка автоматизированного комплекса очистки воды от грубодисперсных примесей центробежной сепарацией. 128
M.N. Pokusaev, A.E. Kharlamova, V.G. Bukin, I.R. Mukhanov Development of an automated complex for water purification from coarse impurities by centrifugal separation
- Мочалин К.С., Тельцов Д.С., Приваленко А.А., Ольховик Е.О.* Исследование влияния вида топлива и защитных покрытий на износ выпускных клапанов судовых дизелей 143
K.S. Mochalin, D.S. Teltsov, A.A. Privalenko, E.O. Olkhovik Investigation of the influence of fuel type and protective coatings on the wear of marine diesel engine exhaust valves

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGY

- Буцанец А.А., Марушкина Е.Е.* Современное состояние инфраструктуры яхтенных стоянок для маломерного флота Пермского края 152
A.A. Butsanets, E.E. Marushkina The current state of the infrastructure of yacht moorings for small fleet in the Perm Krai



БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 629.123
EDN BXQOBR

СВЯЗАНЫ ЛИ ПРЕДЕЛЬНАЯ ЛЕДОПРОХОДИМОСТЬ СУДНА И ЗНАЧЕНИЯ ЕГО ЗНАКА ЛЕДОВОГО КЛАССА РЕГИСТРА?

К.Е. Сазонов, д-р техн. наук, Крыловский государственный научный центр, 196158 Россия, Санкт-Петербург, Московское ш., 44, e-mail: kirsaz@rambler.ru; профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190008 Россия, Санкт-Петербург, Лощманская ул., 3

В представлении многих судостроителей между значением знака ледового класса судна и его основной характеристикой ледовой ходкости — предельной ледопроходимостью существует однозначная связь. В работе на основании анализа действующих Правил Регистра выясняется характер этой связи. Показано, что поставить в соответствие ледовому классу предельную ледопроходимость можно только используя требования Регистра, предъявляемые к минимальной мощности энергетической установки судна. В работе выполнен анализ этой связи применительно к гипотетическим судам ледового плавания, имеющим характерные для этого типа судов главные размерения и форму носовой оконечности. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что связь между рассматриваемыми характеристиками судна не позволяет предсказать его предельную ледопроходимость, поэтому не может быть использована в процессе проектирования.

Ключевые слова: судно ледового плавания, Правила Регистра, предельная ледопроходимость, ледовое сопротивление, ледовый класс судна.

Для цитирования: Сазонов К.Е. Связаны ли предельная ледопроходимость судна и значения его знака ледового класса Регистра? / К.Е. Сазонов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 4 — 11. — EDN YZMAKE.

DOES THE LIMITING ICE-GOING CAPABILITY ACTUALLY CORRELATE WITH RS ICE CLASS NOTATION SIGNS?

K.E. Sazonov, DSc, Krylov State Research Centre, 196158 Russia, St. Petersburg, Moskovskoe sh., 44, e-mail: kirsaz@rambler.ru; Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, 190008 Russia, St. Petersburg, Lotsmanskaya ul., 3

Many shipbuilders believe that there is an unambiguous correlation between class notation signs and the main characteristic of ship propulsion in ice, i.e. the limiting ice-going capability (speed vs ice thickness). This paper analyses current RS rules to bring to light this relationship. It is shown that the ice class notation sign may only correlate with the limiting ice-going capability if the minimum horsepower of the ship powerplant required by RS is taken into account. The analysis is performed for generic ice-going vessels with typical principal particulars and bow shapes. The study results show that it is not possible to predict the limiting ice-going capability based on the relationship of ship characteristics under consideration, therefore it cannot be used in the ship design process.

Keywords: ice-going ship, RS Rules, limiting ice-going capability, ice resistance, ship ice class.

For citation: Sazonov K.E. Does the limiting ice-going capability actually correlate with RS ice class notation signs? *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 4 — 11. EDN BXQOBR. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

В представлении многих судостроителей между значением знака ледового класса судна и его основной характеристикой ледовой ходкости — предельной ледопроеходимостью существует однозначная связь; это весьма распространенная ошибка. Часто в технических заданиях на проектирование судов ледового плавания можно встретить фразу следующего содержания: *«Ледопроеходимость судна без помощи ледокола должна соответствовать ледовому классу проектируемого судна и условиям эксплуатации»*. Составителей подобных документов не смущает тот факт, что ледовый класс судна является характеристикой его ледовой прочности и служит гарантией безопасной эксплуатации в ледовых условиях, допускаемых для каждого конкретного класса. Ледовая прочность и ледовая ходкость, важнейшие ледовые качества судна, обеспечиваются совершенно разными средствами, которые практически не пересекаются между собой. Единственным пересечением характеристик судна, которые влияют на его ледовые прочность и ходкость, является форма обводов корпуса, характеризующаяся углами наклона ватерлинии, шпангоутов и батоксов. Необходимо отметить, что указанное пересечение не приводит к каким-либо противоречиям, так как изменения формы корпуса, способствующие снижению ледового сопротивления, обычно приводят и к снижению ледовой нагрузки, определяемой для расчета прочности корпуса.

Предельная ледопроеходимость судна определяется как максимальная толщина льда, которую судно может преодолеть, двигаясь с минимальной устойчивой скоростью (1 — 2 уз), при использовании максимальной мощности энергетической установки [1]. Из этого определения следует, что этот показатель зависит от сопротивления среды движению судна и от тяговых характеристик движительного комплекса. Ледовое сопротивление судна определяется параметрами ледовой среды (характер ледовых условий, толщина и прочность льда) и формой корпуса судна. Тяговые характеристики в первом приближении определяются мощностью энергетической установки и типом движительного комплекса.

Форма корпуса регламентируется Правилами Регистра в части «Корпус» [2], п. 3.10.1.2 «Требования к форме корпуса». Однако эта регламентация не является жесткой, она лишь устанавливает некоторые ограничения в зависимости от ледового класса, которые формально нельзя нарушать. Тем не менее допускаются отклонения от этих требований при выполнении процедуры специального согласования Регистра. Анализ содержания указанного пункта Правил показывает, что однозначной связи между параметрами формы корпуса судна и ледовым классом не существует.

В Правилах Регистра существует единственная возможность связать показатели ледовой ходкости судов с ледовым классом, которая базируется на части «Механические установки» [3]. В этой части содержатся требования к определению минимальной мощности энергетической установки судна ледового плавания, причем эти требования зависят от ледового класса.

Целью данной работы является установление зависимости между ледовым классом и предельной ледопроеходимостью судна и анализ этой зависимости, на основании которого будет сделан вывод о ее применимости в процессе проектирования судов.

МЕТОД И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения связи между предельной ледопроеходимостью судна и его ледовым классом был использован следующий алгоритм действий. На первом этапе на основании анализа существующих судов ледового плавания были установлены приближенные эмпирические зависимости главных размеров судна от его водоизмещения. После этого, при заданном наборе водоизмещений, были установлены длина, ширина и осадка гипотетических судов, для которых в дальнейшем проводились расчеты. Форма корпуса носовой оконечности этих судов выбиралась в соответствии с рекомендациями работы [4].

На втором этапе были выполнены расчеты сопротивления ровного льда движению гипотетических судов. Для проведения расчетов был использован хорошо зарекомендовавший себя метод Б.П. Ионова [5]. В случае если гипотетическое судно имело цилиндрическую вставку с вертикальным бортом, ледовое сопротивление этого элемента рассчитывалось по формуле, предложенной в работе [6]. При выполнении расчетов диапазон изменения толщины льда был принят от 0,2 до 2,0 м, скорость движения варьировалась от 1 до 6 узлов. Прочность льда на изгиб составляла 500 кПа, а коэффициент трения льда об обшивку корпуса был принят равным 0,1.

На третьем этапе в соответствии с рекомендациями Правил [3] и с использованием данных об основных характеристиках гипотетических судов (угол наклона форштевня, водоизмещение, коэффициент общей полноты) были рассчитаны значения минимальной мощности для каждого судна.

На четвертом этапе определялись тяговые характеристики движительного комплекса гипотетических судов. Для определения тяги на швартовном режиме использовались соотношения, предложенные Л.Г. Цоем [7], а зависимость полезной тяги от скорости движения судна определялась с помощью квадратичной формулы [8]. Сопоставление расчетных зависимостей ледового сопротивления гипотетических судов от скорости с зависимостями их тяговых характеристик от скорости позволяет определить величину предельной ледопроеходимости.

На заключительном этапе строятся зависимости предельной ледопроеходимости от ледового класса судна и водоизмещения. Сопоставление этих зависимостей с данными по существующим судам [9] дает возможность оценить применимость зафиксированной в Правилах Регистра связи между рассматриваемыми величинами для практической деятельности.

Остановимся более подробно на выборе главных размерений и формы корпуса гипотетических судов. В соответствии с рекомендациями работы [4] все существующие суда были разбиты на две большие группы: традиционные и современные. В этой статье указано, что к традиционным судам ледового плавания были отнесены суда, форма корпуса которых отвечает рекомендациям п. 3.10.1.2.2 Правил Регистра [2], а к современным судам — те, форма корпуса которых отличается от этих рекомендаций. Основные характеристики этих судов были получены из работ [4, 9] и Интернета. Всего было проанализировано 11 традиционных судов и 14 современных. На основании этого анализа были построены графики зависимостей длины, ширины и осадки судна от его водоизмещения. В качестве примера на рис. 1 приводятся зависимости длины судна от водоизмещения для двух рассматриваемых групп.

На следующем этапе исследования для группы традиционных судов были выбраны водоизмещения: 5, 15, 20 и 35 тыс. т. Группа же современных судов была разбита на две подгруппы. Первая подгруппа имела набор водоизмещений такой же, как и традиционные суда. Вторая подгруппа включала крупнотоннажные суда. Водоизмещение в этой подгруппе задавалось следующим рядом: 60, 90, 170 тыс. т.

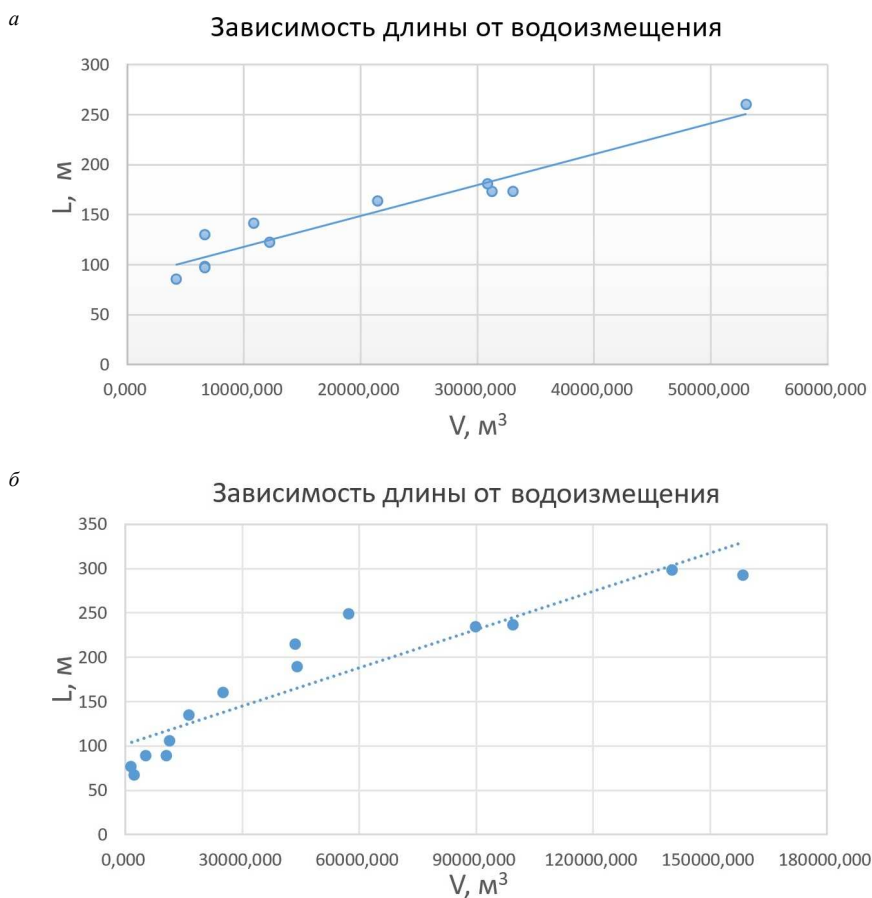


Рис. 1. Зависимость длины судна от его водоизмещения: *a* — традиционные суда; *б* — современные суда

Принятые для проведения расчетов основные размерения гипотетических судов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры гипотетических судов традиционной группы

Главные размерения	5 тыс. т	15 тыс. т	20 тыс. т	35 тыс. т
$V, м^3$	4878	14 634	19 512	34 146
$L, м$	102	132	147	193
$B, м$	15,8	18,9	20,2	25,2
$T, м$	6,1	7,2	8	9,9
δ	0,5	0,814	0,821	0,709

Параметры гипотетических современных судов первой подгруппы

Главные размерения	5 тыс. т	15 тыс. т	20 тыс. т	35 тыс. т
$V, м^3$	4878	14 634	19 512	34 146
$L, м$	109	122	130	150
$B, м$	19,2	21,2	22,9	26
$T, м$	6,9	7,4	7,8	9
δ	0,337	0,765	0,84	0,972

Параметры гипотетических современных судов второй подгруппы

Главные размерения	30 тыс. т	90 тыс. т	120 тыс. т	170 тыс. т
$V, м^3$	29 268	87 805	117 073	165 853
$L, м$	145	226	270	335
$B, м$	24	36,5	43	53
$T, м$	8,5	11,9	13,5	16
δ	0,989	0,894	0,747	0,584

Форма носовой оконечности гипотетических судов выбиралась по графикам, приведенным в работе [4]. При этом для гипотетических судов в данной работе принимались средние распределения углов наклона ватерлинии и шпангоутов по длине носовой оконечности, заимствованные из работы [4]. По указанным распределениям углов вычислялась длина цилиндрической вставки. Выбор средних распределений углов был обусловлен тем, что на стадии формирования технического задания на проектирование судна форма корпуса еще не определена, поэтому может быть представлена средними значениями. Кроме этого, если существенная связь между знаком ледового класса и предельной ледопроеходимостью судна существует, то она должна наиболее ярко проявляться для средних параметров.

Минимальная мощность гипотетических судов определялась в соответствии с рекомендациями Правил Регистра [3]. При этом вводился еще один дополнительный параметр — ледовый класс судна. Каждому из судов последовательно присваивался ледовый класс от Arc4 до Arc7. Более высокие ледовые классы не рассматривались, так как судов с таким классом нет в наличии. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Минимальная мощность гипотетических судов, кВт

Ледовый класс	Тип судна											
	Традиционные				Современные							
	Водоизмещение, тыс. т											
	5	15	20	35	5	15	20	35	30	90	120	170
Arc4	1735	3559	4557	7127	2040	3553	4464	6897	6340	13 022	17 118	25 179
Arc5	3147	5140	6290	9359	3147	5140	6290	9359	8315	17 224	22 679	33 414
Arc6	4168	6521	7902	11 507	4901	6509	7741	11 136	10 319	20 119	26 174	38 102
Arc7	5189	7902	9513	13 656	6102	7888	9320	13 215	12 324	23 015	29 669	42 790

После определения значений мощности были определены тяговые характеристики рассматриваемых судов. Определение тяги на швартовном режиме осуществлялось по методике, предложенной в работе [7]. Для ее определения необходимо было задаться диаметром гребного винта. В работе диаметры движителей D определялись по осадке гипотетического судна T как максимально возможные, исходя из соотношения $D \leq 0,6T$. Такой подход к выбору диаметра обеспечивал максимальную тягу на швартовном режиме. Вопрос о частоте вращения движителя на швартовном режиме не рассматривался, так как допустимая минимальная частота вращения во многом определяется типом энергетической установки. В работе рассматривались два варианта традиционного движительного комплекса: одно- и двухвинтовой. Трехвинтовой вариант движительного комплекса не рассматривался потому, что при сохранении постоянным диаметра гребного винта такая компоновка с большой вероятностью могла привести к недопустимо низкой частоте вращения движителя. При определении швартовной тяги проводилась проверка на возникновение второй стадии кавитации. Если движительный комплекс не проходил эту проверку, то он далее не рассматривался. Зависимость тяги от скорости движения судна рассчитывалась по формуле [8]:

$$T_E(V) = T_{E0} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \frac{V}{V_{\text{ч.в.}}} - \frac{2}{3} \left(\frac{V}{V_{\text{ч.в.}}} \right)^2 \right],$$

где T_{E0} — где тяга на швартовном режиме, кН;

$V_{\text{ч.в.}} = 2,55 \cdot (N_{\text{min}})^{1/7,3} \leq \sqrt{L/T\delta}$ — скорость судна на чистой воде, м/с.

Для всех вариантов гипотетических судов было рассчитано ледовое сопротивление по формуле Б.П. Иконова. В результате были получены графики зависимости ледового сопротивления от скорости движения при постоянной толщине льда, на которые для построения кривой ледопроеходимости наносилась зависимость тяги движительного комплекса от скорости [1]. Таким образом для всех судов во всех рассматриваемых случаях были построены кривые ледопроеходимости, по которым при значении минимальной скорости движения судна, принятой равной 2 уз, находилась предельная ледопроежимость.

Итогом выполненной работы стали графики зависимости предельной ледопроежимости судна от водоизмещения и знака ледового класса, которые приведены на рис. 2.

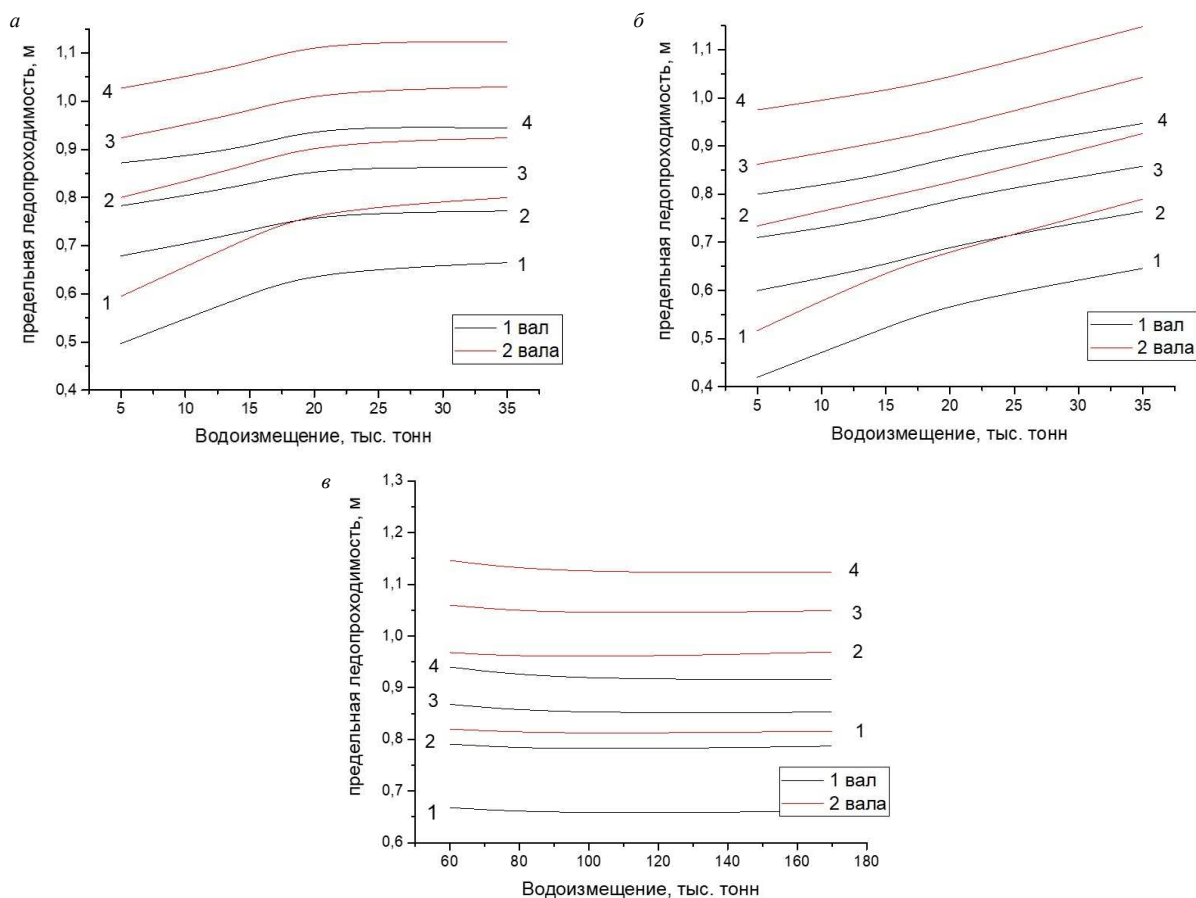


Рис. 2. Зависимости предельной ледопроежимости судна от водоизмещения и знака ледового класса: а — традиционные суда ледового плавания; б — современные суда ледового плавания, 1 подгруппа; в — современные суда ледового плавания, 2 подгруппа; 1 — Arc 4; 2 — Arc 5; 3 — Arc 6; 4 — Arc 7

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенные в работе результаты позволяют положительно ответить на вопрос, вынесенный в название этой статьи. Эта взаимосвязь проиллюстрирована на рис. 2. Теперь возникает необходимость ответить еще на один вопрос: может ли эта установленная взаимосвязь быть использована на начальных этапах проектирования судна ледового плавания для назначения важнейшей его характеристики — предельной ледопроходимости. Для ответа на этот вопрос проанализируем полученные результаты.

Первое, что бросается в глаза при рассмотрении рис. 2, это явная зависимость определенной по описанному выше алгоритму предельной ледопроходимости от выбора типа движительно-рулевого комплекса. На начальных стадиях проектирования очень часто этот выбор еще не осуществлен.

Форма корпуса, которая никогда не бывает определенной на начальных стадиях проектирования, также оказывает заметное влияние на величину предельной ледпроходимости. На рис. 3 приведено сравнение расчетной предельной ледопроходимости традиционных и современных гипотетических судов. Этот рисунок показывает, что различия в форме корпуса могут привести к довольно существенному расхождению в оценке ледопроходимости. При этом, анализируя данные рис. 3, необходимо помнить, что в данной работе принимались некоторые средние значения углов, характеризующих форму корпуса. Поэтому расхождения в форме корпуса традиционных и современных судов достаточно малы. Для судна, специально проектируемого для эффективной работы в ледовых условиях, эти расхождения могут быть намного больше.

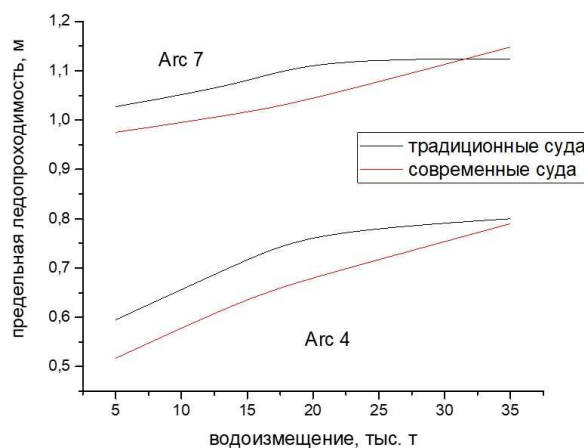


Рис. 3. Влияние формы корпуса судна на величину предельной ледопроходимости

Теперь рассмотрим, как влияет водоизмещение на прогнозируемое значение предельной ледопроходимости. Для удобства анализа графики рис. 2б, в объединены на рис. 4. Анализ этого рисунка вроде бы дает основание привязать к значению знака ледового класса определенную ледопроходимость, хотя бы для современных судов. Такую же тенденцию при увеличении водоизмещения демонстрируют и традиционные суда (рис. 2а). Однако сделать этого нельзя. Не зависящие от водоизмещения значения ледопроходимости реализуются только для судов относительно большого водоизмещения. Причем указать границу, с которой начинается независимость ледопроходимости от водоизмещения, нельзя: данные графика на рис. 4 относятся только к гипотетическим судам, и распространять эти результаты на другие суда некорректно.

Оценим качество прогноза предельной ледопроходимости по описанной методике путем сравнения ее результатов с данными о существующих судах ледового плавания, которые заимствованы из работы [9]. Это сравнение приведено в табл. 3.

Данные табл. 3 показывают, что спрогнозированная по описанной выше методике предельная ледопроходимость судна занижена. Единственным исключением является танкер типа «Михаил Ульянов», у которого ледопроходимость даже несколько ниже расчетной. Это судно выпадает из общего ряда судов ледового плавания [10] из-за особенности формы носовой оконечности. Вообще (см. рис 2 и 4) для судов с ледовым классом Arc 7 расчетная ледопроходимость не может превышать 1,2 м. Такое значение основной характеристики ледовой ходкости, по-видимому, может подойти только к весьма ограниченному кругу судов с категорией ледовых усилений Arc 7.

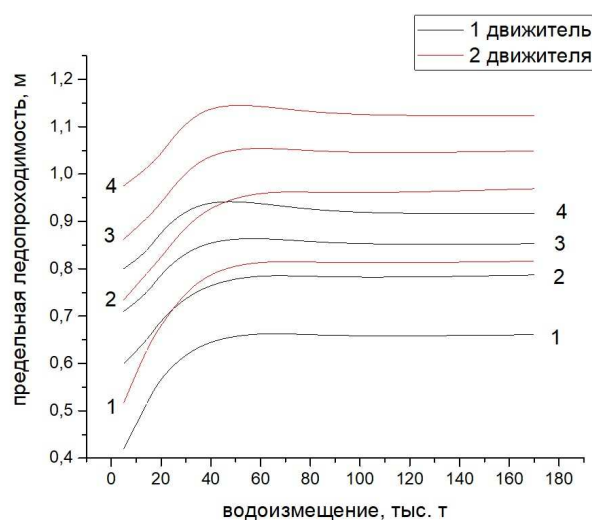


Рис. 4. Зависимость расчетной предельной ледопроежимости от водоизмещения современных судов

Таблица 3

Сравнение оценки предельной ледопроежимости с существующими судами ледового плавания

Судно	Водоизмещение, т	Ледовый класс	Количество движителей	Ледопроежимость, м		Ошибка, %
				расчетная	фактическая	
Норильский Никель	29 140	7	1	0,92	1,5	39
Василий Динков	93 500	6	2	1,04	1,7	39
Михаил Ульянов	102 000	6	2	1,04	1,0	—4
Штурман Альбанов	63190	7	2	1,14	1,4	19

Суммируя все вышеизложенное, можно сделать вывод, что установление однозначной связи между знаком ледового класса Регистра и предельной ледопроежимостью судна невозможно. Это совершенно разные понятия, характеризующие различные ледовые качества судна. Ледовый класс характеризует ледовую прочность, ледопроежимость — ледовую ходкость. Приведенная в данной статье связь между указанными величинами стала возможна только из-за используемой в Правилах Регистра довольно старой формулы для назначения уровня минимальной мощности ледокольного судна. Если же использовать современные подходы к определению уровня мощности ледокольных судов [11], то никакой связи между этими характеристиками обнаружить будет невозможно.

Предельная ледопроежимость судна при составлении технического задания на его проектирование должна определяться на основе предполагаемой модели его эксплуатации в ледовых условиях, как, впрочем, и выбор класса ледовых усилений. При назначении величины предельной ледопроежимости какие-либо ссылки на ледовый класс судна являются некорректными.

ВЫВОДЫ

В работе рассмотрена взаимосвязь между показателями предельной ледопроежимости и знаком ледового класса Регистра. В результате рассмотрения получены следующие выводы.

1. Связь между этими понятиями существует. Наличие связи определяется спецификой использованной в Правилах Регистра формулы для назначения минимальной мощности судна ледового плавания.

2. Проведенное исследование выявило, что существующая связь не является однозначной. Значения предельной ледопроежимости, даже при использовании для ее определения значений минимальной мощности энергетической установки, зависят от очень большого числа параметров. Основными из них являются водоизмещение, компоновка движительно-рулевого комплекса, особенности формы обводов корпуса. Большинство из этих параметров на стадии подготовки технического задания на проектирование судна не являются окончательно установленными.

3. Знак ледового класса Регистра проектируемого судна не может быть использован в техническом задании для назначения значения его предельной ледопроеходимости.

Автор выражает благодарность Д.Э. Семиной за выполнение ряда расчетов, использованных в статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов К.Е. Теоретические основы плавания судов во льдах / К.Е. Сазонов. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2010. — 274 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. II. Корпус / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2025.
3. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. VII. Механические установки / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2025.
4. Апполонов Е.М. Методика разработки и практическая апробация расчетных зависимостей для определения ледовых нагрузок на конструкции ледовых усилений транспортных судов ледового плавания, основанных на новой модели динамического разрушения льда / Е.М. Апполонов, В.В. Платонов, В.Н. Тряскин // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 78. — С. 74 — 95. — EDN TBXALX.
5. Ионов Б.П. Ледовая ходкость судов / Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов. — СПб.: Судостроение, 2001. — 512 с.
6. Сазонов К.Е. Оценка вклада вертикальных бортов цилиндрической вставки в ледовое сопротивление судна / К.Е. Сазонов // Морской вестник. — 2008. — № 4. — С. 110 — 111.
7. Цой Л.Г. Морские ледоколы. Особенности проектирования: уч. пос. / Л.Г. Цой. — СПб.: СПбГМТУ, 2003. — 110 с.
8. Каневский Г.И. Прогнозирование характеристик ходкости многовальных судов / Г.И. Каневский, А.М. Клубничкин, К.Е. Сазонов. — СПб.: КГНЦ, 2019. — 160 с.
9. Штрек А.А. Современные тенденции и вызовы при проектировании арктических транспортных судов / А.А. Штрек // Российская Арктика. — 2019. — № 5. — С. 30 — 35. — DOI 10.24411/2658-4255-2019-10054.
10. Добродеев А.А. Какой должна быть мощность крупнотоннажного судна для работы в Восточном секторе Арктики? / А.А. Добродеев, К.Е. Сазонов // Арктика: экология и экономика. — 2024. — Т. 14. — № 3 (55). — С. 427 — 436.
11. Сазонов К.Е. Необходимо ли нормировать минимальный уровень мощности транспортных судов ледового плавания? / К.Е. Сазонов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2016. — № 44/45. — С. 81 — 84.

REFERENCES

1. Sazonov K.E. Teoreticheskie osnovy plavaniya sudov vo l'dah [Theoretical foundations of navigation of ships in ice]. St. Petersburg: TsNII im. akad. Krylova, 2010. 274 p.
2. Rules for the classification and construction of sea-going ships. Part II. Hull / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2025.
3. Rules for the classification and construction of sea-going ships. Part VII. Machinery installations / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2025.
4. Appolonov E.M., Platonov V.V., Tryaskin V.N. Methodology for the development and practical testing of calculation dependencies for determining ice loads on the structures of ice reinforcements of ice-going transport vessels, based on a new model of dynamic ice destruction. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. — 2025. — No. 78. — P. 74 — 95. EDN TBXALX. (In Russ.)
5. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya khodkost' sudov [Ice performance of ships]. St. Petersburg: Sudostroenie, 2001. 512 p.
6. Sazonov K.E. Ocenka vklada vertikal'nykh bortov cilindricheskoy vstavki v ledovoe soprotivlenie sudna [Evaluation of the contribution of vertical sides of a cylindrical insert to the ice resistance of a ship]. *Morskoj vestnik* [Marine Bulletin]. 2008. No. 4. P. 110 — 111.
7. Tsoi L.G. Morskie ledokoly. Osobennosti proektirovaniya [Sea icebreakers. Design features: a study guide]. St. Petersburg: SPbGMTU, 2003. 110 p.
8. Kanevsky G.I., Klubnichkin A.M., Sazonov K.E. Prognozirovaniye kharakteristik khodkosti mnogoval'nykh sudov [Forecasting the performance characteristics of multi-shaft vessels]. St. Petersburg: KGNTs, 2019. 160 p.
9. Shtrek A.A. Sovremennyye tendentsii i vyzovy pri proektirovani arkticheskikh transportnykh sudov [Modern trends and challenges in the design of Arctic transport vessels] *Rossiyskaya Arktika* [Russian Arctic]. — 2019. — No. 5. — P. 30 — 35. — DOI 10.24411/2658-4255-2019-10054.
10. Dobrodeev A.A., Sazonov K.E. Kakoj dolzhna byt' moshchnost' krupnotonnazhnogo sudna dlya raboty v Vostochnom sektore Arktiki? [What should be the capacity of a large-capacity ship to operate in the Eastern Arctic?] *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: ecology and economics]. 2024. Vol. 14. No. 3 (55). P. 427 — 436.
11. Sazonov K.E. Is it necessary to standardize the minimum power level of ice-going transport vessels? *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2016. No. 44/45. P. 81 — 84. (In Russ.)

УДК 629.5.021.18, 629.561.5
EDN DEOFTS

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ УСЛОВИЙ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

В.К. Шурпяк, канд. техн. наук, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 7А, e-mail: shurpyak.vk@rs-class.org

В статье представлена система ледовых ограничений, разработанная на основе имеющегося в Регистре опыта классификации судов ледового плавания. Система предназначена для определения возможности совершения плавания судном в определенных ледовых условиях в зависимости от его ледового класса на основе оценки риска и может рассматриваться как альтернатива предлагаемой ИМО системе POLARIS. В отличие от системы POLARIS, она исключает дискриминационный подход и допускает применение наряду с ледовыми классами Российского морского регистра судоходства ледовых классов любых классификационных обществ, включая классы МАКО и Финско-шведские ледовые классы. Предлагаемая система основана на подходе, предполагающем определение параметров риска ледового плавания, при которых риск ледовых повреждений равен или менее того значения риска, которое возникает при совершении плавания в допускаемых классификационным обществом ледовых условиях, принимаемых для данного ледового класса судна за эталонные. Предлагаемую систему автор считает промежуточной между системой, основанной на оценке риска, и методикой, основанной на расчетах прочности, реализованной в ледовых паспортах, практикуемой ЦНИИМФ и Регистром. Автор постарался использовать преимущества обоих подходов, исключив по возможности их недостатки. Целью статьи является представление разработанной системы ледовых ограничений для обсуждения и дальнейшей проверки ее адекватности как в реальных условиях, так и с помощью методов имитационного моделирования. Автор надеется, что предложенная система может заинтересовать как судовладельцев, так и Администрацию СМП, и применение ее позволит отойти от регламентации ледового плавания в зависимости от географического района и даты совершения плавания.

Ключевые слова: ледовые ограничения судов, суда ледового плавания.

Для цитирования: Шурпяк В.К. Применение методов оценки риска для определения допустимых условий ледового плавания / В.К. Шурпяк // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 12 — 28. — EDN DEOFTS.

APPLICATION OF RISK ASSESSMENT METHODS TO DETERMINE ACCEPTABLE ICE NAVIGATION CONDITIONS

V.K. Shurpyak, PhD, Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: shurpyak.vk@rs-class.org

The article presents a system of ice restrictions developed based on the experience of classification of ice-going ships. The presented ice restriction system is designed to determine the ability of a ship to navigate in certain ice conditions, depending on its ice class, based on a risk assessment and can be considered as an alternative to the POLARIS system proposed by IMO. Unlike the POLARIS system, the proposed system includes the ice classes of the Russian Maritime Register of Shipping, which eliminates discrimination and allows the use of ice classes of any classification societies, including the IACS classes and the Finnish-Swedish ice classes. The author relies on an approach that involves determining the risk parameters of ice navigation, in which the risk of ice damage is equal to or less than the risk value that occurs when sailing in the ice conditions allowed by the classification society, which are accepted as standard for this ice class of ship. The proposed system is regarded as intermediate between a system based on risk assessment and a methodology based on strength calculations implemented in ice passports, which are practiced by the CNIIMF and the Register. In the proposed system, the author has tried to use the advantages of both approaches, avoiding their disadvantages as much as possible. The purpose of the article is to present the developed system of ice restrictions for discussion and further verification of its adequacy both in real conditions and using simulation methods. The author hopes that the proposed system may be of interest to both shipowners and the NSR administration, and its application will avoid severe restrictions on ice navigation depending on the date and geographical area.

Keywords: restrictions for ice navigation, ice-going ships.

For citation: Shurpyak V.K. Application of risk assessment methods to determine acceptable ice navigation conditions. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 12 — 28. EDN DEOFTS. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

С принятием и вступлением в силу Полярного кодекса [1, 2] обязательным условием совершения плавания в Полярных водах становится наличие на судне специального судового эксплуатационного документа — Руководства для плавания в Полярных водах (PWOM). Назначение этого документа — предоставить судовладельцу, оператору, капитану и экипажу сведений об эксплуатационных возможностях и ограничениях судна во льдах и оказанию содействия в процессе принятия ими решений. PWOM должно включать характеристики эксплуатационных возможностей и ограничений конкретного судна, а также процедуры (или ссылку на них), которым надлежит следовать при работе в полярных водах, чтобы предотвратить возникновение условий, превышающих эксплуатационные возможности судна.

Эксплуатационные ограничения при эксплуатации судна во льдах должны указываться в Свидетельстве о годности судна к плаванию в полярных водах, которое выдается морской администрацией флага. Как сказано в Полярном кодексе [1], эксплуатационные ограничения могут быть назначены с использованием систем, методов или анализа оценки видов риска, представляемых ожидаемыми судном ледовыми условиями с учетом таких факторов, как его ледовый класс, сезонные изменения прочности льда, помощь ледокола, тип и толщина льда и его сплоченность. Должны быть рассмотрены прочность судовых конструкций при восприятии ледовых нагрузок и планируемые для судна виды эксплуатации. Ограничения надлежит включить в систему принятия оперативных решений в ледовой обстановке.

Таким образом, судовладельцам и классификационным обществам (далее — КО) требуется специальный инструмент, который решили назвать в Полярном кодексе «системой ледовых ограничений», для выполнения следующих задач:

1) оценка возможности совершения плавания судном в определенных ледовых условиях. При этом система должна учитывать основные данные ледовой обстановки: сплоченность, возраст, толщину льда и характерные формы лёдообразований;

2) определение допустимой в этих ледовых условиях скорости судна, при которой вероятность получения повреждений можно считать приемлемой, а риск — допустимым.

К настоящему времени в Арктике уже много лет применяется в канадских правилах CASPPR [3] и в Правилах плавания по СМП [4] нормирование ограничений для судов ледового плавания в зависимости от географического района (рис. 1).

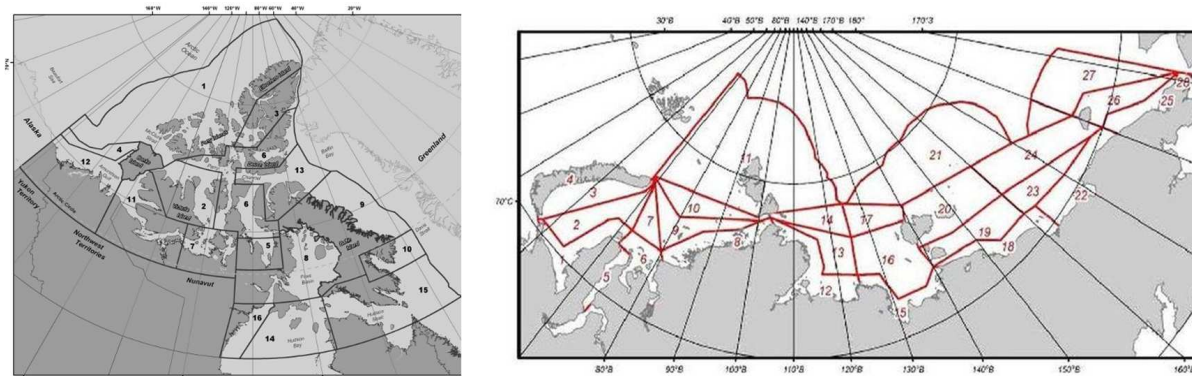


Рис. 1. Схема зон контроля навигации согласно CASPPR (слева) [3] и расположения районов акватории Северного морского пути (справа) [4]

Нормирование в указанных документах основано на статистике ледовой обстановки в различных районах и статистике получения повреждений судами при совершении плавания. Такой подход, безусловно оправдан в случаях, когда нужно сформировать общий подход к проблеме, что и реализуется обычно в нормативных документах. Однако практика применения методов оценки риска показывает, что потребителя интересуют не высокие показатели надежности выпускаемых изделий вообще, а лишь надежность объектов, находящихся у него в эксплуатации при конкретных значениях нагрузки и внешних условиях. То есть для судовладельца при планировании рейса в полярных водах важны не средние показатели аварийности в районе плавания — гораздо актуальнее оценка риска получения ледовых повреждений конкретным судном в конкретных ледовых условиях, сложившихся согласно прогнозу ледовой обстановки.

В совместной директиве комитетов по безопасности мореплавания и защите морской среды MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2 [5] ИМО допускает применение при анализе риска различных источников информации, таких как статистика повреждений, аварий и катастроф, физическое и математическое моделирование, экспертные оценки, учет человеческого фактора и экономических механизмов. Из теории надежности известно, что невозможно оценить надежность одного изделия, используя только статистические методы. Тем более нельзя таким образом, даже исходя из достоверной статистики аварий, оценить риск получения повреждений конкретного судна в конкретной ледовой обстановке (к тому же изменчивой). Для этого необходимы другие подходы и другие решения.

Для этих целей канадская морская администрация разработала систему режимов арктического судоходства AIRSS [6], которая применяется в Канадской Арктике. AIRSS представляет собой систему, основанную на оценке риска; в качестве факторов риска для судна с определенным ледовым классом используются сплоченность льда и его толщина. Но другие факторы риска, на наш взгляд, не менее весомые, в этой системе не учитываются. AIRSS была взята за основу при разработке в ИМО системы ледовых ограничений, названной POLARIS (Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System) [7], которую разработчики планировали представить как пример или эталон для сравнения с другими новыми системами. В результате POLARIS унаследовала все недостатки системы AIRSS, к тому же разработчики отказались включить в нее ледовые классы Российского морского регистра судоходства (далее — Регистр), ограничившись классами МАКО и Финско-шведскими ледовыми классами для Балтийского моря. Поэтому было решено на основе имеющегося в Регистре опыта классификации судов ледового плавания подготовить собственную новую систему ледовых ограничений, которая бы выступала альтернативой предлагаемой ИМО системе POLARIS.

1. СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ЛЕДОВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Ледовый паспорт определяет допустимые скорости движения судна в зависимости от толщины льда. При этом производятся расчеты прочности исходя из размеров конструктивных элементов корпуса — толщины наружной обшивки и величины шпации, а результаты представляются в виде диаграмм для различных возможных случаев ледовой обстановки.

К недостаткам системы ледовых паспортов (СЛП) можно отнести следующее:

- система не учитывает возможности сочетания различных концентраций льда;
- сложность расчетов не позволяет выполнить их оперативно, исходя из ледовой обстановки.

Однако бесспорным преимуществом СЛП является то, что эта система дает рекомендации по допустимым скоростям в зависимости от толщины льда.

Основные недостатки системы POLARIS:

- не учитываются размеры и формы ледообразований;
- не учитываются различия в способах преодоления льда различных концентраций (раздвигание льдин или их ломание) для различных режимов;

• в предлагаемой редакции система POLARIS оперирует средним значением риска для различных толщин льда. Между тем судно сталкивается с льдиной конкретной толщины, и именно эту толщину льда ему приходится преодолевать. Если концентрация средняя, то судно сдвигает льдину относительно других льдин и ломается не самая прочная из встреченных на пути. Но если общая концентрация достаточно велика, то судну приходится ломать тот лед, который встречается на его пути. При этом если частная концентрация какой-либо фракции составляет не менее 2 баллов, то вероятность встретить любую фракцию льда из присутствующих близка к 100 %. Для таких условий, на наш взгляд, следует считать не среднюю оценку риска, а максимальную из присутствующих. Это соответствует одному из методов, широко распространенных в процедурах анализа риска, — использованию наихудших последствий нежелательного события без рассмотрения вопросов вероятности;

• существующая система POLARIS в оценке риска не учитывает форму и размеры ледообразований, что затрудняет оценку при наличии айсбергов и учет ледовых условий при работе в канале за ледоколом. Как следствие, для системы POLARIS нет разницы между льдом концентрации 10/10 и сплошным льдом, то есть мелкобитый лед с концентрацией 10/10 получит такую же оценку риска, как и сплошное ледяное поле, если толщина льда одинакова.

Однако бесспорным преимуществом системы POLARIS является то, что эта система позволяет производить оперативную оценку риска совершения плавания в конкретной ледовой обстановке, производя несложные расчеты.

Предлагаемую вниманию читателя систему можно считать промежуточной между системой, основанной на оценке риска, и методикой, реализованной в ледовых паспортах, практикуемой ЦНИИМФ и Регистром для различных ледовых классов и судов без ледового класса. В основе настоящей системы лежит определение параметров риска ледового плавания, при которых риск ледовых повреждений равен или менее того значения риска, которое возникает при совершении плавания в допускаемых классификационным обществом (КО) ледовых условиях, принимаемых для данного ледового класса за эталонные, а риск получения повреждений будет эквивалентным. Таким образом автор постарался использовать преимущества обеих систем, исключив по возможности их недостатки.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. ОПИСАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ РИСКА

В качестве конечного нежелательного события рассматривается получение судном ледового повреждения. Оценка тяжести последствий этого события, а также событий, которые могут быть связаны с повреждениями судна (разлив нефтепродуктов, потеря остойчивости и прочее), остается за пределами данной задачи и может быть выполнена при необходимости в будущем.

Поэтому применительно к судну в ледовой обстановке для оценки риска получения повреждений предлагаем воспользоваться анализом простейшей параметрической модели «прочность — нагрузка». В основу расчетов надежности с использованием данной модели заложено то, что каждый элемент конструкции обладает определенной прочностью по отношению к действующим на него нагрузкам.

Согласно параметрической модели «прочность — нагрузка», работоспособность изделия определяется соотношением параметров, характеризующих прочность и нагрузку соответственно, а задача оценки риска сводится к оценке вероятности наступления события, когда усилие воздействия ледовых образований на судно превысит расчетную нагрузку, принятую КО для судна этого класса.

Как известно, в параметрической модели должна быть учтена взаимосвязь различных параметров и компонентов этой модели, то есть изменение значения одного параметра должно вести за собой изменения значений других, связанных с ним параметров модели. При этом задача значительно упрощается, если удастся перейти от нескольких параметров, влияющих на вероятность наступления нежелательного события, к одному, определив взаимозависимость одного выбранного (основного) параметра с другими параметрами и учитывая их взаимосвязь при оценке риска. В этом случае условие безотказной работы примет вид:

$$F < S \text{ или } F/S < 1,$$

где S и F — комплексные параметры, учитывающие факторы, действующие на прочность и нагрузку, на основе данных об их взаимном влиянии.

При этом в нашем случае под нагрузкой понимается механическое воздействие льда, а прочность характеризует способность подверженных этому воздействию элементов конструкции судна сохранять свои размеры и свойства при воздействии этих нагрузок.

Таким образом, для решения задачи предлагается разработать параметрическую модель зависимости риска получения повреждений при совершении судном ледового плавания в зависимости от параметров, характеризующих ледовую обстановку и прочность судна.

Для количественной оценки риска необходимо определить параметры, характеризующие безопасность, и предложить метод вычисления их влияния на вероятность наступления нежелательного события, то есть сформулировать суждение относительно безопасности объекта, основанное на сопоставлении показателя безопасности с некоторым наперед установленным его значением, принятым за базовое (эталонное). В качестве базового значения показателя безопасности для определения критерия допустимого риска обычно принимается значение, регламентированное в нормативных документах, или значения, взятые из объекта-аналога, опыт эксплуатации которого известен. В качестве такого объекта-эталона предлагается использовать данные о допустимой ледовой обстановке и рекомендации по скорости судна в этих условиях, данных в таблицах 2.2.3.4-3 и 2.2.3.4-4 Правил РС [8] для различных ледовых классов (рис. 2).

Для оценки риска целесообразно использовать сопоставление показателей безопасности эксплуатации объекта (судна) и показателей безопасности объекта-эталона. В качестве количественного критерия риска можно принять отношение комплексных параметров L и D , характеризующих нагрузку (опасность) и прочность (безопасность) соответственно:

$$P = L/D.$$

Параметр D , характеризующий прочность, обусловлен ледовым классом судна, поэтому имеет одинаковое значение как для эталонных условий (описанных в Правилах Регистра), так и для оцениваемых ледовых условий. Поэтому оценка относительного риска в виде отношения эталонного риска к оцениваемому сводится к отношению параметров, характеризующих нагрузку L . В качестве такого комплексного параметра предлагается использовать эквивалентную с точки зрения риска получения повреждений толщину льда.

Таблица 2.2.3.4-3

Категория судна	Допустимая скорость, уз	Сплоченность и тип льда	Толщина льда, м		Способы преодоления ледовых перемычек
			Зимне-весенняя навигация	Летне-осенняя навигация	
Arc4	6 — 8	разреженный однолетний	0,6	0,8	Преодоление стыков ледяных полей непрерывным ходом
Arc5		разреженный однолетний	0,8	1,0	
Arc6		разреженный однолетний	1,1	1,3	
Arc7		сплоченный однолетний	1,4	1,7	Преодоление стыков ледяных полей при эпизодической работе набегам
Arc8	10	сплоченный двухлетний	2,1	3,0	Преодоление стыков ледяных полей при регулярной работе набегам
Arc9	12	очень сплоченный и сплошной многолетний	3,5	4,0	Преодоление стыков ледяных полей и, эпизодически, участков сплошных льдов при работе набегам

Таблица 2.2.3.4-4

Категория судна	Допустимая толщина льда, м		Характер эксплуатации
	Самостоятельное плавание в мелкобитом разреженном льду со скоростью 5 уз	Плавание в канале за ледоколом в сплошном льду со скоростью 3 уз	
Ice1	0,40	0,35	Эпизодически Регулярно Регулярно
Ice2	0,55	0,50	
Ice3	0,70	0,65	

Рис. 2. Допустимые Правилами Регистра [8] ледовые условия для различных ледовых классов

3. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для целей настоящей оценки приняты следующие определения.

Риск — вероятность наступления нежелательного события, которым считаем получение судном ледового повреждения.

Критерий риска — отношение вероятности наступления нежелательного события (получения повреждения) к вероятности наступления этого нежелательного события в эталонных ледовых условиях.

Критерий допустимого риска — критерий риска, возникающий при совершении плавания судном в эталонных ледовых условиях.

Оценка риска — расчет критерия риска для судна определенного класса исходя из текущих ледовых условий и сравнение его с критерием допустимого риска.

Эквивалентные ледовые условия — совокупность характеристик льда, при движении в которых с рекомендуемой скоростью риск получения повреждений равен риску получения повреждений в ледовых условиях, допускаемых правилами КО для данного ледового класса и принятых в данной оценке за эталон. За эталон максимально допустимого риска для судов с ледовым классом Регистра приняты ледовые условия и скорости, рекомендованные Правилами Регистра в таблицах 2.2.3.4-3 и 2.2.3.4-4 части I «Классификация» Правил классификации и постройки судов.

Эквивалентная толщина льда H_{eq} — условная величина, равная толщине битого льда, при движении в котором с определенной скоростью на корпус судна оказывается давление, равное давлению на корпус битого льда, концентрация, толщина и форма которого соответствуют указанным в правилах КО при движении судна с рекомендованной скоростью.

Допускаемая толщина льда H_p — величина толщины льда, регламентированная КО для этого класса, при плавании в котором риск получения повреждения считается допустимым.

Безопасная скорость V — средняя скорость движения судна во льдах, при которой на корпусные конструкции оказывается силовое воздействие льда, не превышающее предусмотренного КО для данного ледового класса судна.

Коэффициент эквивалентной толщины льда KH — отношение эквивалентной толщины льда H_{eq} к толщине битого льда определенной формы, зависит от скорости судна и среднего размера льдин.

4. ОСНОВНЫЕ ДОПУЩЕНИЯ И ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ

1. Предполагаем, что судно имеет достаточную мощность главного двигателя для совершения движения и маневров с указанной в правилах КО скоростью во льдах, толщина, сплоченность и тип которых являются максимально допустимыми для судна этого класса.

2. Предполагаем, что конструкции корпуса судна определенного ледового класса рассчитаны на ледовое воздействие, которое возникает при движении судна с рекомендованной скоростью во льдах, толщина, сплоченность и тип которых являются максимально допустимыми для судна этого класса. Предполагаем также, что КО проверило прочность корпусных конструкций и вероятность получения повреждений при таких условиях считает приемлемой, а риск допустимым. Риск получения повреждений при этом считаем эталонным, назовем его R_{etalon} или R_{et} и для сравнения примем равным единице, а ледовые условия и параметры, которые их характеризуют, считаем эталонными для данного класса судна.

3. Предполагаем, что при движении судна во льдах с определенной скоростью ледовое давление на корпус будет изменяться пропорционально общей величине ледового сопротивления судна, то есть пропорционально упору, создаваемому винтом судна. Это предположение не является строго обоснованным, но для упрощения и приблизительных оценок оно применено в данной системе. Более подробные обоснования этого положения даны в разделе 5.

4. Оценка риска в определенной ледовой обстановке производится путем сравнения параметров риска текущей обстановки с эталонными с учетом их влияния на изменение нагрузки.

5. В качестве исходных параметров, характеризующих опасность, выбираем скорость судна и параметры ледовой обстановки: сплоченность, возраст и толщину льда, характерные размеры ледообразований. Для удобства пользования системой ограничиваемся вышеперечисленными характеристиками льда, присутствующими на ледовой карте. Другие характеристики ледового покрова (торосистость, разрушенность, толщина снежного покрова и т. д.) в данной методике не учитываются при расчете комплексного показателя R , характеризующего опасность.

6. Комплексным показателем F , характеризующим опасность, выбрана условная величина, характеризующая силовое воздействие льда на корпус судна. В качестве основного параметра, оказывающего влияние на величину силового воздействия льда, выбираем толщину льда h . Для учета при сравнении риска других выбранных параметров риска (сплоченности, размеров льдин и скорости судна) вычисляется эквивалентная толщина льда H_{eq} с учетом влияния каждого из перечисленных факторов. Таким образом, в качестве комплексного показателя F выступает эквивалентная толщина льда H_{eq} , которая является функцией от толщины присутствующего льда, скорости судна и размеров ледяных образований r .

7. Влияние концентрации льда на величину комплексного показателя F принимаем линейным при совершении плавания во льдах средней и малой концентрации. Таким образом, если ледовая обстановка представляет из себя смесь нескольких фракций льда разной толщины и размеров, то суммарный риск равен сумме рисков контакта с каждой фракцией пропорционально концентрации льда этой фракции. Такой подход совпадает с подходом, реализованным в канадской системе, хотя его не вполне корректно использовать для любых ледовых условий. Поэтому в настоящей методике предлагаются различные формулы для определения риска для различных режимов плавания судна во льдах, описанные далее в разделе 5.

8. В качестве исходных параметров, характеризующих прочность, должны быть учтены размеры судовых конструкций и элементов, подверженных воздействию ледовых образований, а также прочностные свойства материала. В качестве комплексного показателя S выступает ледовый класс судна, но для сравнения с

комплексным показателем F необходимо, чтобы показатель S выражался численным значением в единицах, сравнимых с единицами, в которых выражается показатель F . Так как мы выбрали в качестве F эквивалентную толщину льда H_{eq} , то в качестве характеристики прочности судна должна быть выбрана допускаемая для ледового класса эталонная толщина льда H_{et} , которую будем считать эталонной.

9. Риск считается допустимым и плавание возможным, если эквивалентная толщина льда, в котором совершается плавание H_{eq} , оказывается меньше эталонной толщины H_{et} для данного ледового класса судна в эталонных условиях. Значение риска совершения плавания в ледовых условиях вычисляется как

$$P = H_{eq}/H_{et}, \quad (1)$$

где P — оценка риска;
 H_{eq} — эквивалентная толщина льда;
 H_{et} — эталонная допускаемая толщина льда, указанная в табл. 3.

Условие допустимости совершения плавания:

$$H_{eq} \leq H_{et} \text{ или } P \leq 1.$$

5. ОПИСАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СУДНА ВО ЛЬДАХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ РИСКА

Обычно различают следующие основные режимы движения судна во льдах [9].

5.1. Плавание в редких льдах (менее 3 баллов сплоченности).

Определяющим для безопасности при этом режиме является столкновение судна с отдельной льдиной. Для этого режима определяющей является не толщина льда, а масса одиночной льдины, не разрушающейся при столкновении. В таких льдах плавание может совершаться судном любого класса с ограничением скорости, которое необходимо для возможности уклонения судна от столкновения. При этом ограничение скорости должно прежде всего определяться навигационной обстановкой в районе плавания (туман, низкая освещенность, возможности навигационных приборов) и маневренными качествами судна.

Отдельно следует оговорить, что плавание при наличии айсбергов допускается только в этом режиме при соблюдении судном безопасной дистанции до айсберга. В качестве безопасной дистанции можно предложить 200 м или длину судна в зависимости от того, что больше. Уменьшение безопасной дистанции может быть разрешено после определения подтвержденной расчетами для данного судна безопасной скорости, при соблюдении которой величина силы взаимодействия при столкновении с айсбергом будет допустимой для сохранения целостности бортовой обшивки в любой точке судна ниже ватерлинии. Если полученное расчетом значение безопасной скорости судна будет достаточным для обеспечения его маневренных характеристик, то безопасная дистанция до айсберга может быть уменьшена.

Расчеты прочности элементов корпуса судна для случая столкновения с айсбергом должны быть одобрены МА или КО по его поручению. Полученное значение безопасной скорости и безопасная дистанция должны быть отражены в PWOM (Руководстве для плавания в полярных водах).

5.2. Плавание в разряженных льдах (от 3 до 7 баллов сплоченности).

Движение судна во льдах в этом режиме происходит в основном по разводьям, а участки сплоченных льдов преодолеваются путем раздвигания льдин. В этом режиме часть работы упора винтов тратится на сообщение кинетической энергии раздвигаемым льдинам, которые движутся после контакта с корпусом свободно. При этом режиме движения ледовое сопротивление зависит от формы корпуса судна, сил трения, размера льдин и практически не зависит от механической прочности льда.

Подробное описание взаимодействия со льдом судна, движущегося в битых льдах, дано А.Я. Рывлиным [10 — 12]. В указанных работах полное ледовое сопротивление движению судна представлено в виде суммы отдельных составляющих:

- импульсного сопротивления, обусловленного потерей кинетической энергии судна при ударах о льдины;
- диссипативных сил сопротивления, возникающих в результате сопротивления воды раздвиганию льдин и трения льдин друг о друга;
- сопротивление, возникающее в результате деформации льда при раздвигании;
- сопротивление, обусловленное притапливанием и поворачиванием льдин и изменением посадки судна;
- сопротивление воды движению судна.

Из анализа, данного в [10], где математически описаны все перечисленные составляющие ледового сопротивления, можно сделать важный для нас вывод: все перечисленные составляющие сопротивления, кроме двух последних, пропорциональны силе давления льда на наружную обшивку судна в месте контакта.

Это может быть проиллюстрировано рисунком, взятым из [10] (см. рис. 3), где показано усилие, возникающее при взаимодействии льда с корпусом судна, и полученные проекции.

Кроме того, в [10] произведена оценка величины силы сопротивления, обусловленной притапливанием и поворачиванием льдин и изменением посадки судна, и делается вывод, что ее можно считать равной нулю с достаточной для практики точностью. В любом случае, для наших целей это будет ошибкой в безопасную сторону.

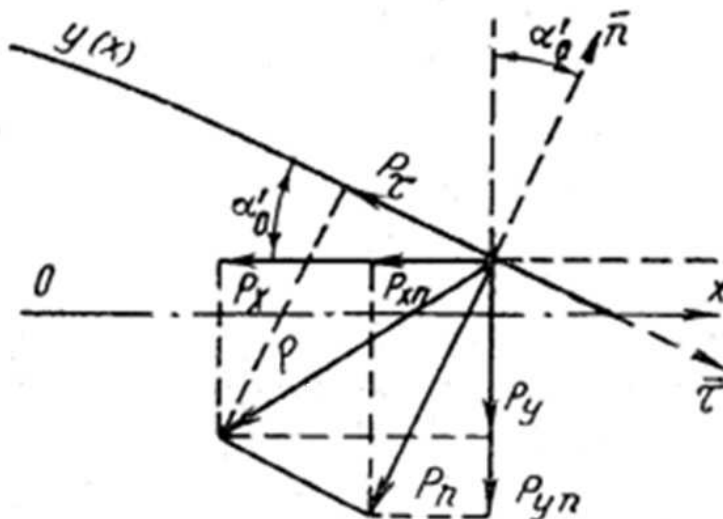


Рис. 3. Схема усилий, приложенных к борту судна при движении судна во льдах [10]:
 n — направление нормали к борту; τ — направление касательной к борту

Из описанного выше следует, что, зная величину ледового сопротивления судна, можно оценить величину ледовой нагрузки. Однако непосредственно воспользоваться этими формулами затруднительно из-за их сложности. Даже сами авторы в [10] для случая крупнобитых льдов предлагают пользоваться более простыми эмпирическими формулами, полученными на основании обобщения натурных испытаний.

Поскольку в этом режиме взаимодействие судна со льдинами представляет собой цепь последовательных независимых событий (соударений), то риски получения повреждений от каждого такого события должны складываться по законам теории вероятности, так же как могут складываться и оценки этих рисков. Строго говоря, повреждения судна при контакте со льдом различных фракций не являются взаимоисключающими. Но применение формулы для расчета вероятности событий, которые не обязательно исключают друг друга, значительно усложнит расчет. Поэтому применяем формулу для расчета взаимоисключающих событий, учитывая, что, во-первых, ошибка будет в безопасную сторону, а во-вторых, что после получения первого повреждения режим движения судна изменится. В результате примем, что общий риск получения судном повреждения за какое-то время при контакте со льдинами определенных размеров является суммой рисков получения повреждения от каждой льдины и каждой фракции льда. Именно такой подход реализован в канадской системе AIRSS и системе POLARIS.

Из данных о влиянии концентрации льда на сопротивление движению судна [10] следует, что при движении в битых льдах малой и средней сплоченности давление льда на корпус изменяется прямо пропорционально концентрации льда. Поэтому учет сплоченности льда производим путем умножения оценки риска для каждой фракции на отношение концентрации льда к эталонной для данного класса концентрации C_{et} .

Общий риск совершения плавания в определенной ледовой обстановке будем оценивать как сумму рисков каждой присутствующей фракции льда. При этом риск для каждой фракции будет отношением произведения сплоченности и толщины льда, помноженных на коэффициент KH , учитывающий скорость и горизонтальные размеры льдин, к произведению эталонных значений сплоченности и толщины льда, с учетом того, что для эталонных значений коэффициент KH равен единице. Формула для оценки эквивалентной толщины льда в этом случае примет следующий вид:

$$P = \frac{L}{D} = \sum \frac{H_{eq}}{H_{et}} \cdot \frac{C_i}{C_{et}} = \frac{1}{H_{et} C_{et}} \sum H_{Si} \cdot KH_i \cdot C_i, \quad (2)$$

где H_{Si} , KH_i , C_i — толщина льда, коэффициент эквивалентной толщины и концентрация определенной фракции льда под номером i соответственно;

C_{et} и H_{et} — эталонные для данного класса судна значения сплоченности и допустимой толщины льда.

В случае если в расчете учитываются только три фракции льда a , b и c , как это обыкновенно бывает на ледовых картах, формула (2) примет вид:

$$P = (H_{Sa} \cdot KH_a \cdot C_a + H_{Sb} \cdot KH_b \cdot C_b + H_{Sc} \cdot KH_c \cdot C_c) / (H_{et} \cdot C_{et}), \quad (3)$$

где C_a , C_b , C_c — сплоченность льда по фракциям согласно ледовой карте или визуальным наблюдениям;

H_{Sa} , H_{Sb} , H_{Sc} — толщина льда фракций a , b и c ;

KH_a , KH_b , KH_c — коэффициент эквивалентной толщины льда фракций a , b и c ;

C_{et} и H_{et} — эталонные для данного класса судна значения сплоченности и допустимой толщины льда.

Таблица 1

Возраст, описание и толщина льда

Цифровой символ S	Описание, возраст льда	Толщина льда h , см	Расчетная толщина H_s , см
0	Льда нет	0	0
1	Начальные виды	0 — 5	5
2	Нилас	< 10	10
3	Молодой	10 — 30	20
4	Серый	10 — 15	13
5	Серо-белый	15 — 30	23
6	Однолетний	30 — 200	115
7	Тонкий однолетний	30 — 70	50
8	Тонкий однолетний	30 — 50	40
9	Тонкий однолетний	50 — 70	60
1●	Средний однолетний	70 — 120	95
4●	Толстый однолетний	120 — 200	160
7●	Старый	> 200	300
8●	Двухлетний	200 — 300	250
9●	Многолетний	> 300	400
▲●	Материковый	Неизвестно	Неизвестно
X	Неизвестно	Неизвестно	Неизвестно

Определение коэффициента KH для учета форм ледообразований и размеров льдин. Чтобы иметь возможность учитывать преобладающие формы льда и средние размеры отдельных льдин, используя информацию с ледовых карт или данные визуальных наблюдений за ледовой обстановкой, предлагается применить эмпирическую формулу, которая приводится в [9, 10], по результатам натурных испытаний ледокола.

$$R_i = (C_K + 9,0 \cdot V^{1,3}) \cdot h^{1,2}, \quad (4)$$

где R_i — чистое ледовое сопротивление (то есть без гидродинамического сопротивления воды движению корпуса судна);

V — средняя скорость движения судна, м/с;

h — толщина льда, м;

C_K — эмпирический коэффициент, зависящий от средних горизонтальных размеров льда (рис. 4).

Формула (4) выведена на основании обработки материалов натурных испытаний мощного ледокола в ледяных полях различной протяженности (от 20 м до 1,5 км) и толщины (от 0,8 до 2,0 м) при общей сплоченности льда 8 — 10 баллов и разрушенности 2 — 3 балла [10]. Обработке подверглись около 500 натурных экспериментальных точек, полученных в диапазоне скоростей $V = 0,5 \div 13$ уз. В работе [10] делается вывод, что формула (4) может быть использована для приближенной оценки ледового сопротивления в крупнобитых льдах, малых ледяных полях и обломках полей.

Для получения зависимости допустимой скорости движения судна в битых льдах производим следующие преобразования.

Исходя из сделанного нами ранее допущения, что конструкции корпуса судна рассчитаны на ледовое давление, которое возникает при движении судна в ледовых условиях и со скоростью, указанных в таблицах 2.2.3.4-3 и 2.2.3.4-4 [8] для различных классов, можно принять эталонные условия различных классов: для самостоятельного плавания — табл. 2-1, для плавания за ледоколом — табл. 2-2.

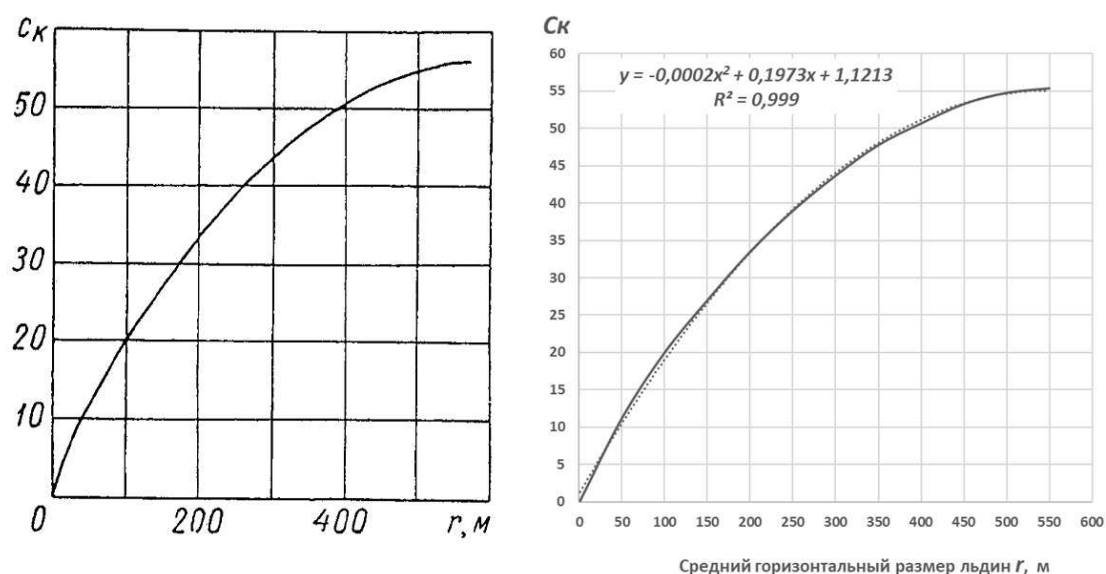


Рис. 4. График зависимости эмпирического коэффициента C_K от размеров льда:
слева — график, взятый из [10]; справа — график, построенный по точкам из [10] с полиномиальной аппроксимацией

Чистое ледовое сопротивление R_i для этого случая определяется по формуле (4). В этом случае C_K принимает свое максимальное значение (согласно графику на рис. 4, максимальное значение 56), h равен эквивалентной толщине льда H_{eq} , а скорость V принимается в зависимости от ледового класса судна согласно табл. 2-1 и 2-2.

Таблица 2-1

Принятые эталонные условия для различных классов при совершении самостоятельного плавания

Класс	Рекомендованная скорость V_{et} , уз	Расчетная скорость, м/сек	Сплоченность C_{et} , баллы	Зимне-весенний период H_{et} , м	Летне-осенний период H_{et} , м
Arc9	12	6	10	3,5	4
Arc8	10	5	8	2,1	3
Arc7	6 — 8	3,5	7	1,4	1,7
Arc6	6 — 8	3,5	5	1,1	1,3
Arc5	6 — 8	3,5	5	0,8	1
Arc4	6 — 8	3,5	5	0,6	0,8
Ice3	5	2,5	5	0,35	0,45
Ice2	5	2,5	5	0,3	0,35
Ice1	5	2,5	5	0,1	0,2

Таблица 2-2

Принятые эталонные условия для различных классов при плавании за ледоколом

Класс	Рекомендованная скорость V_{et} , уз	Расчетная скорость, м/сек	Сплоченность C_{et} , баллы	Зимне-весенний период H_{et} , м	Летне-осенний период H_{et} , м
Arc9	5	2,5	10	3,5	4
Arc8	5	2,5	10	2,1	4
Arc7	5	2,5	10	1,8	3
Arc6	5	2,5	10	1,2	1,5
Arc5	5	2,5	10	0,8	1,2
Arc4	5	2,5	10	0,7	0,9
Ice3	3	1,5	10	0,5	0,65
Ice2	3	1,5	10	0,4	0,5
Ice1	3	1,5	10	0,3	0,35

Подставив в (4) эталонные значения скорости и максимальное значение C_K , получим выражение (5):

$$R_i = k \cdot H_{eq}^{1,2}, \quad (5)$$

где k — коэффициент допустимой скорости, равный:

148,4 для класса Arc9,
128,9 для класса Arc8,
101,9 для классов Arc4 — Arc7,
85,6 для классов Ice1 — Ice3.

Исходя из того, что нам необходимо найти толщину льда, оказывающую равное чистое ледовое сопротивление и эквивалентное давление на корпусные конструкции, приравняем правые части выражений (4) и (5) для двух режимов и получим коэффициент эквивалентной толщины льда KH :

$$(C_K + 9,0V^{1,3})h^{1,2} = k \cdot H_{eq}^{1,2}.$$

$$\text{Откуда следует, что } KH = H_{eq}/h = \left(\frac{C_K + 9,0V^{1,3}}{k} \right)^{0,83} \quad \text{или} \quad (6)$$

$$KH = H_{eq}/h = j \left(\frac{C_K + 9,0V^{1,3}}{k} \right)^{0,83}, \quad (7)$$

где KH — коэффициент эквивалентной толщины льда;

H_{eq} — эквивалентная толщина сплошного льда, м;

h — толщина битого льда со средними размерами льдин r , м;

$j = (1/k)^{0,83}$ и принимает значения:

$j = 0,0158$ для класса Arc9,

$j = 0,0177$ для класса Arc8,

$j = 0,0215$ для классов Arc4 — Arc7,

$j = 0,0249$ для классов Ice1 — Ice3;

V — средняя скорость движения судна, м/с;

C_K — эмпирический коэффициент, зависящий от средних горизонтальных размеров льдин r (рис. 2) [10].

Таким образом, согласно (7), коэффициент эквивалентного льда KH зависит от скорости V и через эмпирический коэффициент C_K от размера льдин.

В международной системе символов морского льда форма и размеры льда имеют обозначение F ; для каждого значения цифрового символа F по диаграммам (рис. 5 — 8) были получены значения коэффициента KH для различных скоростей судна, которые приводятся в таблицах 3-1 — 3-4 для различных ледовых классов. При этом из диаграммы выбиралось значение KH , соответствующее среднему значению в диапазоне размеров льдин, соответствующих значению F , взятому с ледовой карты. Если размеры льда будут уточнены по результатам визуальных наблюдений с мостика, то и коэффициент KH в расчетах может быть уточнен с помощью диаграммы.

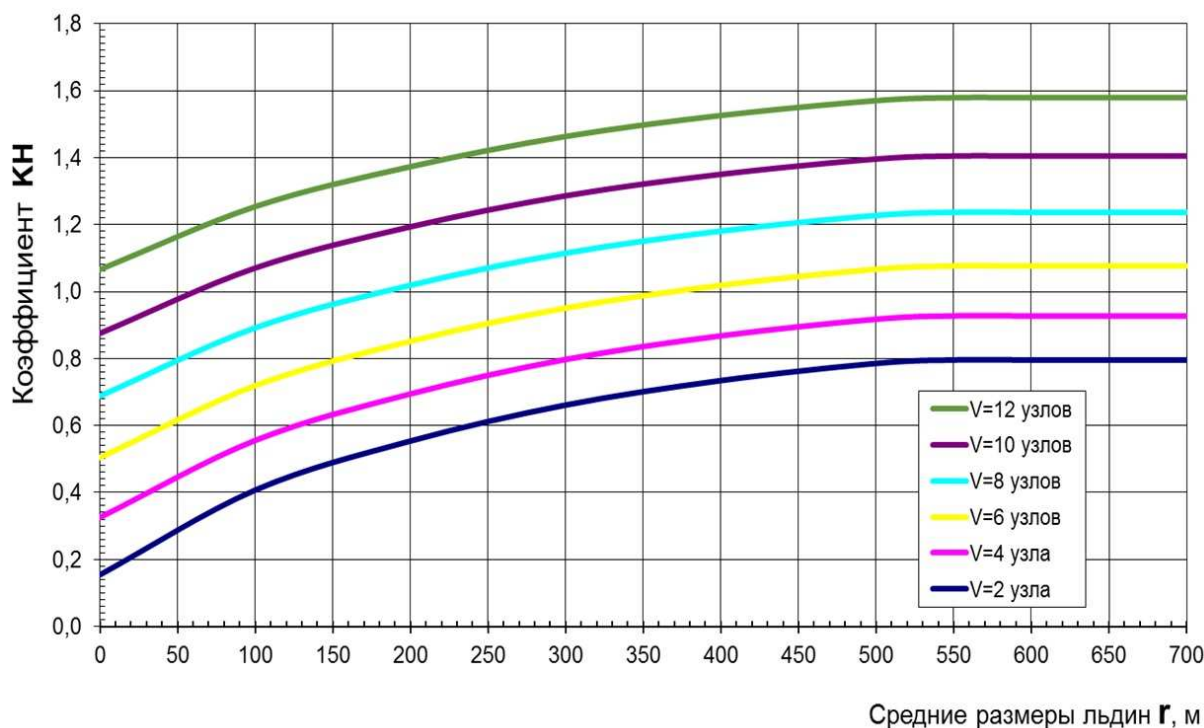


Рис. 5. Значение коэффициента KH в зависимости от средних размеров льдин r для различных скоростей судна для классов Ice1 — Ice3

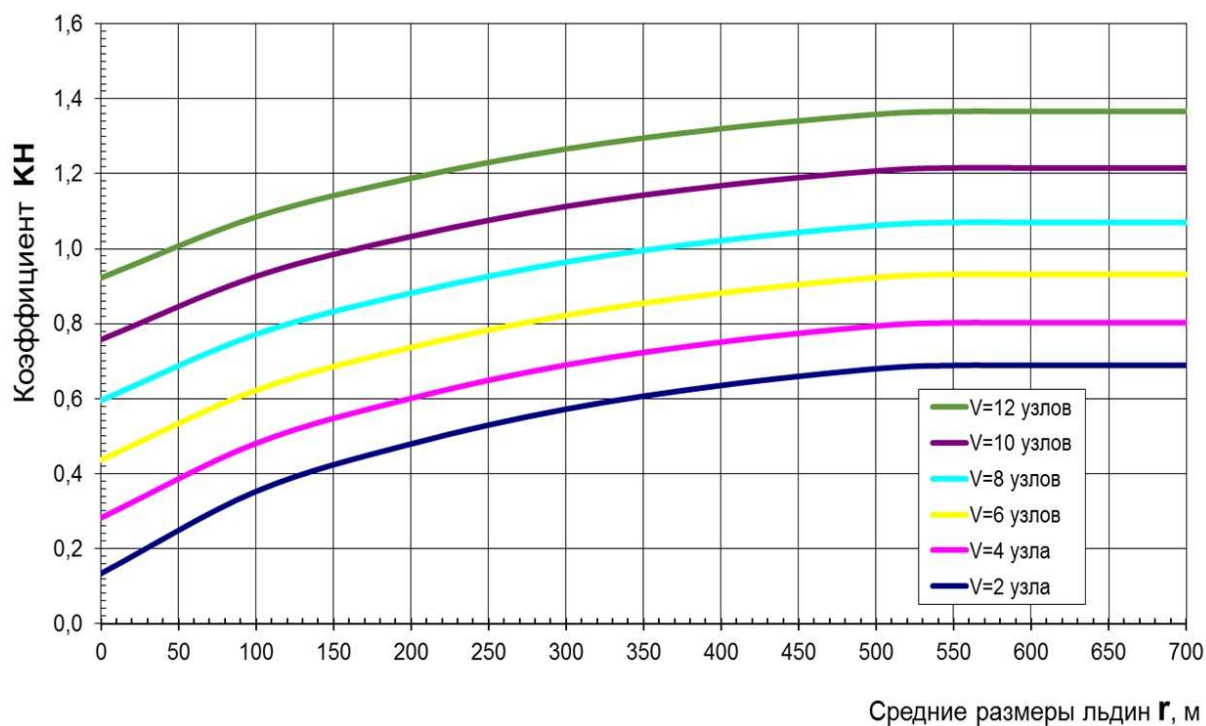


Рис. 6. Значение коэффициента KH в зависимости от средних размеров льдин Γ для различных скоростей судна для классов Arc4 — Arc7

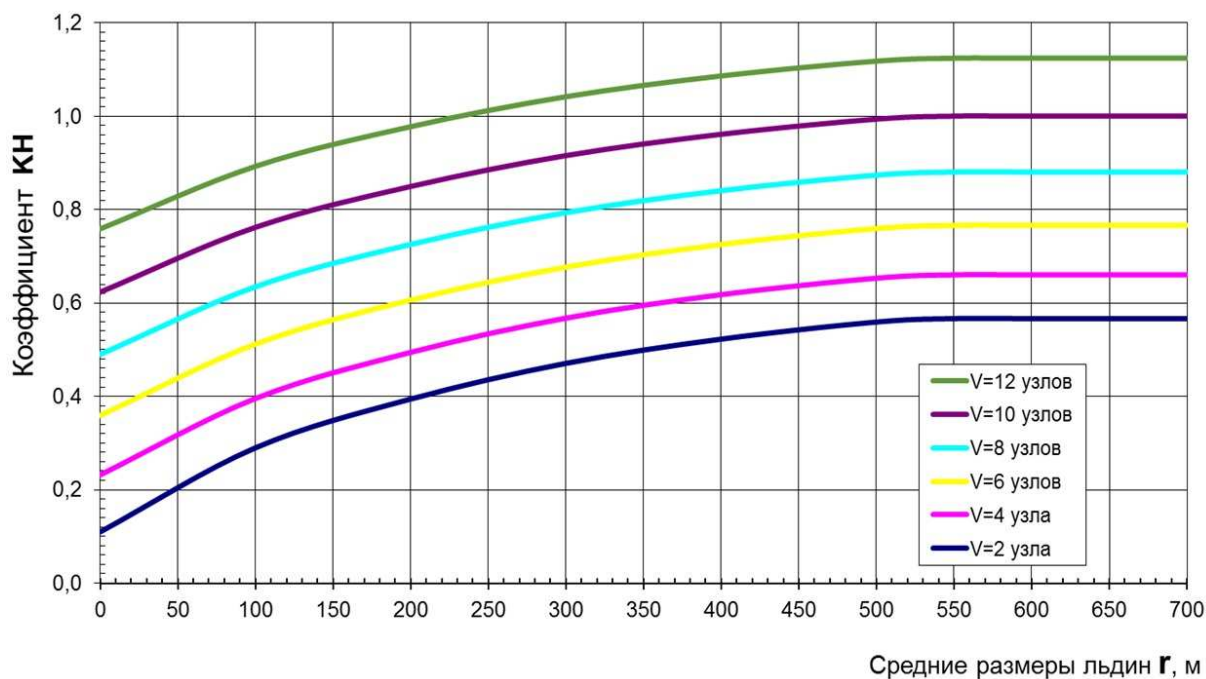


Рис. 7. Значение коэффициента KH в зависимости от средних размеров льдин Γ для различных скоростей судна для класса Arc8

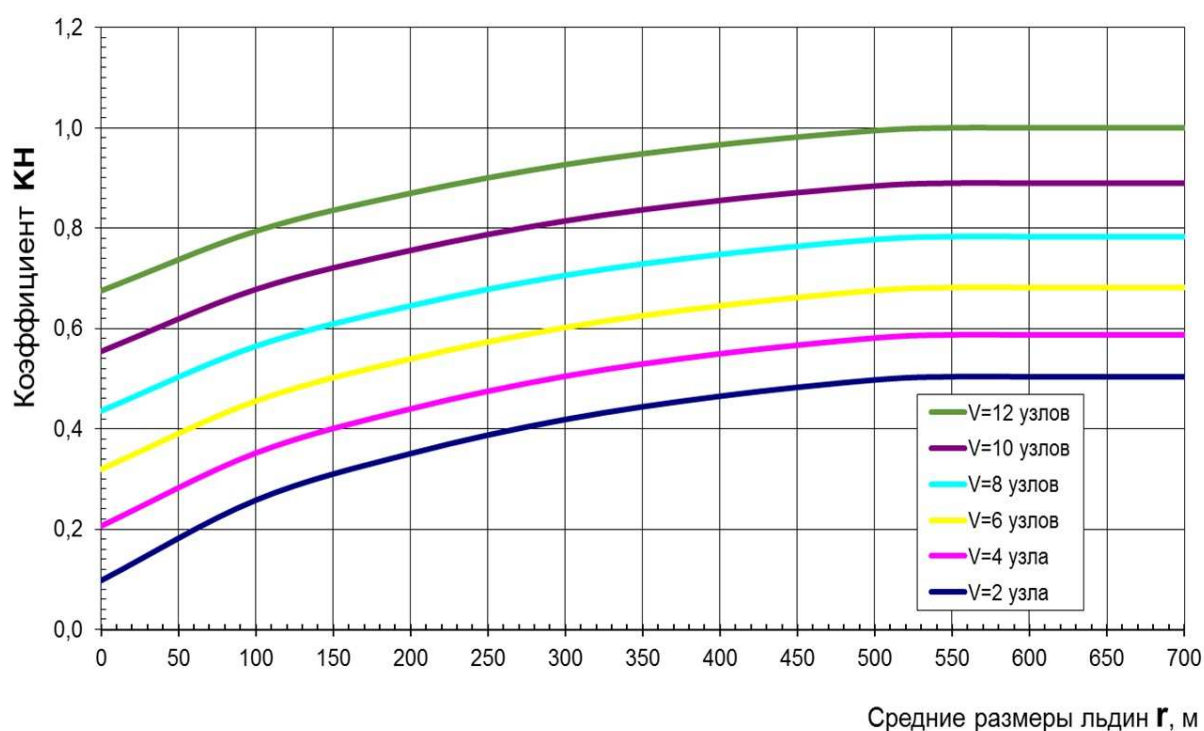


Рис. 8. Значение коэффициента KH в зависимости от средних размеров льдин Γ для различных скоростей судна для класса Arc9

Таблица 3-1

Значение коэффициента KH в зависимости от скорости для ледовых классов Ice1 — Ice3

Форма и размеры льда			Коэффициент KH для скорости V , уз					
Цифровой символ F	Описание льда	Размеры льдин Γ , м	2	4	6	8	10	12
0	Блинчатый лед	0,3 — 3	0,16	0,32	0,5	0,69	0,87	1,06
1	Тертый лед, каша	<2	0,16	0,32	0,5	0,69	0,87	1,06
2	Мелкобитый лед	<20	0,18	0,36	0,53	0,71	0,9	1,08
3	Крупнобитый лед	20 — 100	0,32	0,47	0,64	0,82	1,0	1,18
4	Обломки ледяных полей	100 — 500	0,66	0,8	0,95	1,11	1,29	1,46
5	Большие ледяные поля	500 — 2000	0,8	0,93	1,08	1,24	1,4	1,58
6	Обширные ледяные поля	2000 — 10 000	0,8	0,93	1,08	1,24	1,4	1,58
7	Гигантские ледяные поля	> 10 000	0,8	0,93	1,08	1,24	1,4	1,58
8	Припай	—	0,8	0,93	1,08	1,24	1,4	1,58
9	Айсберги	—	—	—	—	—	—	—
X	Неизвестно	Неизвестно	0,8	0,93	1,08	1,24	1,4	1,58

Таблица 3-2

Значение коэффициента KH в зависимости от скорости для ледовых классов Arc4 — Arc7

Форма и размеры льда			Коэффициент KH для скорости V , уз					
Цифровой символ F	Описание льда	Размеры льдин Γ , м	2	4	6	8	10	12
0	Блинчатый лед	0,3 — 3	0,14	0,29	0,45	0,62	0,78	0,95
1	Тертый лед, каша	<2	0,14	0,29	0,45	0,62	0,78	0,95
2	Мелкобитый лед	<20	0,16	0,32	0,47	0,63	0,80	0,96
3	Крупнобитый лед	20 — 100	0,29	0,42	0,57	0,73	0,89	1,05
4	Обломки ледяных полей	100 — 500	0,59	0,71	0,85	0,99	1,15	1,30
5	Большие ледяные поля	500 — 2000	0,71	0,83	0,96	1,11	1,25	1,41
6	Обширные ледяные поля	2000 — 10 000	0,71	0,83	0,96	1,11	1,25	1,41
7	Гигантские ледяные поля	> 10 000	0,71	0,83	0,96	1,11	1,25	1,41
8	Припай	—	0,71	0,83	0,96	1,11	1,25	1,41
9	Айсберги	—	—	—	—	—	—	—
X	Неизвестно	Неизвестно	0,71	0,83	0,96	1,11	1,25	1,41

Таблица 3-3

Значение коэффициента KH в зависимости от скорости для ледовых классов Arc8

Форма и размеры льда			Коэффициент KH для скорости V , уз					
Цифровой символ F	Описание льда	Размеры льдин r , м	2	4	6	8	10	12
0	Блинчатый лед	0,3 — 3	0,12	0,24	0,37	0,51	0,64	0,78
1	Тертый лед, каша	<2	0,12	0,24	0,37	0,51	0,64	0,78
2	Мелкобитый лед	<20	0,13	0,26	0,39	0,52	0,66	0,79
3	Крупнобитый лед	20 — 100	0,24	0,35	0,47	0,60	0,74	0,87
4	Обломки ледяных полей	100 — 500	0,49	0,59	0,70	0,82	0,95	1,07
5	Большие ледяные поля	500 — 2000	0,59	0,68	0,79	0,91	1,03	1,16
6	Обширные ледяные поля	2000 — 10 000	0,59	0,68	0,79	0,91	1,03	1,16
7	Гигантские ледяные поля	> 10 000	0,59	0,68	0,79	0,91	1,03	1,16
8	Припай		0,59	0,68	0,79	0,91	1,03	1,16
9	Айсберги		—	—	—	—	—	—
X	Неизвестно	Неизвестно	0,59	0,68	0,79	0,91	1,03	1,16

Таблица 3-4

Значение коэффициента KH в зависимости от скорости для ледовых классов Arc9

Форма и размеры льда			Коэффициент KH для скорости V , уз					
Цифровой символ F	Описание льда	Размеры льдин r , м	2	4	6	8	10	12
0	Блинчатый лед	0,3 — 3	0,10	0,20	0,32	0,44	0,55	0,67
1	Тертый лед, каша	<2	0,10	0,20	0,32	0,44	0,55	0,67
2	Мелкобитый лед	<20	0,11	0,23	0,34	0,45	0,57	0,68
3	Крупнобитый лед	20 — 100	0,20	0,31	0,42	0,54	0,66	0,77
4	Обломки ледяных полей	100 — 500	0,42	0,51	0,60	0,70	0,82	0,92
5	Большие ледяные поля	500 — 2000	0,51	0,59	0,68	0,78	0,89	1,00
6	Обширные ледяные поля	2000 — 10 000	0,51	0,59	0,68	0,78	0,89	1,00
7	Гигантские ледяные поля	> 10 000	0,51	0,59	0,68	0,78	0,89	1,00
8	Припай		0,51	0,59	0,68	0,78	0,89	1,00
9	Айсберги		—	—	—	—	—	—
X	Неизвестно	Неизвестно	0,51	0,59	0,68	0,78	0,89	1,00

5.3. Плавание в сплоченных льдах (от 8 до 10 баллов сплоченности).

Этот режим движения, при котором судно совмещает раздвигание льдин с преодолением перемычек сплошного льда, когда приходится ломать крупные льдины. Его можно рассматривать как переходный между режимами 2 и 4. При высокой общей концентрации вероятность встретить лед любой из присутствующих фракций практически стопроцентная, при этом маневренные качества судна во льдах обычно не позволяют свободно уклоняться от встречи с какой-либо конкретной льдиной или фракцией льда. Соответственно, для этого режима эквивалентная толщина льда должна быть равна не среднему значению с учетом концентрации, а максимальному из присутствующих фракций льда. В этом случае формула для оценки эквивалентной толщины льда примет следующий вид:

$$P = \frac{C}{H_{eq} \cdot C_{et}} \max\{H_{Si} \cdot KH_i\}. \quad (7)$$

Если в расчете учитываются только три фракции льда a , b и c , как это обыкновенно бывает на ледовых картах, формула (7) примет вид:

$$P = \frac{C}{H_{eq} \cdot C_{et}} \max\{H_{Sa} \cdot KH_a; H_{Sb} \cdot KH_b; H_{Sc} \cdot KH_c\}, \quad (8)$$

где C_a , C_b , C_c — сплоченность льда по фракциям согласно ледовой карте или визуальным наблюдениям;
 H_{Sa} , H_{Sb} , H_{Sc} — толщина льда фракций a , b и c ;
 KH_a , KH_b , KH_c — коэффициент эквивалентной толщины льда фракций a , b и c ;
 C — общая сплоченность льда;
 C_{et} и H_{et} — эталонные для данного класса судна значения сплоченности и допустимой толщины льда.

5.4. Плавание в сплошном льду.

Плавание в сплошном льду происходит путем ломки льда при контакте с корпусом. При этом режиме воздействие льда на корпус судна определяется в основном прочностью и толщиной льда. Разрушение льда происходит в результате его изгиба, при этом минимальное необходимое усилие для разрушения прямо пропорционально прочности льда на изгиб и квадрату толщины льда. Для этого режима оценку эквивалентной толщины льда H_e можно не производить, так как лед сплошной. Чтобы оценить опасность в зависимости от скорости, удобно воспользоваться формулами (7) и (8), а плавание в этом режиме можно считать частным случаем режима плавания в сплоченных льдах, так как разница в сопротивлении в битых льдах с концентрацией 10/10 и сплошном льду будет учитываться коэффициентом KH . Если взглянуть на диаграмму 3, то при высоких значениях размеров льдин, соответствующих типам ледовых образований «Большие ледяные поля» и «Обширные ледяные поля», значение коэффициента асимптотически приближается к горизонтальной линии, которая и соответствует сплошному однородному льду.

5.5. Режим плавания в канале за ледоколом.

При движении ледокола в ровном льду со скоростью не менее 7 уз за его кормой сохраняется чистая вода на расстоянии, равном примерно длине ледокола. Далее канал постепенно закрывается льдом, сплоченность которого достигает 9 — 10 баллов. 80 % битого льда в канале — мелкий лед, размеры льдин составляют 2 — 3 толщины льда. 20 % — это более крупные льдины, размером до 20 м, образуются в основном при расширении канала ледоколом и при работе ледокола набегам. По мере прохождения судов по каналу размеры и количество таких крупных льдин уменьшается. Дальнейшая картина льда в канале зависит от времени года. В теплый период лед в канале вытаивает (до 30 % за 10 дней). В холодный период, наоборот, смерзается. Скорость смерзания зависит от температуры. Полное смерзание льда в канале при толщине первоначального льда 1 м происходит при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 12 суток, при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 6 суток, при температуре $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 4 суток. После полного смерзания льда в канале рекомендуется пробивать новый канал на расстоянии не менее 20 м от старого, так как лед в нем становится прочнее и толще первоначального. Для получения значения H_{eq} для этого режима можно предложить два возможных варианта.

С учетом состояния льда в канале, проложенном ледоколом, можно произвести расчет по формуле (8), которая описывает режим 3, но изменив значение исходных данных, учитывая, что в результате работы ледокола лед разрушился и принял формы, описанные выше. Значения сплоченности должны быть приняты $C=10$, $C_a=2$, $C_b=8$, $C_c=0$. Значения F должны приниматься $F_a=2$, $F_b=1$, $F_c=0$. Значения толщины льда S должны быть оставлены без изменений, как для первоначального льда самой толстой фракции. Если каналом пользовались многократно, то лед в канале становится более однородным, и тогда значения параметров льда станут следующими: $C=10$, $C_a=10$, $C_b=0$, $C_c=0$, $F_a=1$, $F_b=0$, $F_c=0$.

Если судно имеет ледовый класс КО, которое регламентирует толщину льда при следовании за ледоколом (например, Регистра), то при определении допустимости совершения плавания в качестве эталонной H_{eq} берется величина допускаемой толщины льда при плавании с ледоколом. Если же таких рекомендаций в Правилах КО нет, то этот фактор не учитывают, принимая это как ошибку в безопасную сторону.

6. РЕЗЮМЕ: ОПИСАНИЕ РАСЧЕТА

В качестве исходных данных для расчета оценки риска R используется информация с ледовой карты (рис. 9), где

C — общая сплоченность льда по десятибалльной системе;

C_a , C_b , C_c — сплоченность льда в ледовой зоне: самого толстого (C_a), менее толстого (C_b) и третьего по толщине (C_c);

S_a , S_b , S_c — возраст льда по цифровой символике, сплоченность которого равна C_a , C_b , C_c соответственно;

F_a , F_b , F_c — преобладающие формы льда по цифровой символике, сплоченность которого равна C_a , C_b , C_c соответственно и толщина которого равна S_a , S_b , S_c соответственно.

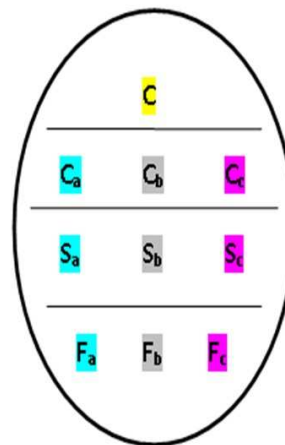


Рис. 9. Обозначение на ледовой карте

6.1. Определение режима движения судна во льдах.

Если $C = 1 \div 2$ и $F \neq 5 \div 8$ режим I.

Если $C = 3 \div 7$ и $F \neq 5 \div 8$ режим II.

Если $C = 8 \div 10$ или $F = 5 \div 8$ режим III.

Режимом IV считаем движение за ледоколом.

6.2. Оценка риска R.

Режим I — движение по свободной воде с уклонением от столкновения со льдами. Лед настолько разреженный, что для этого режима определение эквивалентной толщины льда H_{eq} не актуально, поэтому и оценка риска не будет адекватно отражать безопасность плавания. Допустимо плавание для судов всех ледовых классов и для судов без ледового класса. Ограничения должны касаться допустимой скорости во льдах, обеспечивающей либо отсутствие повреждений при столкновении со льдинами, либо возможность уклониться от столкновения.

Режим II — движение в разреженных и сплоченных льдах. Для этого режима

$$P = (H_{Sa} \cdot KH_a \cdot C_a + H_{Sb} \cdot KH_b \cdot C_b + H_{Sc} \cdot KH_c \cdot C_c) / H_{et} \cdot C_{et},$$

где C_a, C_b, C_c — сплоченность льда по фракциям согласно ледовой карте или визуальным наблюдениям;

H_{Sa}, H_{Sb}, H_{Sc} — толщина льда фракций a, b и c ;

KH_a, KH_b, KH_c — коэффициент эквивалентной толщины льда, берется из табл. 2 в зависимости от значений F_a, F_b, F_c на ледовой карте и от планируемой скорости судна, может быть уточнен на основе визуальных наблюдений с помощью графика на рис. 3-1 — 3-4;

C_{et} и H_{et} — эталонные для данного класса судна значения сплоченности и допустимой толщины льда.

Режим III — движение в сплошных и очень сплоченных льдах. Для этого режима

$$P = \frac{C}{H_{eq} \cdot C_{et}} \max \{H_{Sa} \cdot KH_a; H_{Sb} \cdot KH_b; H_{Sc} \cdot KH_c\},$$

где C_a, C_b, C_c — сплоченность льда по фракциям согласно ледовой карте или визуальным наблюдениям;

H_{Sa}, H_{Sb}, H_{Sc} — толщина льда фракций a, b и c ;

KH_a, KH_b, KH_c — коэффициент эквивалентной толщины льда фракций a, b и c ;

C — общая сплоченность льда;

C_{et} и H_{et} — эталонные для данного класса судна значения сплоченности и допустимой толщины льда.

6.3. Условие допустимости плавания.

Оценка риска R согласно данной методике представляет из себя отношение вероятности получения повреждений при плавании в определенных ледовых условиях к вероятности получения повреждений при совершении плавания в условиях, допускаемых КО для судна данного ледового класса (эталонных условиях). При этом если $R \leq R_{etalon} = 1$, то риск считается допустимым.

6.4. Применение данной методики к классам иных классификационных обществ (ИКО).

Правила ИКО, Финско-шведские правила и унифицированные требования МАКО, к сожалению, не дают таких подробных рекомендаций по режимам движения судна во льдах, как Правила Регистра. Единственный путь использовать данную методику для этих классов — определить приблизительную эквивалентность классов исходя из сравнения допускаемых КО условий плавания. Этот вопрос потребует отдельной публикации.

ВЫВОДЫ

1. На основе имеющегося в Регистре опыта классификации судов ледового плавания предложена система ледовых ограничений, которая может рассматриваться как альтернатива системе POLARIS, предлагаемой ИМО. В отличие от системы POLARIS, она включает ледовые классы Регистра и исключает дискриминационный подход, допуская применение ледовых классов любых КО, включая классы МАКО и Финско-шведские ледовые классы.

2. Предложенная система, так же как система POLARIS и канадская система режимов арктического судоходства AIRSS, основана на оценке рисков. Однако бесспорным преимуществом системы POLARIS является то, что она позволяет оперативно оценивать риск совершения плавания в конкретной ледовой обстановке путем несложных расчетов.

3. В качестве исходных данных для оценки риска используются параметры льда, содержащиеся на ледовой карте (сплоченность, возраст и преобладающие формы льда). Это отличает предложенную систему от системы POLARIS, которая учитывает только две первые характеристики. Применение более подробных характеристик ледового покрова, таких как торосистость, сжатие и т.п., привело бы к существенному усложнению системы и, по мнению автора, затруднило бы ее оперативное применение.

4. Представленная система ледовых ограничений предложена в порядке обсуждения и нуждается в апробации как в реальных условиях, так и с помощью методов имитационного моделирования, по результатам применения которых возможны уточнения и поправки. Автор готов сотрудничать в этом направлении с любыми заинтересованными сторонами. Однако у автора есть уверенность, что даже в настоящем виде получаемая с помощью предлагаемой системы картина ледовых ограничений будет более адекватна по сравнению с системой POLARIS, рекомендованной сейчас ИМО.

5. Автор надеется, что предложенная система может заинтересовать как судовладельцев, так и Администрацию СМП, и применение ее позволит отойти от регламентации ледового плавания в зависимости от географического района и даты совершения плавания и позволит ориентироваться на сложившуюся ледовую обстановку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Resolution MSC.385(94) International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code). 2014.
2. Шурпак В.К. Полярный кодекс ИМО: предварительный анализ первой части (требования по безопасности) / В.К. Шурпак // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2015. — № 38/39. — С. 8 — 17. — EDN TXPYGH.
3. Canadian Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations (CASPPR). [Электронный ресурс] URL: <http://laws-lois.justice.gc.ca>. 2016.
4. Правила плавания в акватории Северного морского пути. Постановление Правительства РФ № 1487, 2020.
5. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2. Revised guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. 2018.
6. AIRSS 1996. Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) Standards, Transport Canada, June 1996, TP 12259E, 46 p, Ottawa, Ont., Canada.
7. MSC.1/Circ.1519. Guidance on methodologies for assessing operational capabilities and limitations in ice. 2016.
8. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. I. Классификация / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2025.
9. Арикайнен А.И. Азбука ледового плавания / А.И. Арикайнен, К.Н. Чубаков. — М.: Транспорт, 1987. — 224 с.
10. Рывлин А.Я. Испытания судов во льдах / А.Я. Рывлин, Д.Е. Хейсин. — Л.: Судостроение, 1980. — 208 с.
11. Каштелян В.И. Ледоколы / В.И. Каштелян, А.Я. Рывлин, О.В. Фаддеев, В.Я. Ягодкин. — Л.: Судостроение, 1972. — 288 с.
12. Каштелян В.И. Сопротивление льда движению судна / В.И. Каштелян, И.И. Позняк, А.Я. Рывлин. — Л.: Судостроение, 1968. — 234 с.

REFERENCES

1. Resolution MSC.385(94) International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code). 2014.
2. Shurpyak V.K. IMO Polar Code: a preliminary analysis of the first part (safety requirements). *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2015. No. 38/39. P. 8 — 17. EDN TXPYGH. (In Russ.)
3. Canadian Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations (CASPPR). URL: <http://laws-lois.justice.gc.ca>. 2016.
4. Rules of Navigation in the Water Area of the Northern Sea Route. The Government Decree of the Russian Federation No. 1487, 2020. (In Russ.)
5. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2 Revised guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. 2018.
6. AIRSS 1996. Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) Standards, Transport Canada, June 1996, TP 12259E, 46 p, Ottawa, Ont., Canada.
7. MSC.1/Circ.1519 Guidance on methodologies for assessing operational capabilities and limitations in ice. 2016.
8. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part I. Classification / Russian Maritime Register of Shipping. — St. Petersburg, 2025.
9. Arikainen A.I., Chubakov K.N. The ABC of ice navigation. Moscow: Transport, 1987. 224 p.
10. Ryvlin A.Ya., Heisin D.E. Trials of ships in the ice. Leningrad: Sudostroenie, 1980. 208 p.
11. Kashtelyan V.I., Ryvlin A.Ya., Faddeev O.V., Yagodkin V.Ya. Icebreakers. Leningrad: Sudostroenie, 1972. 288 p.
12. Kashtelyan V.I., Poznyak I.I., Ryvlin A.Ya. Resistance of ice to ship movement. Leningrad: Sudostroenie, 1968. 234 p.

УДК 327.7 + 341 + 656.61
EDN WZYSQH

ОБ ОСНОВАХ ВНЕДРЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНВЕНЦИИ О ПОДГОТОВКЕ И ДИПЛОМИРОВАНИИ МОРЯКОВ И НЕСЕНИИ ВАХТЫ

С.Н. Василевский, главный специалист, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: vasilevskiy.sn@rs-class.org

В статье рассмотрена часть требований Конвенции ПДНВ к обязательствам морских администраций в отношении систем стандартов качества, в рамках которых должна управляться подготовка моряков. Представлен обзор реализации этих требований Морской администрацией РФ, краткая история их изменений за последние 15 лет. Определен ряд проблем в реализации требований МК ПДНВ на разных уровнях — морской администрации и отдельных организаций. На основе данных об успешно пройденных проверках Морской администрации предложены способы закрепления положительных изменений в реализации требований МК ПДНВ.

Ключевые слова: Конвенция ПДНВ, система стандартов качества, независимая оценка внедрения требований МК ПДНВ, обязательства морской администрации.

Для цитирования: Василевский С.Н. Об основах внедрения и перспективах развития международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты / С.Н. Василевский // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 29 — 37. — EDN WZYSQH.

INTERNATIONAL CONVENTION ON STANDARDS OF TRAINING, CERTIFICATION AND WATCHKEEPING FOR SEAFARERS: CORE OF IMPLEMENTATION AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT

S.N. Vasilevskiy, Principal Specialist, Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: vasilevskiy.sn@rs-class.org

The article addresses part of the STCW Convention requirements for maritime administrations' obligations regarding quality standards system of seafarer training. The work provides an overview of the implementation of these requirements by the Maritime administration of the Russian Federation and a brief review of their changes over the past 15 years. The problematics of the STCW requirements implementation is pointed out at different levels — maritime administration and specific organizations. Based on the information on the audits successfully undergone by the Maritime administration of Russia, the ways to consolidate positive changes in the methods of STCW requirements implementation are proposed.

Key words: STCW, quality standards system, independent evaluation of the STCW implementation, obligations of maritime administration.

For citation: Vasilevskiy S.N. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers: core of implementation and prospects for development. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 29 — 37. EDN WZYSQH. (In Russ.)

1. ТРЕБОВАНИЯ И ПОДХОДЫ МК ПДНВ

Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (далее — МК ПДНВ) была принята в первой редакции в 1978 г. и дважды перерабатывалась — в 1995 и 2010 гг. Последняя версия 2010 г. принята на конференции в Маниле, поэтому действующие требования Конвенции и Кодекса называются Манильскими поправками [1]. Незначительные дополнения и изменения вносятся в Конвенцию и Кодекс почти каждый год, но они достраивают имеющиеся требования, не меняя их фундаментально и сохраняя, таким образом, подход к регулированию процессов подготовки и дипломирования, предложенный в 2010 г.

МК ПДНВ является самой «молодой» из основополагающих международных конвенций. Заложенные в МК СОЛАС принципы регулирования области ее применения не менялись с 1972 г., в МК МАРПОЛ — с 1978 г. МК ПДНВ значительно отличается от других конвенций и кодексов прозрачностью и структурированностью требований, а также прослеживаемостью определенного подхода к установлению требований в отношении предмета регулирования. Одно из преимуществ этого подхода заключается в том, что требования к деятельности морской администрации страны-подписанта Конвенции направлены на два конкретных аспекта. В общем виде эти требования можно представить на схеме.

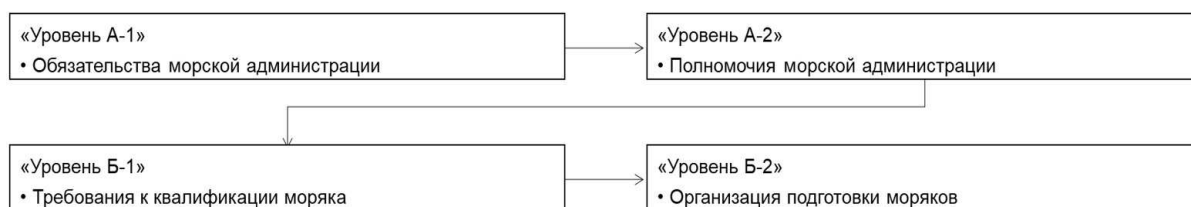


Рис. 1. Требования МК ПДНВ и их реализация

Первый уровень (условно «Уровень А») — это обязательства морской администрации и общие требования к тем механизмам, посредством которых морская администрация должна обеспечить реализацию своих обязательств в области подготовки и дипломирования. Конкретные требования к квалификации моряков по конкретным направлениям — это требования, которые установлены уровнем ниже (условно «Уровень Б»). В МК ПДНВ при этом заложен так называемый компетентный подход: моряк должен «знать», «уметь», «применять на практике», «выполнять действия» в отношении конкретных перечисленных требований, то есть в совокупности обладать конкретной компетентностью. Компетентность эта, измеримая и проверяемая, позволяет моряку вести деятельность в соответствии со своей должностью на судне именно и непосредственно для того, чтобы обеспечивать безопасность мореплавания и сохранность окружающей среды. Совокупность упомянутых «знаний и умений» составляет так называемый стандарт компетентности. Такой стандарт компетентности описан для каждой должности или каждой специализации моряка в самой Конвенции (соответствующем ее Правиле). Его конкретное содержание представлено в соответствующих разделах и таблицах Кодекса ПДНВ, где установлены перечни конкретных знаний и навыков, методы их приобретения, демонстрации и подтверждения.

Таким образом, МК ПДНВ устанавливает требования только к обязанностям морской администрации («А-1») и к квалификации конкретного моряка («Б-1»). Положения, описывающие реализацию этих требований (механизмы реализации обязательств, «А-2», и процессы приобретения моряком установленной квалификации, «Б-2»), в Конвенции отсутствуют. Пока просто зафиксируем этот момент, не останавливаясь на нем подробно: в МК ПДНВ отсутствуют требования к организации процессов приобретения моряком квалификации; также нет там и требований к организациям, в которых квалификация приобретается. По существу, требования Конвенции к деятельности морской администрации сводятся к необходимости обеспечить, чтобы:

- все требования к компетентности моряка для конкретной должности или специфической деятельности на судне были определены морской администрацией, и
- все курсы подготовки и процедуры оценки в стране-подписанте Конвенции находились под управлением так называемой системы стандартов качества.

Место и роль системы стандартов качества (далее — ССК) тоже нуждается в уточнении, которое будет дано далее. Рассматривая же требования к стандартам качества, которые установлены в Правиле 1/8, первоначально можно остановиться на двух положениях:

- процессы подготовки и дипломирования должны либо находиться под контролем морской администрации посредством ССК (в случае их осуществления неправительственными организациями), либо

существовать в рамках ССК (в случае, если деятельность осуществляется правительственными организациями или самой администрацией),

- не реже, чем каждые пять лет, администрация должна проводить независимую оценку внедрения требований МК ПДНВ и сообщать ее результаты в ИМО.

Таким образом, система стандартов качества предполагается к внедрению на уровне морской администрации и должна обеспечивать управление как процессами подготовки и дипломирования, так и процессами независимой оценки деятельности администрации.

2. НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП РЕАЛИЗАЦИИ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ МОРСКОЙ АДМИНИСТРАЦИИ

В Российской Федерации требования Манильских поправок к МК ПДНВ были реализованы через Постановление Правительства РФ № 832 2009 г. о наделении Минтранса России полномочиями в области внедрения требований МК СОЛАС и МК ПДНВ. Для реализации этих полномочий в части МК ПДНВ Минтрансом России были изданы устанавливающие порядок внедрения отдельных требований приказы:

- 1) № 32 [2] в 2010 г. впервые установил порядок одобрения типов судовой и береговой радио- и навигационной аппаратуры, порядок освидетельствования береговых объектов, а также порядок освидетельствования учебно-тренажерных центров для подготовки моряков (на момент издания приказа требования касались только УТИ по подготовке судоводителей и радиоспециалистов);

- 2) № 157 [3] в 2011 г. установил порядок признания Минтрансом классификационных обществ, освидетельствующих суда, и порядок признания морских образовательных организаций, готовящих моряков;

- 3) № 62 [4] в 2012 г. утвердил положение о дипломировании моряков, в котором для каждой должности и, таким образом, для получения каждого квалификационного документа из возможных установлены требования по прохождению определенных подготовок.

На начальном этапе внедрения требований этих приказов существовала некоторая неопределенность в отношении «курсов подготовки» (в терминологии МК ПДНВ) и порядка управления ими со стороны администрации. Было неясно, какими методами и средствами должна быть сформирована требуемая компетентность и как сама морская администрация должна ее обеспечить [5]. То есть в 2012 г. имелся точно такой же, как и в самой Конвенции, разрыв требований между уровнем планирования («Уровень А-1» — морская администрация) и уровнем организации подготовки («Уровень Б-2» — образовательные организации, включая тренажерные центры, о которых речь пойдет далее). МК ПДНВ устанавливает лишь некоторые конкретные требования к курсам подготовки — например, необходимо одобрение со стороны морской администрации применяемых при подготовке тренажеров, курсов в целом, реализуемых программ практической подготовки непосредственно на судне. Нужно подчеркнуть, что МК ПДНВ не устанавливает требования к процессу подготовки — курсы подготовки должны обеспечивать приобретение определенных компетенций (это требование, кстати, нигде не сформулировано непосредственно, но предполагается ввиду очевидности), а также находиться под контролем «посредством системы стандартов качества». Иных требований к подготовке не существует. Более детальные требования к процессу подготовки, исходя из логики полномочий и иерархии морской администрации и образовательных организаций, должны (или могут, поскольку прямого требования в Конвенции нет) быть разработаны и/или утверждены морской администрацией. К 2014 г. они разработаны еще не были.

Именно 2014 г. стал отправной точкой изменений, благодаря которым значительно возрос уровень соответствия конвенционным требованиям, поскольку в этом году впервые была проведена формальная независимая оценка внедрения требований МК ПДНВ.

Проведение независимой оценки было поручено Регистру, что справедливо расценивается как признание авторитета Регистра Морской администрацией РФ. Регистр успешно провел оценку, осуществив сплошной аудит процессов подготовки во всех признанных образовательных организациях и центрах подготовки, а также процессов дипломирования во всех наделенных полномочиями службах капитанов морских портов. Всего за полгода было проведено 130 проверок в 85 организациях, в ходе которых были выявлены ключевые проблемы как в области процессов подготовки, так и в нормативном регулировании внедрения требований МК ПДНВ на всех уровнях.

При этом основной упор в рамках этой независимой оценки был сделан на образовательные организации и тренажерные центры, поскольку иной «точки приложения» не существовало: и у Морской администрации, и у образовательных организаций тогда еще сохранялось представление, что требования МК ПДНВ в

основном внедряют сами образовательные организации через свои программы подготовки. Следовательно, и результаты проверки относились преимущественно к образовательным организациям: отмечались недостаточный учет конвенционных требований при планировании содержания программ подготовки, недостаточный стаж практической подготовки на судне, невыполнение требований к тренажерной подготовке и ряд иных аспектов. По окончании первого этапа проверки информация об областях улучшения была официально доведена до проверенных организаций. Большинство образовательных организаций в рамках реализации корректирующих действий разработало подробные внутренние требования к элементам процесса конвенционной подготовки. Лучшие наработки впоследствии обсуждались и гармонизировались на научно-практических конференциях, семинарах, в отраслевой печати. Но для обеспечения единообразия требований было принято решение о необходимости изменения также и нормативной базы подготовки моряков в целом.

3. НАПРАВЛЕНИЯ И УЧАСТНИКИ ПОДГОТОВКИ, ФОРМИРУЮЩИЕ СОСТАВ ССК

Для того чтобы разрешить имеющиеся противоречия между уровнем планирования (Морская администрация) и уровнем реализации требований (организаторы подготовки), «Положение о дипломировании членов экипажей морских судов» было дополнено сначала в 2015 г., а затем снова и в действующей редакции утверждено приказом Минтранса России № 378 от 08.11.2021 г. В настоящее время этот документ на самом высоком уровне из возможных наиболее полно определяет порядок не только дипломирования, но и подготовки моряков в Российской Федерации.

Для моряков основным уточнением Положения о дипломировании стало распределение отдельных курсов подготовки, которые моряк должен пройти для получения того или иного квалификационного документа, между двумя типами организаций: учебно-тренажерными центрами, ведущими специфические подготовки для любых должностей на судне, и морскими образовательными организациями, реализующими программы базовой подготовки и повышения квалификации в области конкретных должностей. Полезно будет наглядно показать распределение направлений подготовки между морскими образовательными организациями (МОО) и учебно-тренажерными центрами (УТЦ).

Для Морской администрации же одним из способов реализации главного из ее обязательств в 2015 г. стало внедрение требования о наличии «освидетельствованной системы стандартов качества» для МОО и УТЦ. Решение казалось очевидным, поскольку и в разделе А-I/8 обязательной, и особенно в разделе В-I/8 рекомендательной части Кодекса ПДНВ содержатся положения относительно системы стандартов качества, часть которых, особенно на слух, воспринимались как похожие на требования к системам менеджмента качества, которые были внедрены и даже сертифицированы в большинстве образовательных организаций. С учетом значительного опыта сертификации систем менеджмента, по итогам нескольких конференций с Морской администрацией и участниками отрасли Минтранс проинформировал организации, связанные с подготовкой и дипломированием моряков, что Регистр может и готов проводить освидетельствования систем стандартов качества.



Рис. 2. Распределение направлений подготовки

Кроме того, для установления единого подхода к реализации конвенционных требований в отношении тренажерной подготовки Морская администрация в лице Минтранса России инициировала разработку проекта нормативного документа, детализирующего требования к деятельности тренажерных центров как в рамках базовой подготовки моряков, так и в рамках поддержания и повышения имеющейся компетентности. Также проект документа должен был уточнить требования к процессу проверок в целях признания тренажерной деятельности со стороны Морской администрации. Этот эксперимент должен был сблизить уровень планирования государственной политики в области морского транспорта в части обязательств по МК ПДНВ и уровень ее непосредственной организации (образовательные и признанные организации). Первая попытка систематизировать опыт освидетельствований и независимой проверки под эгидой Росморречфлота была сделана Регистром в 2016 г. в виде «Рекомендаций по организации деятельности учебно-тренажерных центров и их освидетельствованию», которые позднее были значительно дополнены профильными вузами. В них появились конкретные технические параметры используемого при подготовке оборудования, организационные параметры процесса обучения, а также весьма подробно описанные элементы ССК. Последнее было внедрено в рекомендации с изначально благой целью — попытаться найти общую базу для распространения и внедрения лучших практик, какой могли стать системы менеджмента качества подведомственных Росморречфлоту вузов и легко воспринимающих новшества частных тренажерных центров. Достоинством применения данного подхода стало широкое распространение знаний о требованиях самой Конвенции и вовлечение организаций, осуществляющих подготовку. Но этот подход также и спровоцировал невольно некоторых участников на отождествление СМК и ССК. По прошествии времени изначальная цель стала забываться, и теперь приходится возвращаться к разъяснению различий между освидетельствованием ССК и сертификацией СМК — «...для того, чтобы объединиться, мы должны сначала решительно и определенно размежеваться».

4. ССК и СМК — ЦЕЛИ И УРОВНИ РЕАЛИЗАЦИИ

Когда речь идет о системах менеджмента (например, качества), то их, как известно, сертифицируют. Сегодня сертификация СМК — это хорошо отработанный, узконаправленный процесс, в ходе которого подтверждается соответствие требованиям определенного стандарта, что может послужить большей удовлетворенности потребителя, других сторон, заинтересованных в успехе организации, то есть ее большей конкурентоспособности. Иначе говоря, одна коммерческая организация (орган сертификации) подтверждает притязания другой коммерческой организации на то, чтобы занять большую долю рынка.

В МК ПДНВ же говорится не о системах менеджмента качества, а о системах стандартов качества. Притом говорится не применительно к отдельной организации, осуществляющей подготовку, а к морской администрации. Положение о дипломировании, хоть и содержит требования к отдельным организациям, требует внедрения именно системы стандартов качества, которая должна быть к тому же освидетельствована. Необходимо обратить внимание на контекст, в котором упоминаются ССК отдельных организаций.

С одной стороны, определения системы стандартов качества в МК ПДНВ нет, хотя в ней терминам и определениям уделено достаточное внимание (им посвящено Правило I/1, а их применению — Рекомендации Международной федерации транспортных рабочих [6]). Есть ли основания считать, что ССК отличается от СМК? Если рассмотреть это на примере образовательных организаций — вузов, техникумов, колледжей, тренажерных центров, то, с одной стороны, объекты одни и те же: документация, оборудование, персонал.

С другой стороны, СМК фокусируется на удовлетворении требований потребителей, а МК ПДНВ ориентирует на обеспечение интересов государства флага и других государств. В рамках сертификации выборочно оцениваются процессы организации. При освидетельствовании же выборка не применяется и происходит сплошная проверка. С точки зрения ISO 9001 главный интересант образовательной услуги — это потребитель, тот, кто платит за услугу или получает ее в рамках принятых государством обязательств. В МК ПДНВ вообще не существует понятия услуги, равно как и понятия потребителя — посредством Конвенции государства договорились друг с другом о минимальных требованиях к квалификации моряков для того, чтобы обеспечить безопасность мореплавания и сохранность окружающей среды. С точки зрения основных документов ИМО моряк должен не быстро и эффективно доставить груз от продавца к покупателю, а при перевозке груза не дать экипажу погибнуть, пароходу сгореть, а грузу загрязнить окружающую морскую среду. Если груз абсолютно безопасен, то с точки зрения конвенций СОЛАС и МАРПОЛ, в обеспечение требований которых в том числе принята МК ПДНВ, груз можно даже потерять. Другой вопрос, что абсолютно безопасных для моря грузов не бывает, поэтому выбрасывать их за борт не следует. Но вопросы

собственности, коммерческих рисков, выгоды и благополучия входят в поле других конвенций, а к подготовке моряков в рамках МК ПДНВ эти аспекты отношения не имеют.

Иными словами, исходя из целей, участников и объектов системы подготовки, МК ПДНВ во главу угла ставит безопасность мореплавания. Поэтому, к примеру, нет необходимости собирать отзывы слушателей и студентов для оценки их удовлетворенности: в ССК будет отличный от СМК механизм мониторинга. Нет и необходимости документировать риски, как требуется в СМК, поскольку риски судоходства определены и даже задокументированы три сотни лет назад и с тех пор не меняются; даже пираты в XXI в. никуда не делись, хотя и стали лучше оснащены технически. Нет требования повышать результативность и эффективность процессов подготовки — только обеспечить выполнение обязательных требований к материально-техническому, кадровому и учебно-методическому обеспечению подготовки. Соответственно, и процессы в ССК могут и должны быть редуцированы до отдельных операций.

Внедренная СМК способствует повышению качества образовательных услуг, но внедрение разнообразных управленческих методов не сказывается на выполнении обязательных конвенционных требований, как видно из динамики выявляемых несоответствий при освидетельствовании отдельных организаций. В 2014 г. несоответствия в отношении разделов А-I/6 (квалификация персонала), А-I/12 (тренажерное оборудование), А-II — А-IV (подготовка для конкретных должностей на судне), А-V — А-VI (подготовка для отдельных типов судов и для критических ситуаций) выявлялись в трети образовательных организаций и половине УТЦ. После 2017 г. такие несоответствия стали носить эпизодический характер и на независимой проверке внедрения требований МК ПДНВ 2019 г. уже системно не выявлялись.

Основное количество несоответствий, обнаруженных при освидетельствованиях, относятся не к ССК, а скорее к СМК организаций (вопросы внутренних аудитов, анализа со стороны руководства, документирования тех или иных процессов с натяжкой можно привязать к разделу А-I/8 только в случае, если в собственных внутренних документах организация сама для себя установила какие-то требования, но теперь сама же их не выполняет). При этом более не выявляются случаи несоответствия квалификации инструкторов, непригодности тренажерного оборудования, необеспечения для курсанта минимально необходимого плавательного ценза или недостаточной входной квалификации слушателя требованиям до начала обучения.

К следующей независимой проверке 2019 г. стало очевидно, что часть применяемых практик избыточна и используется только потому, что это было обеспечено авторитетом высшей школы, включившей ССК в состав своих СМК. При этом несоответствия в отношении специфических глав Кодекса ПДНВ в отношении непосредственной подготовки судоводителей, судовых механиков и радиоспециалистов не сведены к статистической погрешности: они продолжают выявляться в организациях, в которых, как ни парадоксально, не выявляются несоответствия в отношении раздела А-I/8.

Спектр мнений по поводу роли и соотношения СМК и ССК широк. Одни представители высшей школы ставят между ними знак равенства и предлагают ограничиться «косметическими изменениями» [7]. Другие считают, что Конвенция ПДНВ неэффективна, ограничена и грозит большими проблемами традиционной отечественной системе образования, вплоть до полного развала отечественной морской инженерной школы [8]. Подход Манильских поправок критикуют также не за то, что он связан с установлением только минимально необходимых требований, а за то, что он противоречит устоявшейся практике. Целесообразно подчеркнуть в этой связи, что в соответствии с МК ПДНВ минимально допустимый возраст получения диплома вахтенного помощника — 18 лет, старшего помощника — 19, а капитана — 20 лет. К этому возрасту у большинства кандидатов вряд ли имеется возможность отучиться в морском вузе традиционные пять с половиной лет. Целесообразно также учитывать, что государства, подписавшие Конвенцию, имеют серьезные демографические, технические, культурные различия, которые сглаживаются при принятии международных документов путем определенного «усреднения».

Исходя из вышеописанного, важно обратить внимание, что в действующей версии МК ПДНВ нет ни понятия системы менеджмента качества, ни ссылки на какие-либо дополнительные стандарты, связанные с ней. К моменту проведения последней Конференции Сторон Конвенции ПДНВ 2010 года, на которой был принят текст Манильских поправок, уже действовала версия стандарта ISO 9001:2008 [9], который на тот момент был самым прогрессивным стандартом на системы менеджмента и благодаря которому, в определенном смысле, случилась очередная революция в сфере управления. При этом участники конференции, все договаривающиеся правительства, среди которых не могло не быть специалистов, знающих про этот стандарт, сделали выбор в пользу формулировки «система стандартов качества». Описание ССК на уровне морской администрации тоже вышло намеренно ограниченным, состоящим только из конкретных ключевых элементов. Если сравнить его с определением, данным в стандарте ISO 8402-1994 [10], «система качества — совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления руководства качеством», становится ясно, что это не совпадение, а способ выравнивания уровня освоения стандартов странами-участницами.

5. ЭТАП ОРГАНИЗАЦИОННОГО ОФОРМЛЕНИЯ ССК МОРСКОЙ АДМИНИСТРАЦИИ

Сложно оценить, благодаря или вопреки использованию организациями, внедряющими требования Конвенции, созвучных требований, мигрировавших из области сертификации СМК, но у Морской администрации появилось определенное доверие в отношении образовательных организаций. При независимой оценке 2019 г. Минтрансом была согласована возможность проведения уже не сплошной, а выборочной проверки образовательных организаций на основе результатов самооценки. Повысилось доверие к тренажерным центрам — после 2018 г. уже нет случаев отказа Росморречфлота в выдаче свидетельств о соответствии УТЦ. Это не могло произойти без всеобъемлющей поддержки происходивших изменений со стороны Морской администрации, а также без полного погружения представителей МА в процесс (вплоть до непосредственного участия представителей Федерального агентства в комиссиях по освидетельствованию УТЦ).

К настоящему времени ключевые проблемы Морской администрацией успешно решены. В 2020 г. разработан типовой регламент по предоставлению услуги дипломирования, тогда же Росморречфлот утверждает первые примерные программы, которые изменяются в 2022 и 2024 гг. (кстати, с этого момента Рекомендации для УТЦ становятся неактуальны, поскольку не носят обязательного характера, а в некоторых аспектах частично противоречат примерным программам), а в 2021 г. внедрено переработанное Положение о дипломировании. Исходя из опыта участия в проверках всех уровней можно утверждать, что для продолжения деятельности по повышению эффективности внедрения требования МК ПДНВ необходимо взаимодействовать с другими органами исполнительной власти — Минобрнауки, Минздравом, отраслевыми ведомствами. Такой подход отработан в 2024 г.: в рамках проверки Российской Федерации со стороны ИМО появляется опыт взаимодействия с органами исполнительной власти и организациями, вовлеченными в реализацию требований шести основных конвенций ИМО, и этот опыт может быть распространен на следующую независимую оценку внедрения требований МК ПДНВ.

Становится очевидно, что ССК Морской администрации России организационно оформилась, и что процессы подготовки и дипломирования находятся под ее управлением.

В наиболее общем виде она может быть описана как состоящая из следующих компонентов:

- распределенные полномочия и ответственность между Минтрансом России, Росморречфлотом, признанными организациями;
- приказы Минтранса России, устанавливающие требования к отдельным аспектам подготовки и дипломирования;
- примерные программы подготовки моряков по всем без исключения направлениям, включая даже ряд неконвенционных (например, подготовку специалистов автономных и полуавтономных судов);
- процедуры проверок признанных организаций и признания отдельных аспектов подготовки и дипломирования со стороны Морской администрации.

Фактическим подтверждением того, что это и есть полноценная «ССК МА РФ», стало успешное прохождение Российской Федерацией аудита со стороны ИМО в 2024 г., при котором описанный выше подход был представлен аудиторам ИМО и ими не было сделано ни замечаний, ни наблюдений в отношении вопросов внедрения требований МК ПДНВ. В нормативных документах высокого уровня это дословно пока не сформулировано, но отсутствие описания не означает отсутствия явления.

6. ЭТАП УЛУЧШЕНИЯ — ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ

В ближайшем будущем нас ждет некоторое количество потенциально значимых изменений в области управления деятельностью по подготовке и дипломированию моряков со стороны морской администрации.

Во-первых, грядет всесторонний и всеобъемлющий пересмотр МК ПДНВ [11]. Вернее, технически он уже начался в 2023 г., и новую версию Конвенции и Кодекса планируют принять к 2030 г. Разобравшись с такими «насущными» вопросами, как введение в медицинское свидетельство моряка третьего варианта выбора в графе «пол» (к слову, это предложение принято мировым сообществом не было), стороны-подписанты Конвенции добрались до определяющих требований в отношении организации подготовки, и в настоящий момент рассматриваются конкретные предложения по изменению Правил первых трех глав Кодекса. Включая, разумеется, и Правило I/8 касательно системы стандартов качества, и Правило I/7 касательно независимых самооценок и отчетности перед ИМО. Обсуждение ведется в отношении

гармонизации процедур самооценки, предусмотренных Конвенцией ПДНВ, и процедур аудита государств-членов ИМО, предусмотренных Кодексом ОДИ. А вот в части ССК (стороны / морской администрации) изменений пока не планируется, требования остаются в действующих формулировках.

Во-вторых, в 2026 г. должна состояться очередная независимая оценка внедрения требований МК ПДНВ в РФ, в которую мы теперь вступаем не с нерешенными проблемами, а с возможностями для улучшения, с возможностью обоснования необходимости улучшения нормативной базы планирования и организации подготовки и дипломирования. Если на прошлых проверках фокусом внимания были образовательные организации и тренажерные центры, то теперь их деятельность приведена в соответствие с требованиями МК ПДНВ и применимыми отечественными нормативными требованиями. Фактически, они находятся под постоянным надзором со стороны признанных организаций и либо Росморречфлота (УТЦ), либо Минтранса России (МОО), проходя различные освидетельствования и признания в среднем раз в два-три года. Требования непосредственно к подготовке и дипломированию, таким образом, выполняются, и теперь, в свете будущих изменений, у Морской администрации есть возможность сконцентрироваться на требованиях более высокого уровня.

Примерные программы для подготовки и повышения квалификации моряков были утверждены Росморречфлотом в 2020, 2022, 2024 гг. Намечается логичная и правильная тенденция, поскольку с каждой новой итерацией примерные программы всё более и более отвечают требованиям непосредственно МК ПДНВ, а не лоббирующим определенные требования крупным «интересантам». Положение о дипломировании действует до марта 2028 г., но нет законодательной нормы, категорически запрещающей пересмотр ведомственных приказов, отмену неактуальных и введение более адаптированных к реальности документов, тем более что в связи с введением в Кодекс торгового мореплавания норм, касающихся автономного судоходства, необходимо задуматься и о дипломировании специалистов, связанных с морскими автономными надводными судами. Формальные основания для изменения приказа 378 имеются, а значит, в рамках его адаптации к современным технологиям можно затронуть и иные вопросы — например, организационно-управленческие.

7. ЭТАП УЛУЧШЕНИЯ — ВНУТРЕННИЕ ФАКТОРЫ

Невозможно простым способом формализовать понятие ССК ни для Морской администрации, ни для отдельных организаций. Не существует механизма внедрения четкого определения в нормативный акт высокого уровня, поскольку существующие нормативные документы не предполагают наличия раздела «Термины и определения». Но, опять же, не существует прямого запрета на определение того или иного понятия через уточнение связанных с определением процессов и областей. Например, потенциально результативным вариантом видится внедрение следующих улучшений:

- в приказе 378 переместить фокус с «конвенционного» термина ССК для Морской администрации на более точное определение элементов ССК, применимых для отдельных организаций (материально-техническую, учебно-методическую и кадровую базу подготовки). Редуцировав широкое определение до конкретных требований, можно приблизить Положение о дипломировании к специфическим примерным программам, взаимно обосновав оба массива требований;

- в приказе 157 уточнить перечень проверяемых элементов подготовки в рамках процедуры признания образовательных организаций (заодно можно будет упростить процедуру проводимых выездных очных проверок для оценки компетентности, не составляя отдельные распоряжения для каждой организации на уровне заместителя министра транспорта);

- в приказе 32 расширить перечень освидетельствуемых УТЦ, поскольку необходимость освидетельствования «береговых» подготовок в УТЦ сейчас обосновывается документами уровнем ниже, чем приказ министерства.

Дополнение последнего приказа тем интереснее, что может приблизить разрешение многолетней проблемы, известной наиболее вовлеченным участникам процесса: и УТЦ, и признанным организациям, и правоохранительным органам. Эпизодические региональные конкурентные войны, результатом которых раз в несколько лет становится череда целевых проверок УТЦ, не выявляющих каких-либо злоупотреблений, в определенной степени связаны также и с отсутствием требований к периодическому надзору за признанными УТЦ. Возможно, достаточно будет немного изменить процедуры подачи информации со стороны УТЦ и признанных организаций, а также процедуры обработки этой информации со стороны подведомственных Росморречфлоту организаций.

Все вышеперечисленное свидетельствует о том, что процессы подготовки в образовательной организации достаточно отлажены, и деятельность по непрерывному улучшению целесообразно адресовать уже к уровню А, к обязательствам морской администрации, предусмотренным МК ПДНВ. Здесь целесообразно опираться на опыт

проверки Российской Федерации со стороны ИМО, расширивший взаимодействие с другими органами исполнительной власти, помимо Минтранса России, поскольку Морская администрация РФ представлена не одной организацией. Для старта этого процесса может понадобиться решение такого уровня, на котором было принято решение о проведении проверки со стороны ИМО.

Для этого при проведении следующей независимой оценки внедрения требований МК ПДНВ организатору проверки будет полезно учитывать конкретные цели уже не самой проверки, но цели для всей системы подготовки и дипломирования моряков. Тогда еще перед самой независимой оценкой можно будет заранее запланировать необходимые улучшения на уровне Морской администрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), Including the 2010 Manila Amendments / IMO. — London, 2017.
2. Приказ Минтранса РФ от 10 февраля 2010 г. № 32 «Об утверждении Положения об одобрении типов аппаратуры и освидетельствовании объектов и центров».
3. Приказ Минтранса РФ от 8 июня 2011 г. № 157 «Об утверждении Порядка признания организаций в целях наделения их полномочиями по освидетельствованию судов и организаций, осуществляющих подготовку членов экипажей морских судов в соответствии с Международной конвенцией о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты от 1978 года с поправками, а также по проведению проверок, связанных с освидетельствованием этих судов и организаций».
4. Приказ Минтранса РФ от 15 марта 2012 г. № 62 «Об утверждении Положения о дипломировании членов экипажей морских судов».
5. Ефентьев В.П. Управление процессом профессиональной подготовки морских специалистов в условиях учебно-тренажерного центра: дисс. ... канд. пед. наук / В.П. Ефентьев; [Балт. гос. акад. рыбопромысл. флота]. — Калининград, 2001.
6. STCW: A guide for seafarers. Taking into account the 2010 Manila amendments / International Transport Workers' Federation (ITF).
7. Резолюция Отраслевой всероссийской конференции «Соответствие системы менеджмента качества вузов и их филиалов современным требованиям Международной конвенции ПДНВ» 30 — 31 января 2014 года. [Электронный ресурс] URL: <https://www.100rmsim.ru/company/news/1928/> (дата обращения 08.12.2025).
8. Григорьев Н.Н. ПДНВ — это стандарт идеального судоводителя? Нет / Н.Н. Григорьев // Морской флот: журнал российского судоходства. — 2021. — № 4 (1556). — С. 60 — 68.
9. ISO 9001:2008 Quality management systems — Requirements.
10. ISO 8402:1994 Quality management and quality assurance — Vocabulary.
11. Karahalil M. Stakeholder perspectives on the comprehensive review of the IMO STCW convention and code / M. Karahalil, L.O. Dreyer, J. Scanlan, T.-E. Kim, M. Lützhöft // Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs. — 23 Nov. 2025. — [Электронный ресурс] URL: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/18366503.2025.2589597> (дата обращения 08.12.2025).

REFERENCES

1. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), Including the 2010 Manila Amendments / IMO. London, 2017.
2. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated February 10, 2010 No. 32 "Regulation on approval of the equipment type and certification of facilities and centers".
3. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated June 8, 2011 No. 157 "On approval of the Procedure for recognizing organizations for the purpose of granting them authority to certify ships and organizations that train crew members of sea-going ships in accordance with the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended, as well as to conduct inspections related to the certification of these ships and organizations".
4. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated March 15, 2012 No. 62 "On approval of the Regulation on certification of crew members of sea-going ships".
5. Efent'ev V.P. Upravlenie protsessom professional'noi podgotovki morskikh spetsialistov v usloviyakh uchebno-trenazhernogo tsentra [Management of the process of professional training of maritime specialists at a joint training analysis and simulation center: PhD thesis]. Kaliningrad, 2001.
6. STCW: A guide for seafarers. Taking into account the 2010 Manila amendments / International Transport Workers' Federation (ITF).
7. Rezolyutsiya Otrassevoi Vserossiiskoi Konferentsii «Sootvetstvie sistemy menedzhmenta kachestva vuzov i ikh filialov sovremennym trebovaniyam Mezhdunarodnoi konventsii PDNV» [Resolution of the All-Russian industry conf. "Conformity of the quality management system of universities and their branches with the current requirements of the STCW Convention". January 30 — 31, 2014]. URL: <https://www.100rmsim.ru/company/news/1928/> (accessed 08.12.2025).
8. Grigor'ev N.N. PDNV — eto standart ideal'nogo sudovoditelya? Net [Is STCW the standard of an ideal navigator? No, it is not]. *Morskoi flot [Maritime fleet]*. 2021. No. 4 (1556). P. 60 — 68.
9. ISO 9001:2008 Quality management systems — Requirements.
10. ISO 8402:1994 Quality management and quality assurance — Vocabulary.
11. Karahalil M., Dreyer L.O., Scanlan J., Kim T.-E., Lützhöft M. Stakeholder perspectives on the comprehensive review of the IMO STCW convention and code. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*. 23 Nov. 2025. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/18366503.2025.2589597> (accessed 08.12.2025).



УПРАВЛЕНИЕ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 629.5
EDN RFTCQL

ОБЗОР НОВЫХ ТРЕБОВАНИЙ К КОМПЕТЕНЦИЯМ МОРЯКОВ КАК СЛЕДСТВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

Д.С. Ватолин, канд. техн. наук, Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 198035 Россия, Санкт-Петербург, Двинская ул., 5/7, e-mail: vatolinds@gumrf.ru

А.А. Буцанец, канд. техн. наук, Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 198035 Россия, Санкт-Петербург, Двинская ул., 5/7, e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru; Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: butsanets.aa@rs-class.org

Последние нормативные ограничения в области снижения объема выбросов парниковых газов от морского судоходства, принятые Международной морской организацией, ставят серьезные задачи как для разработчиков судовых энергетических установок и судовладельцев, которым совместно придется искать способы перехода на альтернативные виды топлива, так и перед морскими образовательными учреждениями, готовящими специалистов для отрасли, внутри которой стремительно происходят большие изменения. В данной статье рассмотрены последние постановления ИМО по долгосрочной стратегии снижения выбросов углекислоты и других парниковых газов, принятые на сессиях Комитета по защите морской среды. Выполнен краткий анализ изменений в области судоходства, вызванных принятием данной стратегии. Также были рассмотрены базовые требования к учебным программам для сертификации моряков, которым предстоит работать на судах, использующих альтернативные виды топлива.

Ключевые слова: альтернативные виды топлива, аммиак, сжиженный водород, метанол, декарбонизация, парниковые газы.

Для цитирования: Ватолин Д.С. Обзор новых требований к компетенциям моряков как следствия повышения экологических требований / Д.С. Ватолин, А.А. Буцанец // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 38 — 46. — EDN RFTCQL.

AN OVERVIEW OF NEW REQUIREMENTS FOR SEAFARERS' COMPETENCIES RESULTING FROM INCREASED ENVIRONMENTAL REGULATIONS

D.S. Vatolin, PhD, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 198035 Russia, St. Petersburg, Dvinskaya ul. 5/7, e-mail: vatolinds@gumrf.ru

A.A. Butsanets, PhD, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 198035 Russia, St. Petersburg, Dvinskaya ul. 5/7, e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru; Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: butsanets.aa@rs-class.org

Recent decisions by the International Maritime Organization to reduce greenhouse gas emissions from international shipping pose significant challenges for both ship propulsion system developers and shipowners, who will jointly seek ways to transition to alternative fuels, and for maritime educational institutions, which must train specialists for this rapidly changing industry. This article examines the latest IMO decisions on a long-term strategy for reducing carbon dioxide and other greenhouse gas emissions, adopted by the Marine Environment Protection Committee. A brief analysis of the changes in shipping caused by the adoption of this strategy is provided. Basic requirements for training programs to be developed for the appropriate certification of seafarers expected to serve on ships using alternative fuels are also discussed.

Keywords: *alternative fuels, ammonia, liquefied hydrogen, methanol, decarbonization, greenhouse gases.*

For citation: Vatolin D.S., Butsanets A.A. An overview of new requirements for seafarers' competencies resulting from increased environmental regulations. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 38 — 46. EDN RFTCQL. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Последние требования в области экологичности всемирного судоходства уже внесли серьезные изменения в сложившиеся рынки поставок топлива и производства энергетических установок. Вступление в силу последних требований по ограничению выбросов оксидов азота IMO Tier III в 2016 г., уменьшение допустимого содержания серы в судовом топливе до 0,5 % в соответствии с IMO Sulphur Cap 2020, а так же вступление в силу Международного кодекса по безопасности для судов, использующих газы или иные виды топлива с низкой температурой вспышки, в 2017 г. привели к значительному сокращению потребления мазута класса HFO, увеличению потребления низкосернистого мазута класса VLSFO, а так же форсировали активное начало перехода на альтернативные виды топлива [1]. В первую очередь речь идет о сжиженном природном газе, который пока что является единственным топливом с низкой температурой вспышки, полноценно включенным в кодекс МГТ. Также начали активно применяться такие виды топлива, как метанол, аммиак и водород.

Целью данной статьи является систематизация новых требований ИМО в области декарбонизации судоходной отрасли и определение новых направлений подготовки моряков, связанных с применением альтернативных видов топлива.

1. ДОЛГОСРОЧНАЯ СТРАТЕГИЯ ИМО ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Международная морская организация (International Maritime Organization — IMO) активно занимается разработкой долгосрочной стратегии по декарбонизации судоходной отрасли (для справки: на сегодняшний день международное судоходство дает до 3 % мировых выбросов CO₂ [2]). В 2023 г. на 80-й сессии Комитета ИМО по защите морской среды (КЗМС) [3] был принят план, целью которого является достижение нулевого уровня выбросов парниковых газов к 2050 г. [4] (рис. 1). Промежуточными этапами данного плана являются:

1) сокращение выбросов CO₂ во время транспортировки груза в среднем по международным перевозкам не менее чем на 40 % к 2030 г. по сравнению с 2008 г., а также внедрение технологий, альтернативных видов топлива и/или источников энергии с нулевым или близким к нулю уровнем выбросов парниковых газов, с долей не менее 5 % и стремлением к 10 % от общего объема энергии, потребляемой международным судоходством, к 2030 г.;

2) сокращение общего годового объема выбросов парниковых газов от международного судоходства не менее чем на 70 %, цель к 2040 г. — достичь 80 % по сравнению с 2008 г.

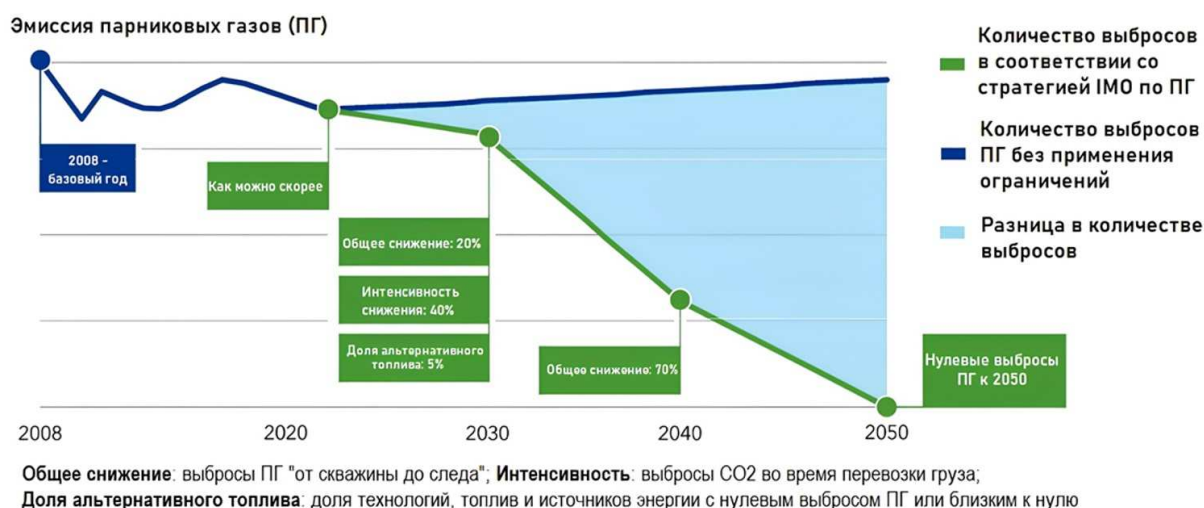


Рис. 1. План ИМО по достижению нулевого уровня выбросов парниковых газов к 2050 г.¹

Следующим шагом ИМО в направлении декарбонизации международного судоходства будет введение финансового стимулирования судовладельцев для перехода на альтернативные виды топлива. Предложение о введении глобального налога (рис. 2) получило поддержку у большинства стран-участниц ИМО, в первую очередь у африканских участников, малых островных развивающихся государств и наименее развитых стран. Эта поддержка во многом основана на «справедливом и равноправном» планировании налога, согласно которому финансовая поддержка будет направлена на поддержку усилий по декарбонизации в малых и наименее развитых морских государствах.

Глобальный сбор налога за тонну выбросов парниковых газов в централизованный фонд еще в процессе согласования и дискуссии о распределении доходов остаются открытыми. Вопросы о том, каким образом именно эти фонды будут вознаграждать производство и потребление топлива с нулевым и почти нулевым уровнем выбросов парниковых газов, а также о том, как будут ежегодно выделяться миллиарды долларов США на поддержку усилий развивающихся стран по сокращению выбросов парниковых газов в морском секторе, все еще обсуждаются.

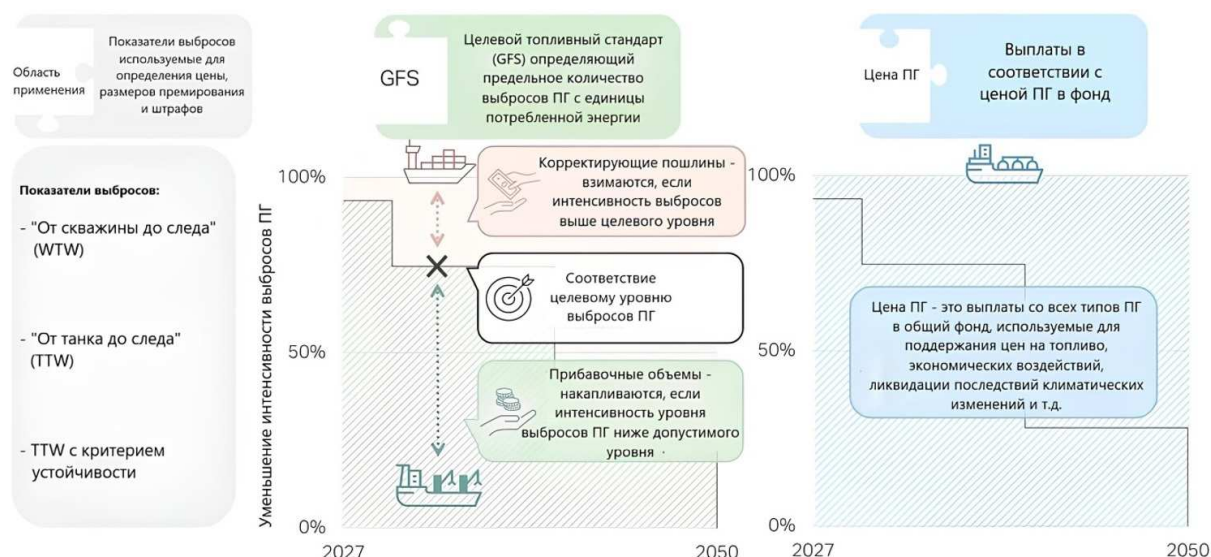


Рис. 2. План применения налога на выбросы парниковых газов

¹ Изображения на рис. 1 — 4 из открытого источника сети интернет: <https://ammoniaenergy.org/articles/setting-the-scene-for-ammonia-maritime-fuel-regulatory-needs-and-timelines-to-decarbonize-shipping/>

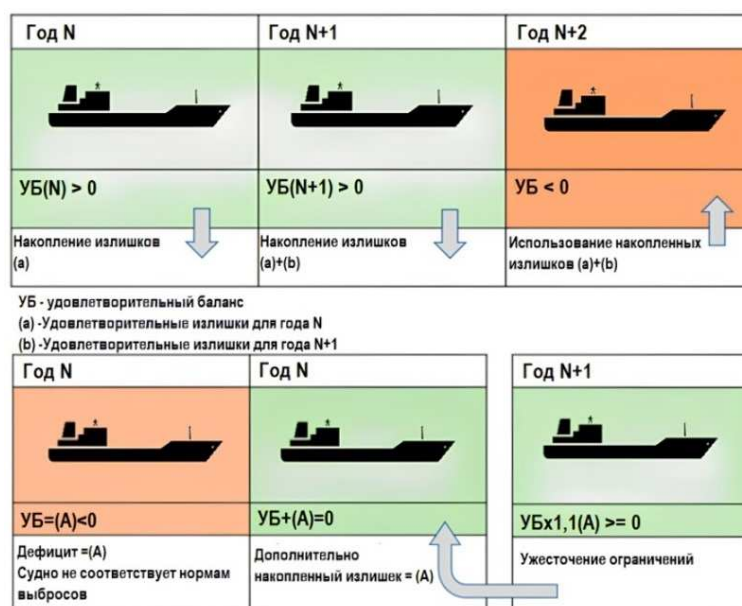


Рис. 3. План FuelEU Maritime

Хотя многие развитые экономики одобряют введение налога на выбросы, большинство европейских стран поддерживают принятие на международном уровне схемы раздачи квот на выбросы, аналогичной системе FuelEU Maritime (рис. 3), которая охватывает все суда валовой вместимостью 5000 т и более, заходящие в европейские порты, и обязывает сокращать выбросы парниковых газов. Начиная с 2%-ного снижения в этом году, к 2050 г. все такие суда должны будут достичь 80%-ного снижения выбросов парниковых газов. Ключевые механизмы регулирования, используемые в FuelEU Maritime, позволяют судовладельцам претендовать на экономию «неизрасходованных квот на выбросы» с одного судна в группе судов или на то, чтобы одно судно компенсировало невыполнение своих целей за счет перевыполнения показателей в следующем отчетном периоде. Таким образом, несколько судов, работающих на альтернативном топливе, смогут достичь целей FuelEU Maritime для всего флота компании, что побудит судовладельцев внедрить эти новые технологии, обеспечить сертифицированные поставки бункерного топлива и работать — пусть даже поначалу в ограниченном объеме.

Хотя схема типа FuelEU Maritime и пользуется поддержкой большинства европейских стран и некоторых других развитых экономик в ИМО, в этом предложении недостаточно «справедливого и равноправного» подхода. Вместо этого, оно ориентировано на строгое соблюдение требований судовладельцами, предусматривая высокие штрафы за несоблюдение требований и не предлагая никакой дополнительной поддержки для более широкой декарбонизации. По этой последней причине небольшие и наименее развитые морские государства, с большей вероятностью поддержат предложение о глобальных сборах и выплатах.

Здесь также возникает вопрос о границах жизненного цикла топлива: если топливо необходимо декарбонизировать, как мы можем гарантировать, что выбросы за весь срок его службы будут достаточно низкими, чтобы оказать достаточное влияние на проблему сохранения климата?

Вопрос о границах выбросов за весь срок службы топлива, который обсуждался на 83-й сессии КЗМС в апреле 2025 г., является критически важным для ИМО. В настоящее время в судоходстве используется методология «от топливного танка до кильватерного следа», или «tank-to-wake», что означает полное игнорирование выбросов при производстве топлива. Этот подход не учитывает потенциальное сокращение выбросов, которого можно достигнуть при применении электрических источников энергии, таких как аккумуляторные батареи, и не учитывает выбросы, присущие, например, производству СПГ, такие как утечки метана при добыче. По этой причине многие участники ИМО выступили за принятие методологии «от месторождения до кильватерного следа», или «well-to-wake», для жизненного цикла топлива (рис. 4).

Также данные фундаментальные решения ИМО уже привели к внесению изменений в основные руководящие документы. На прошедшей в июне 2025 г. 109-й сессии Комитета по безопасности на море (КБМ) [7] были приняты поправки к конвенции СОЛАС, которые уточняют правила применения Международного кодекса постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом, (известного как IGC Code) к использованию газового топлива. В сам же IGC Code внесены поправки к главе 16 («Использование груза в качестве топлива»), позволяющие использовать перевозимые виды груза (помимо уже имплементированного природного газа) в качестве топлива, при условии обеспечения того же уровня безопасности, что и для СПГ. Данные изменения должны вступить в силу 1 июля 2028 г.

Также на этой сессии был подготовлен проект поправок к Конвенции СОЛАС, определяющий, что Международный кодекс безопасности для судов, использующих газы или другие виды топлива с низкой температурой вспышки, (известный как IGF Code) должен распространяться не только на виды топлива с низкой температурой вспышки, но и на газообразные виды топлива, такие как аммиак. Данные поправки должны быть утверждены на 110-й сессии КБМ [8] и вступят в силу 1 января 2028 г.

2. ИЗМЕНЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММАХ МОРСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Суда, использующие такие альтернативные виды топлива, как метанол, аммиак и водород, уже некоторое время строятся и вводятся в эксплуатацию по временным резолюциям ИМО, и их количество только растет. По данным платформы DNV Alternative Fuels Insight, на сегодняшний день менее 1 % судов использует альтернативные виды топлива, но из тех судов, что находятся на этапе постройки, для работы на альтернативном топливе предназначены около 16 %, а из тех корпусов, что законтрактованы за последние 12 месяцев, — 13 %.

Столь стремительное увеличение численности подобных судов делает острым вопрос подготовки моряков к работе с довольно опасными видами топлива. В феврале 2025 г. на 11-й сессии Подкомитета ИМО по человеческому фактору [9], подготовке и несению вахты был согласован проект общего временного руководства по подготовке моряков на судах, использующих альтернативные виды топлива и новые технологии, который был представлен на 110-й сессии КБМ и одобрен в качестве циркуляра STCW.7. КБМ утвердил общие временные руководящие принципы, которые включают следующее:

- требования к ознакомлению моряков с работой на борту судов, использующих альтернативные виды топлива и новые технологии;
- требования к базовой подготовке моряков, выполняющих обязанности по обеспечению безопасности, связанные с хранением, использованием или реагированием на чрезвычайные ситуации с топливом и/или системами на судах, использующих альтернативные виды топлива и новые технологии;
- требования к повышению квалификации капитанов, механиков и всего персонала, непосредственно отвечающего за хранение и использование топлива и/или систем на судах, использующих альтернативные виды топлива и новые технологии;
- стандарты компетентности, как для базового уровня, так и для повышения квалификации;
- необходимость проведения регулярных учений по действиям в чрезвычайных ситуациях на судах, использующих альтернативные виды топлива и новые технологии.

Эти временные руководящие принципы служат базовым материалом для разработки и утверждения программ подготовки моряков на судах, использующих альтернативные виды топлива и новые технологии, в целях сокращения выбросов парниковых газов в международном судоходстве. В перспективе данные руководства должны быть доработаны и имплементированы в Конвенцию ПДНВ.

Что это значит для тренажерных центров подготовки моряков? Во-первых, ввиду появления вышеуказанных требований, вероятно, потребуются разработка новых учебных программ, связанных с бункеровкой, хранением и использованием альтернативных видов топлива. Скорее всего, данные программы подготовки придется разделить на подгруппы, так как различные виды топлива обладают разными свойствами и несут с собой различные опасности. Сжиженный водород является криогенной (температура сжижения — 253 °C при атмосферном давлении [10]) крайне взрывоопасной субстанцией и по типу опасности близко коррелирует с СПГ (температура сжижения — 162 °C при атмосферном давлении [10]), метанол — это одноатомный спирт, при нормальных условиях находящийся в жидком агрегатном состоянии, токсичный для человека, а аммиак хоть и транспортируется в жидком состоянии, но его температура сжижения относительно высока (— 33 °C при атмосферном давлении [10]), и в случае протечки он быстро переходит в газообразную

фазу, представляя высокую опасность для судового персонала в силу крайне высокой токсичности. Поскольку различные виды альтернативного топлива несут в себе различные угрозы, от моряков, задействованных в работе с ним, потребуются знание различных процедур, умение использовать разные типы средств индивидуальной защиты и навык оценки новых рисков.

Во-вторых, для выработки этих качеств тренажерным центрам с высокой долей вероятности придется произвести дооснащение своей учебно-технической базы новыми типами тренажеров бункеровки и симуляторов машинного отделения с соответствующей энергетической установкой. Например, компания Anglo-Eastern уже открыла в Мумбаи новый учебный центр по бункеровке СПГ и аммиаком [11], а ИМО всерьез рассматривает возможность введения обязательного курса по бункеровке в береговом тренажерном центре с использованием СПГ или схожей криогенной жидкости (например, сжиженного азота).

В-третьих, от тренажерных центров может потребоваться определенная доля технического визионерства при составлении программ по подготовке специалистов для судов, работающих на альтернативных видах топлива. За основу для программ по бункеровке судов сжиженным водородом можно взять, например, руководства, составленные администрациями портов Антверпен и Амстердам, так как они уже имеют реальный опыт проведения данных операций. В Антверпене с 2022 г. эксплуатируется буксир на водородном топливе Hydrotug 1 [12], а в порту Амстердама осуществлялась бункеровка 119-метровой яхты Breakthrough [13]. В обоих случаях бункеровочные операции были произведены с автотрака, поскольку на сегодняшний день существуют только проекты судов-бункеровщиков для сжиженного водорода.

Аналогичный подход для разработки учебных программ, основанный на анализе уже существующего опыта, предпочтителен и для остальных видов топлива.

Еще один важный момент, на который тренажерным центрам стоит обратить внимание, — это возрождение интереса судовладельцев к газотурбинным двигателям. Южнокорейская компания Hanwha Power Systems и американская компания Baker Hughes разрабатывают малогабаритные газотурбинные двигатели с гибким выбором топлива [14]. Hanwha Power Systems и Hanwha Ocean уже получили разрешение American Bureau of Shipping (ABS) на использование аммиачных газотурбинных двигателей для СПГ-танкеров, находящихся в стадии проектирования. Помимо этого, Hanwha и судоходная компания GasLog изучают возможность модернизации существующих газозовов судовладельца [15]. Для справки, в настоящее время GasLog владеет и управляет флотом из 24 СПГ-танкеров грузоместимостью от 145 000 до 180 000 м³, а еще 14 газозовами управляют партнерские организации.

Кроме того, General Electric и китайская судостроительная верфь Hudong-Zhonghua получили одобрение ABS на применение газо-паротурбинной установки COGES для проекта газозова грузоместимостью 178 000 м³ [16].

Несмотря на более низкий КПД, чем у дизельных двигателей, газовые турбины, работающие на аммиаке, обладают перед ними преимуществом по экологичности, так как им не требуется дизельное топливо для воспламенения газа и, следовательно, от них нет выбросов CO₂. Кроме того, газотурбинные двигатели обеспечивают более полное сгорание топлива [17] и при работе на природном газе оставляют минимальный «метановый след».

Как пример важности данного показателя наилучшим образом подходит ситуация с двухтопливными двигателями фирмы MAN серии ME-GA. Данная линейка двигателей разрабатывалась специально для соответствия требованиям IMO Tier III и была выведена на рынок в 2023 г., но уже в 2024 г. была признана бесперспективной и выведена из продажи по причине больших значений «метанового следа», что завышает значение GFI (и, как следствие, уровень налогов) для судна. Доработка двигателя до необходимого уровня экологичности признана разработчиками нерентабельной. Официальные цифры компания MAN не называет, но, предположительно, разработка этого типа двигателей обошлась ей приблизительно в 100 миллионов долларов США.

Поэтому Hanwha Power Systems, как заявляют в самой компании, привлекает большое внимание судовладельцев, которые в настоящее время не имеют подходящих альтернатив для снижения выбросов углерода, и уже ведет переговоры с некоторыми крупными судовладельцами.

Сказанное выше подтверждает, что в ближайшее время может появиться значительное количество моряков, которые придут в тренажерные центры, чтобы снять ограничение с рабочего диплома для работы на судах с газотурбинными двигателями. Как следствие, существующие программы по снятию ограничения потребуются адаптировать к новой реальности.

С началом реализации программы по декарбонизации мировой судоходной отрасли за рубежом вновь стали проявлять интерес к атомной энергетике. В прошлом году ABS совместно с разработчиками малых модульных реакторов начали прорабатывать нормативную базу для реализации судов [18, 19] и плавучих атомных электростанций [20, 21]. На конференции МАГАТЭ по малым модульным реакторам, проходившей в этом году, южнокорейские разработчики из компании Korea Electric Power Corporation представили судовой

водо-водяной реактор под давлением Bandi [22], а на международном форуме Gastech 2025 южнокорейский Исследовательский институт атомной энергетики (Korea Atomic Energy Research Institute) совместно с верфью Samsung Heavy Industries заявили, что получили принципиальное одобрение ABS на проект газовоза с ядерной энергетической установкой [23]. Также Samsung Heavy Industries совместно с Korean Hydro and Nuclear Power и датской компанией Saldfoss занимаются разработкой плавучей атомной электростанции с компактным реактором, работающим на расплавах солей (Compact Molten Salt Reactor) [24]. Реакторы были презентованы как экологически чистая альтернатива существующим судовым энергетическим установкам.

В июне этого года на 110-й сессии КБМ представители США инициировали начало пересмотра Кодекса безопасности атомных торговых судов [25]. Ключевым моментом обновления Кодекса безопасности атомных торговых судов является обеспечение того, чтобы документ не ограничивался конструкциями водо-водяных реакторов под давлением (ВВРД) с паровым циклом (являющихся основным типом судовых реакторов на сегодняшний день), а учитывал последние достижения в области новых ядерных технологий и концепцию полностью электрических судов. Данная инициатива проводится при содействии МАГАТЭ. Помимо этого, в 2025 г. МАГАТЭ официально запустит проект «Лицензирование атомных технологий для применения в море» [26], цель которого — облегчить разработку нормативно-правовой базы, необходимой для развертывания ядерных энергетических установок и плавучих атомных электростанций.

На сегодняшний день в Российской Федерации функционирует устоявшаяся система подготовки кадров для судов с ядерной энергетической установкой. Однако стоит отметить, что все эти суда являются атомными ледоколами, не предназначенными перевозить какой-либо груз (за исключением контейнеровоза/лихтеровоза «Севморпуть»), а реакторы на них исключительно типа ВВРД. Ввиду этих двух фактов, одна из задач морских учебных заведений состоит в том, чтобы в среднесрочной перспективе разработать более строгие правила получения и подтверждения компетенций членов экипажей морских судов, которым возможно придется работать с новыми для них типами реакторов, на судах, которые опять-таки могут перевозить опасные виды грузов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стремление ИМО свести к минимуму выбросы парниковых газов вносит крайне серьезные изменения в судоходную отрасль [10, 17]. Необходимый для декарбонизации выбросов переход на альтернативные виды топлива уже привел к тому, что подверглись пересмотру основополагающие морские конвенции, такие как МАРПОЛ, СОЛАС и ПДНВ. Также начался пересмотр Кодекса безопасности атомных торговых судов. Данные события говорят о том, что к уровню личных компетенций моряков будут предъявляться все более высокие требования, и морские образовательные учреждения должны обеспечить соответствие им. В ближайшей перспективе может сложиться ситуация, когда моряки будут заниматься транспортировкой опасного груза одновременно с использованием опасного топлива, при этом груз и топливо будут иметь разную специфику опасности. Появится необходимость в более развернутой системе анализа рисков как для повседневной работы, так и для специфичной — например, одновременные операции (Simultaneous operations — SimOps) по погрузке судна и бункеровке и т.п. От морских образовательных учреждений потребуются разработка новых учебных программ, способных обеспечить необходимый уровень знаний и навыков для моряков, которым предстоит работать на подобных судах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ REFERENCES

1. Савинова А.А. Развитие рынка альтернативных видов судовых топлив в Сингапуре: судового СПГ-топлива и метанола / А.А. Савинова // Экономические науки. — 2025 — № 1 (242) — С. 507 — 513. = Savinova A.A. Razvitie rynka al'ternativnykh vidov sudovykh topliv v Singapore: sudovogo SPG-topлива i metanola [Development of the alternative marine fuels market in Singapore: LNG and methanol]. *Ekonomicheskie nauki [Economic Studies]*. 2025. No. 1 (242). P. 507 — 513.
2. Магаровский В.В. Новое в международной политике снижения эмиссии парниковых газов судами и необходимые мероприятия в морском секторе. Ч. 1. Анализ руководящих документов, определяющих новую политику снижения эмиссии парниковых газов / В.В. Магаровский, В.Н. Половинкин, А.В. Пустошный, О.В. Савченко // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2022. — Т. 4, № 402. — С. 141 — 156. = Magarovskiy V.V., Polovinkin V.N., Pustoshny A.V., Savchenko O.V. Novelties in the international policy towards mitigation of greenhouse gas emissions from ships and necessary measures in marine industry. Part 1. Analysis of regulatory documents governing the new policy of greenhouse gas emission mitigation. *Transactions of the Krylov State Research Centre*. 2022. Vol. 4, no. 402. P. 141 — 156. (In Russ.)

3. Marine Environment Protection Committee (MEPC 80), 3-7 July 2023. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/mepc-80.aspx> (23.12.2025).
4. Березин А.О. Сравнительный анализ документов стратегического планирования ИМО и Российской Федерации в области сокращения выбросов парниковых газов / А.О. Березин, С.А. Толмачев, В.К. Шурпак // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 78. — С. 23 — 34. — EDN WZWOPO. = Berezin A.O., Tolmachev S.A., Shurpyak V.K. Comparative analysis of IMO and Russian Federation strategic planning documents related to greenhouse gas emissions reduction. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 78. P. 23 — 34. EDN WZWOPO. (In Russ.)
5. IMO approves net-zero regulations for global shipping. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/imo-approves-netzero-regulations.aspx> (23.12.2025).
6. Реуцкий А.С. Анализ положений руководящих принципов ИМО по оценке интенсивности выбросов парниковых газов на протяжении жизненного цикла для всех видов судового топлива / А.С. Реуцкий, В.К. Шурпак, С.А. Толмачев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 79. — С. 14 — 25. — EDN FBBDJV. = Reutskii A.S., Shurpyak V.K., Tolmachev S.A. Analysis of the IMO guidelines for estimating the intensity of greenhouse gas emissions over the life cycle for all types of marine fuels. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 79. P. 14 — 25. EDN FBBDJV. (In Russ.)
7. Maritime Safety Committee — 109th session (MSC 109), 2-6 December 2024. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/msc-109th-session.aspx> (23.12.2025).
8. Maritime Safety Committee — 110th session (MSC 110), 18-27 June 2025. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/msc-110th-session.aspx> (23.12.2025).
9. Sub-Committee on Human Element, Training and Watchkeeping, 11th session (HTW 11), 10-14 February 2025. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/htw-11th-session.aspx> (23.12.2025).
10. Нейжмак М.Р. Использование аммиака в качестве топлива для судов с целью снижения выбросов диоксида углерода в атмосферу / М.Р. Нейжмак, А.И. Епихин, М.А. Модина // Эксплуатация морского транспорта. — 2021. — № 4. — С. 131 — 138. = Neizhmak M.R., Epikhin A.I., Modina M.A. The use of ammonia as fuel for ships in order to reduce carbon dioxide emissions into the atmosphere. *Ekspluatatsiya morskogo transporta [Operation of Marine Transport]*. 2021. No. 4. P. 131 — 138. (In Russ.)
11. Seafarer training for marine ammonia fuel comes into focus. URL: <https://ammoniaenergy.org/articles/seafarer-training-for-marine-ammonia-fuel-comes-into-focus/> (23.12.2025).
12. Hydrotug 1: the very first hydrogen-powered tug. URL: <https://www.portofantwerpbruges.com/en/hydrotug-1-very-first-hydrogen-powered-tug> (23.12.2025).
13. First liquid hydrogen bunkering in the port of Amsterdam. URL: <https://www.portofamsterdam.com/en/nieuws/first-liquid-hydrogen-bunkering-port-amsterdam> (23.12.2025).
14. Hanwha, Baker Hughes to develop fuel-flexible small-size turbines for maritime propulsion. URL: <https://ammoniaenergy.org/articles/hanwha-baker-hughes-to-develop-fuel-flexible-small-size-turbines-for-maritime-propulsion/> (23.12.2025).
15. Hanwha Power Systems: deploying ammonia gas turbines onboard vessels. URL: <https://ammoniaenergy.org/articles/hanwha-power-systems-deploying-ammonia-gas-turbines-onboard-vessels/> (23.12.2025).
16. GE Teams with Hudong-Zhonghua Shipbuilding on COGES LNG carrier design. URL: <https://www.geaerospace.com/sites/default/files/HZ-LNG-carrier-case-history.pdf> (23.12.2025).
17. Пащенко Д.И. Аммиак как топливо для газотурбинных установок с термохимической рекуперацией тепла отходящих газов / Д.И. Пащенко // Теплоэнергетика. — 2025. — № 1. — С. 3 — 11. = Pashchenko D.I. Ammonia as a fuel for gas-turbine units with thermochemical recuperation of exhaust gas heat. *Teploenergetika [Thermal Power Engineering]*. 2025. No. 1. P. 3 — 11.
18. Pathways to a low carbon future — LNG carrier nuclear ship concept design. URL: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/pathways-to-low-carbon-lng-carrier.pdf> (23.12.2025).
19. Requirements for Nuclear Power Systems for Marine and Offshore Applications. URL: https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/special_service/346-requirements-for-nuclear-power-systems-for-marine-and-offshore-applications-2024/346-nuclear-power-systems-reqts-oct24.pdf (23.12.2025).
20. Pathways to a low carbon future — Floating nuclear power plant. URL: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/whitepapers/pathways-to-low-carbon-fnpp.pdf> (23.12.2025).
21. Pathways to a low carbon future — Floating nuclear power data center. URL: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/pathways-to-nuclear-data-center.pdf> (23.12.2025).
22. KEPCO E&C's SMR BANDI for marine-based applications: Current status and challenges. URL: https://nucleus.iaea.org/sites/smr/SMR_Platform_Meeting_Public_Assets/INT2023%20Workshops%202023-%20Technology%20Development%20and%20Applications%20of%20Small%20Modular%20Reactors%20for%20SMRs/Interregional%20Event%20on%20Technology%20Development%20and%20Applications%20of%20Small%20Modular%20Reactors/4_2_Bjlee_Korea.pdf (23.12.2025).
23. Korean designed nuclear-powered LNG carrier certified. URL: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/korean-designed-nuclear-powered-lng-carrier-certified> (23.12.2025).
24. Saltfoss [official website]. URL: <https://saltfoss.com/> (23.12.2025).
25. MSC 110th session. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/temporary-msc-110-summary.aspx> (23.12.2025).
26. Small modular reactors for marine-based nuclear power plant: Technologies, designs and applications. URL: <https://aris.iaea.org/Publications/2023%20IAEA%20Marine%20Based%20SMR%20Booklet.pdf> (23.12.2025).



ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ И ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 56.6; 629.556.2:33
EDN DFULJC

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ И ТЯГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУКСИРОВ С ЛЕДОВЫМ КЛАССОМ ARC5

А.С. Реуцкий, канд. техн. наук, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: reutskii.as@rs-class.org

Р.Ю. Романов, ЦНИИМФ, 191015 Россия, Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., 6А, e-mail: romanovry@cniimf.ru

Увеличение судооборота в замерзающих портах РФ и возможность использовать СПГ для bunkеровки портофлота ставят вопрос о целесообразности применения двухтопливных буксиров. Поскольку нормативных ограничений на использование низкосернистого судового топлива в российских портах нет, для решения вопроса об использовании природного газа в качестве топлива можно задействовать экономический критерий целесообразности. Для реализации этого подхода мы прибегнем к экономическим моделям, в которых для вычислений используется определенный набор входных данных о буксире. Исследование «ледовых» Правил РС вкупе с толщинами льда, характерными для Финского залива в тяжелые с навигационной точки зрения зимы, продемонстрировали необходимость в буксирах с арктическим классом ледовых усиления. За отсутствием двухтопливного буксира с ледовым классом, достаточным для безопасной круглогодичной работы в акватории замерзающих портов, авторы создали его математическую модель, построенную на базе статистических данных по буксирным судам с ледовыми классами Arc4 и Arc5 и дающую представление о проектных характеристиках этого судна в первом приближении, что достаточно для проведения технико-экономического анализа.

Таким образом, объектом исследования является математическая модель буксира-кантовщика с ледовым классом Arc5, использующего СПГ в качестве топлива, а целью исследования — оценка влияния применения двухтопливных технических СПГ-решений на облик и основные характеристики буксира-кантовщика с ледовым классом Arc5.

Ключевые слова: портофлот, буксир-кантовщик, тяга на гаке, ледовый класс, сжиженный природный газ.

Для цитирования: Реуцкий А.С. Оценка влияния использования сжиженного природного газа на главные размеры и тяговые характеристики буксиров с ледовым классом Arc5 / А.С. Реуцкий, Р.Ю. Романов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 47 — 60. — EDN DFULJC.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE USE OF LIQUEFIED NATURAL GAS ON THE MAIN DIMENSIONS AND TRACTION CHARACTERISTICS OF TUGS WITH ICE CLASS ARC5

A.S. Reutskii, PhD, Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: reutskii.as@rs-class.org

R.Yu. Romanov, Central Marine Research and Design Institute (CNIIMF), 191015 Russia, St. Petersburg, Kavalergardskaya ul., 6A, e-mail: romanovry@cniimf.ru

With the increase in the number of operations in freezing sea ports of the Russian Federation, and given the ability to provide bunkering with liquefied natural gas, the question of the expediency of using dual-fuel tugs is becoming important. In the absence of regulatory restrictions on the use of low-sulfur marine fuel, the issue of using natural gas can be resolved using the economic criterion of expediency. This approach relies on implementing economic models that need a certain set of input data about the tugboat for calculations. The study of the "ice" Rules of the Russian Maritime Register of Shipping, as well as the ice thicknesses characteristic of the Gulf of Finland in navigationally difficult winters, demonstrated the need to use tugboats with the arctic ice category. In the absence of a dual-fuel tugboat with an ice class sufficient for safe year-round operation in the waters of freezing ports, the authors created its mathematical model based on statistical data on tugboats with ice classes Arc4 and Arc5 and giving an idea of the design characteristics of this vessel in the first approximation, which is sufficient for conducting a feasibility analysis. Thus, the object of the study is a mathematical model of an Arc5 ice-class LNG-fuelled tugboat, and the purpose of the study is to assess the impact of dual-fuel technical LNG solutions on the appearance and main characteristics of an Arc5 ice-class barthing tugboat.

Key words: port fleet, tugboat, bollard pull, ice class, LNG, liquefied natural gas.

For citation: Reutskii A.S., Romanov R.Yu. Assessment of the impact of the use of liquefied natural gas on the main dimensions and traction characteristics of tugs with ice class Arc5. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 47 — 60. EDN DFULJC. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент большое количество исследований зарубежных [1 — 4] и отечественных [5, 6] ученых посвящено вопросам проектирования буксирных судов. Оценка влияния новых технических решений на результирующие характеристики судов является одним из предметов науки проектирования судов.

С учетом потенциального увеличения переваливаемого тоннажа и количества судозаходов в замерзающие порты Российской Федерации становится актуальным создание современных буксиров с высокими ледовыми классами. В настоящий момент в нашей стране происходит постепенный ввод все больших портовых мощностей экспортных терминалов по отгрузке сжиженного природного газа (далее — СПГ), а также рассматриваются новые варианты их размещения, что зачастую приводит к проработке идеи использования СПГ в качестве топлива на буксирных судах, тем более что за рубежом данные концепции не единожды реализовывались. На рисунке представлены примеры буксиров, использующих СПГ в качестве топлива (рис. 1).

а



б



Рис. 1. Двухтопливные буксиры Borgø & Bokn (а) и Audax (б)

Климатические условия отечественных портов накладывают на суда портового флота необходимость удовлетворять ряду требований. Требования к безопасности и маневренности буксира, круглогодично работающего в замерзающих водах, оказывают на облик этого судна сильное влияние при его проектировании. Для выполнения требований к безопасной ледовой эксплуатации буксира увеличивают толщину его обшивки, улучшают прочностные характеристики набора корпуса, делают переменной частоту его установки в районах ледовых подкреплений и особенно в оконечностях. Для удовлетворения требований к ледовой ходкости увеличивают мощность главных двигателей (далее — ГД) энергетической установки, а для обеспечения требуемой маневренности применяют механические, либо электрические винто-рулевые колонки (далее — ВРК), способные выдерживать ледовые нагрузки. Все эти решения приводят к увеличению габаритов судна и его водоизмещения, росту мощности его двигателей и расхода топлива, что аналогичным образом сказывается и на стоимости его эксплуатации.

Использование СПГ в качестве топлива на транспортных судах имеет продолжительную историю [7]. Первый буксир, работающий на СПГ, Borgøy & Bokn (рис. 1), был спроектирован Sanmag и построен в 2014 г., то есть в настоящий момент имеет уже 10-летний опыт эксплуатации. Однако применение СПГ на морских судах вызвано не экономическими причинами, а необходимостью, нормативными запретами или иными инструментами (например, финансовыми), введенными правительствами стран, радеющими за экологичность морского транспорта в зонах контроля выбросов (ЕСА) [8, 9]. Таким образом, для определения степени привлекательности использования на морском транспорте какого-либо альтернативного вида топлива в интересах отечественных заинтересованных лиц должен использоваться критерий экономической целесообразности (за исключением случаев, когда это вызвано необходимостью удовлетворения нормативным требованиям).

Экономическая привлекательность определяется с использованием специализированных технико-экономических моделей, например модели работы портового флота [10, 11]. При этом для получения адекватных результатов должны использоваться соответствующие модели судов. В настоящий момент не существует судна, которое обладало бы достаточным ледовым классом и использовало СПГ в качестве топлива и которое могло бы послужить прототипом в технико-экономическом исследовании.

При отсутствии судна-прототипа допустимо воспользоваться математической моделью судна, выполненной на приемлемом уровне абстракции. Достаточным с точки зрения потребностей технико-экономической модели является подход по созданию регрессионно-аналитической модели судна, дающей возможность достаточно гибко и в короткие сроки предоставить требуемые характеристики судов. Принцип построения подобных моделей описан в исследованиях отечественных [12, 13] и зарубежных [14] ученых.

Таким образом, объектом исследования является математическая модель буксира-кантовщика с необходимым ледовым классом, использующего СПГ в качестве топлива, а целью исследования является оценка влияния применения двухтопливных технических СПГ-решений на облик и основные характеристики этого судна. Для выполнения подобного сравнения необходимо создать расчетную модель буксира, способную учитывать наличие у буксира ледового класса и двухтопливности. Таким образом, оценка влияния применения двухтопливных технических СПГ-решений на облик и основные характеристики ледового буксира для отечественных портов возможно путем сравнения результатов расчета различных вариантов буксиров, полученных с помощью этой расчетной модели.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К БУКСИРУ-КАНТОВЩИКУ С ЛЕДОВЫМ КЛАССОМ ARC5

Исходными данными для расчетной модели являются исходные технические требования (далее — ИТТ) на судно, представляющие собой перечень его основных характеристик, которые должны быть уточнены до начала создания модели. К их числу относятся: ледовые качества (ледовый класс и ледопроездимость $h_{\text{лед}}$, м); тяга на переднем ходу BP_1 , тс; автономность A , сут; экипаж $n_{\text{эк}}$, чел; ширина B , м; осадка на миделе d , м и скорость на чистой воде v_s , уз.

Ледовые качества. Главной сложностью при создании двухтопливных буксиров в условиях отечественных портов является необходимость в обеспечении ими достаточного для выполнения буксирных операций тягового усилия в ледовых условиях, так как экспортирующие СПГ морские терминалы в нашей стране расположены в акваториях замерзающих морей. Даже в относительно мягком климате Балтийского региона средние толщины ледяного покрова на отдельных участках акватории в зимние и весенние месяцы достигают значительных (до 60 см) толщин; в юго-западной части Финского залива значение максимальной

толщины льда 1%-ной обеспеченности составляет 80 см. Необходимость в круглогодичном буксирном обеспечении в сочетании с повторяющимися на Балтике примерно раз в декаду тяжелыми зимами, когда значительно увеличивается площадь акватории, покрытой льдом большой толщины, создают потребность в буксирах с соответствующими ходовыми качествами при движении во льдах. Ходовые качества судна при движении в скованной льдом акватории определяются главным образом его ледопроходимостью, зависящей от формы корпуса, относительных и абсолютных значений главных размерений и характеристик пропульсивного комплекса. В то же время действующие требования «ледовых» Правил РС регламентируют минимально необходимый уровень ледовой прочности конструкций корпуса в зависимости от знака ледового класса судна. Так, согласно описанию ледовых классов РС, допустимая по требованиям к ледовой прочности толщина разреженных однолетних льдов в зимне-весенний период навигации, при взаимодействии с которыми судно не получает ледовых повреждений, составляет 0,7 м для ледового класса Arc4 и 0,9 м для ледового класса Arc5 (при этом скорость движения судна не регламентируется). Таким образом, для обеспечения запаса в безопасную сторону для буксира-кантовщика должен быть выбран ледовый класс Arc5, а требуемая ледопроходимость должна составлять не менее 0,9 м. При этом буксир должен иметь возможность управляться, что регламентирует его минимальную скорость в ледовых условиях — не менее 2 уз.

Тяга на переднем ходу. Вне зависимости от ледового класса, основным параметром буксирного судна является его способность создать необходимое для выполнения грузообработки транспортного судна тяговое усилие. В статье [15] на основе анализа требований отечественной нормативной базы, а также зарубежного опыта было установлено, что для грузообработки наибольшего транспортного судна в замерзающих портах РФ (газовоза СПГ грузоместимостью порядка 180 000 м³) минимально требуемая суммарная тяга буксирного ордера на чистой воде составляет 155 тс. Различные варианты расчетов отшвартовки таких судов в ледовых условиях замерзающих морских портов, выполненные для неблагоприятных вариантов направления и силы ветра и высоты волны, показали, что потребное усилие буксирного ордера составит около 200 тс, а оптимальное количество судов в таком ордере равно 4 буксирам. Следовательно, рассмотрим в работе два варианта буксира по тяге: усилие на переднем ходу для судов буксирного ордера должно составить не менее 40 тс и не менее 60 тс.

Автономность буксиров здесь составляет не менее 10 сут, что обусловлено спецификой работы буксирного флота на Балтике, зачастую подразумевающей длительные переходы между портами. Для буксира с тягой на переднем ходу не менее 40 тс примем автономность по запасам провизии и топлива 10 сут, а для буксира с тягой не менее 60 тс — 15 сут. Следует отметить, что при окончательном выборе схемы эксплуатации буксирного ордера, значения принятой для судов автономности могут быть уменьшены. Из положительных моментов принятой автономности следует выделить рост дедевейта из-за увеличения в нем доли запасов топлива, воды и провизии, что сказывается на росте водоизмещения судна, что также положительно сказывается на его ледовой ходкости.

Экипаж. Количество членов экипажа для буксира с тягой на переднем ходу 40 тс примем как у судна-прототипа «Проект Т3150» («Пур», «Тамбей») равным 10, а для буксира с тягой на переднем ходу не менее 60 тс — равным 15 из-за разницы в их функционале (выполнение буксиром спасательных функций, противопожарных функций, участие его в ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, управление ледовой обстановкой и т.д.).

Скорость. Эксплуатационная скорость судов на чистой воде v_s , уз принята постоянной, равной 12 уз исходя из значения числа Фруда по длине, равного 0,12. При дальнейшем проектировании значение эксплуатационной скорости может быть снижено для экономии топлива в переходах по чистой воде.

Принятые в целях сопоставления ИТТ для буксиров представлены в табл. 1.

Таблица 1

ИТТ для определения характеристик расчетных буксиров

Параметры судна	Дизельное топливо		Дизельное топливо + СПГ	
	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 1 СПГ	Вар. 2 СПГ
Ледовый класс	Arc5	Arc5	Arc5	Arc5
Ледопроходимость, м	0,9	0,9	0,9	0,9
Тяга на переднем ходу, тс	Не менее 40	Не менее 60	Не менее 40	Не менее 60
Автономность, сут	10	15	10	15
Экипаж, чел	10	15	10	15
Скорость, узл	12	12	12	12

2. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ЛЕЖАЩАЯ В ОСНОВЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТНЫХ БУКСИРНЫХ СУДОВ

В качестве инструмента для определения характеристик расчетных судов используем регрессионно-аналитическую модель судна, в основе которой лежат базовые статистические зависимости. Так как буксиров с ледовым классом Arc5 в настоящий момент существует мало, в качестве источника статистической информации также были использованы характеристики буксиров с ледовым классом Arc4, параметры которых позволяют рассматривать их ледовые качества как близкие к Arc5. Таким образом, в качестве исходных статистических данных использовались данные по 67 судам Arc4 и 7 судам Arc5 под флагом РФ, а также буксирам, использующим СПГ в качестве топлива, под флагами иностранных государств (19 судов).

3. РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ЛЕДОВЫХ БУКСИРОВ

Расчетная модель реализована группой вычислений, выполняемых последовательно. Алгоритм реализации расчетной модели буксиров представлен на рис. 2.

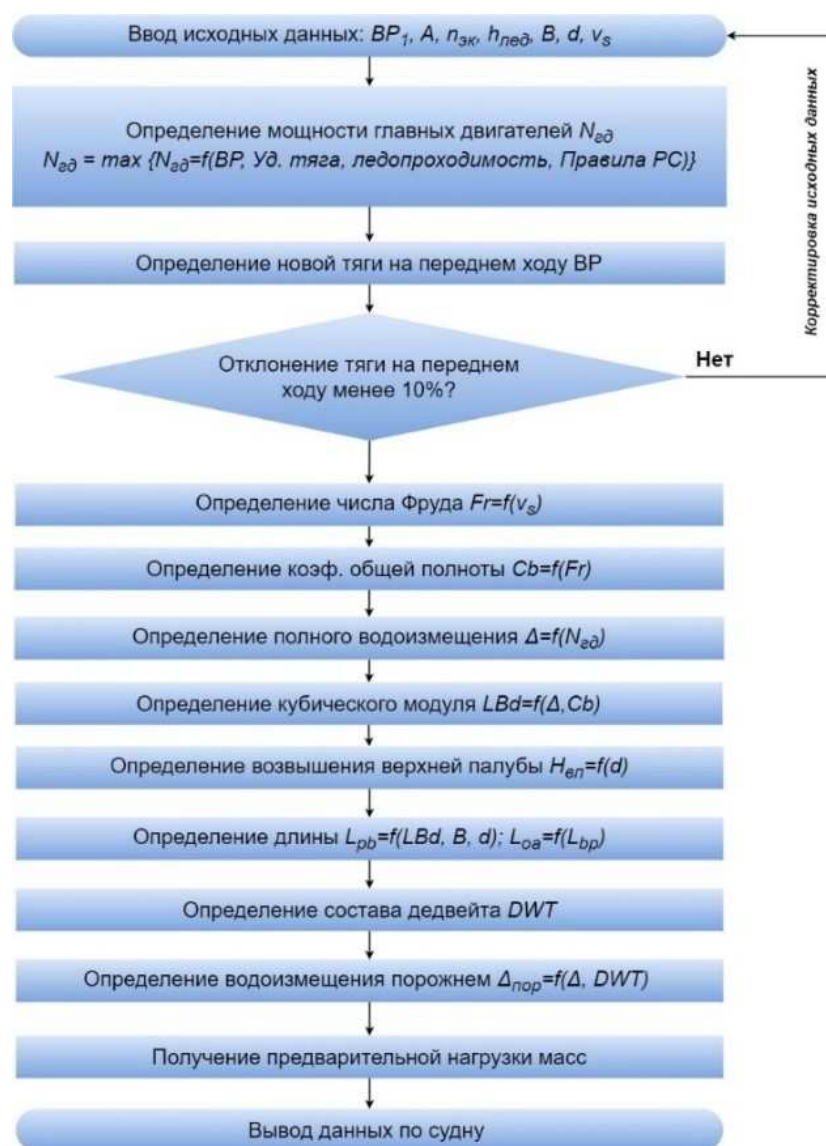


Рис. 2. Алгоритм определения характеристик расчетных буксиров с ледовым классом Arc5

После ввода исходных данных определяется мощность ГД по критерию максимизации значений мощностей, полученных в зависимости от удельной тяги, от ледопроходимости и по правилам РС (формула 1):

$$N_{ГД} = \max \left\{ \begin{array}{l} (N_{ГД} = f(BP) + N_{ГД} = f(\text{уд. тяга}) \cdot 0,5); \\ N_{ГД} = f(h_{\text{лед}}); \\ N_{ГД} \text{ по Правилам РС} \end{array} \right\}, \text{ кВт.} \quad (1)$$

Зависимость суммарной мощности ГД от удельной тяги на переднем ходу $N_{ГД} = f(\text{уд. тяга})$ определяется с помощью величины удельной тяги, принимающей для буксиров с ледовым классом Arc4 значение 17,05 кгс/кВт, а для буксиров с ледовым классом Arc5 значение 16,5 кгс/кВт. Зависимость суммарной мощности ГД от тяги на переднем ходу для буксиров, использующих дизельное топливо, с ледовыми классами Arc4 и Arc5 представлена на рис. 3, а для буксиров, использующих газовое топливо, на рис. 4.

Зависимость суммарной мощности ГД от ледопроходимости описывается с помощью классической формулы [16]:

$$N_{ГД} = 10^3 \cdot \left(\frac{B \cdot h_{\text{лед}}}{4,87} \right)^2, \text{ кВт.} \quad (2)$$

Ширина судна связана с его ледопроходимостью, структура этой зависимости показана в формуле 2, где видно, что с ростом ширины судна значительно возрастает требуемая для обеспечения ледопроходимости мощность главных двигателей. В данной постановке задачи определения непротиворечивой модели судна ширина судна и его осадка являются оптимизируемыми параметрами, при этом максимальным отношением L/B в расчетной модели является значение, равное 3,25 и соответствующее максимальному значению параметра L/B в статистической выборке судов (буксир GRIFON-1, ИМО 8862870).

Методический аппарат определения минимальной мощности для судов с различными ледовыми классами представлен в части VII Правил РС [17]. После определения мощности ГД по формуле 1 выполняется определение нового значения тяги на переднем ходу буксира и его соответствие ранее введенному, и в случае его несоответствия (отклонение от первоначального значения более чем на 1 %) выполняется корректировка ширины и осадки судна.

Для буксиров, круглогодично работающих в условиях чистой воды, значение тяги является основной характеристикой, от которой зависит мощность главных двигателей. В исследуемом случае потребная мощность энергетической установки судна в большей степени зависит от его ледовой ходкости, тем самым на определенном этапе расчета требуется обратный пересчет тяги на переднем ходу взамен введенной в начале расчета. Таким образом, результирующее значение тяги всегда носит большее значение, чем введенное, названное «желаемая тяга на переднем ходу BP_1 , т».

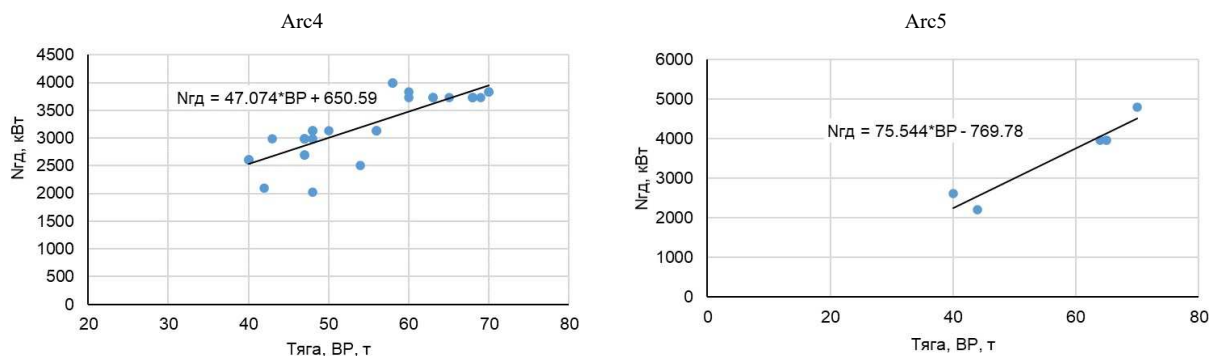


Рис. 3. Зависимость суммарной мощности ГД от тяги на переднем ходу для буксиров, использующих дизельное топливо, с ледовыми классами Arc4 (слева) и Arc5 (справа)

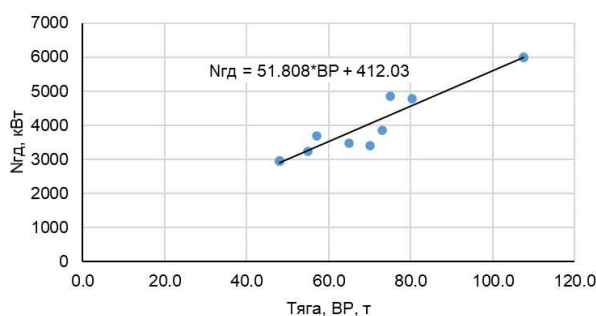


Рис. 4. Зависимость суммарной мощности ГД от тяги на переднем ходу для буксиров, использующих газовое топливо

Мощность дизель-генераторов (далее — ДГ) буксирных судов определим по зависимости (формула 3, рис. 5). Количество дизель-генераторов для всех буксиров принято равным 2.

$$N_{ДГ} = 0,3181 \cdot \Delta + 13,359, \text{ кВт.} \quad (3)$$

Далее следует определение чисел Фруда, коэффициентов общей полноты C_b и водоизмещения буксиров различных ледовых классов. Зависимость водоизмещения от мощности ГД показана на рис. 6.

Определим кубический модуль для расчетных судов по формуле 4:

$$LBd = \Delta / C_b / 1,025, \text{ м}^3. \quad (4)$$

Зависимость возвышения главной палубы над ОП буксиров с ледовым классом Arc5:

$$H = 1,0057 \cdot d + 1,2902, \text{ м}^3. \quad (5)$$

Зависимость возвышения главной палубы над ОП газотопливных буксиров:

$$H = 0,0002 \cdot d + 1,0067, \text{ м}^3. \quad (6)$$

Зависимость для определения наибольшей длины газотопливных буксиров:

$$L_{OA} = 1,1194 \cdot L_{BP} + 0,1454, \text{ м.} \quad (7)$$

Величина дедвейта представляет собой сумму масс экипажа, провизии, топлива, а также питьевой и мытьевой воды. Таким образом, величина дедвейта зависит от численности экипажа и автономности по запасам топлива и воды. Запасы топлива, в свою очередь, зависят от мощности ГД, ДГ, автономности и типа топлива. Расчет запасов топлива и автономности буксиров выполнен в п. 4. Водоизмещение судна порожнем определяется по формуле:

$$\Delta_{пор} = \Delta - DWT, \text{ т.} \quad (8)$$

Укрупненные составляющие нагрузки масс были определены в соответствии с имеющейся информацией по судам-прототипам, а также на основе эмпирических зависимостей из исследования [18].

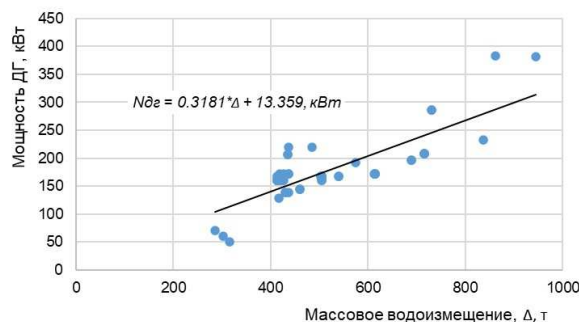


Рис. 5. Зависимость суммарной мощности дизель-генераторов от массового водоизмещения для буксиров с ледовыми классами Arc4 и Arc5

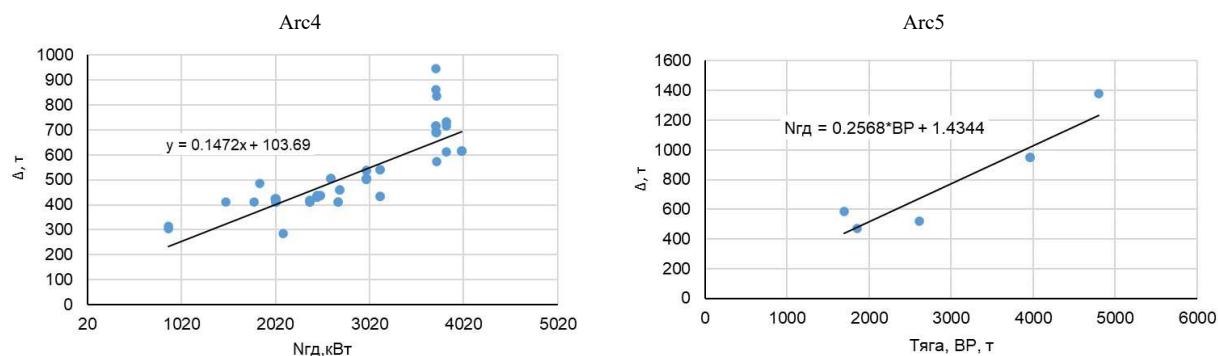


Рис. 6. Зависимость водоизмещения от суммарной мощности ГД для буксиров, использующих дизельное топливо

Параметры расчетных судов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры расчетных буксиров

Параметры судна	Дизельное топливо		Дизельное топливо + СПГ	
	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 1 СПГ	Вар. 2 СПГ
Тяга на переднем ходу, т	49	70	52	72
Ледопроездимость, м	0,9	0,9	0,9	0,9
Длина наибольшая, L_{oa} , м	31,5	34,8	32,7	36,1
Длина между перпендикулярами, L_{bp} , м	28,0	30,9	29,0	32,1
Ширина, B , м	9,2	11,6	9,6	11,8
Высота борта, H , м	6,8	6,9	6,8	6,9
Осадка, d , м	5,5	5,6	5,5	5,6
Скорость эксплуатационная, v_s , уз	12,00	12,00	12,00	12,00
Скорость максимальная, v_{max} , уз	13,21*	13,82*	13,47*	14,04*
Мощность на валах, кВт	2891	4596	3148	4755
По тяге (статистика), кВт	2252	3763	2484	3521
По удельной тяге (статистика), кВт	2424	3636	2346	3519
По ледопроездимости, кВт	2891	4596	3148	4755
По правилам РС, кВт	2600	2600	2600	2600
На эксплуатационной скорости v_s , кВт	1593*	1930*	1548*	1844*
Кол-во, тип и мощность (MCR = 100) ГД, ед × кВт	2 × 1490	2 × 2370	2 × 1630	2 × 2450
Кол-во, тип и мощность (MCR = 100) ДГ, ед × кВт	2 × 125	2 × 95	2 × 132	2 × 200
Автономность, сут	10	15	10	15
Экипаж, чел	10	10	10	10
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	190	195	3,8ДТ + 152ПГ**	3,9ДТ + 156ПГ**
Водоизмещение, Δ , т	743,8	1181,6	786,0	1219,0
Состав переменных нагрузок				
Дедвейт, DWT , т	105,90	267,30	120,80	284,10
Запас топлива, т	83,10	203,10	98,00**	219,90**
Запас воды мытьевой, т	10,00	15,00	10,00	15,00
Запас воды питьевой, т	10,00	15,00	10,00	15,00
Экипаж, провизия, т	2,80	4,20	2,80	4,20
Балласт, т	0,00	30,00	0,00	30,00
Состав постоянных нагрузок***				
01 Корпус	356,81	511,47	372,77	519,82
02 Устройства судовые	91,40	131,00	95,31	133,96
03 Системы	20,85	35,00	28,29	43,00
04 Установка энергетическая	99,49	142,60	103,75	145,82
05 Электроэнергетическая система, связь и управление	21,10	21,68	21,10	21,68
07 Р/связь и навигация	1,26	1,26	1,26	1,26
09 Запасные части	0,88	1,27	0,88	1,27
10 Твердый балласт	—	—	—	—
11 Запас водоизмещения, остойчивости	18,00	27,00	10,00	19,00
12 Постоянные жидкие грузы	26,00	40,00	30,00	46,00
13 Снабжение, имущество	2,10	3,01	2,19	3,08
Водоизмещение порожнем, т	637,89	914,3	665,19	934,90

* На основании расчета буксировочной мощности, расчет в п. 5.

** В гибридном режиме с учетом запасов СПГ, расчет которых представлен в п. 4.

*** По прототипу пр. Т3150 «Пур», «Тамбей».

4. АВТОНОМНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ БУКСИРОВ

Отношение расходов жидкого топлива и СПГ равняется отношению их теплотворных способностей и обычно принимается равным 1,2, то есть расход СПГ по весу будет на 20 % меньше, чем расход жидкого топлива. Для жидкого топлива удельные расходы топлива определены следующим образом: для двигателей линейки Weichai 16M33 — 190 г/кВт·ч и 16M55 — 195 г/кВт·ч, для аналогичных двухтопливных двигателей — 3,8 г/кВт·ч дизельного топлива, 152 г/кВт·ч природного газа и 3,9 г/кВт·ч дизельного топлива, 156 г/кВт·ч природного газа соответственно.

Согласно своду правил [19], бюджет рабочего времени буксиров в месяц составляет 625 часов, коэффициент использования рабочего времени $k_{\text{бг}} = 0,65$.

Исходя из этого, определим время работы энергетической установки буксиров в течение всего срока автономности по формуле:

$$t_A = \frac{625 \cdot 0,65}{30} \cdot A, \text{ час} \quad (9)$$

где A — автономность, сут.

Требуемые для обеспечения полной автономности запасы буксиров по топливу представлены в табл. 3.

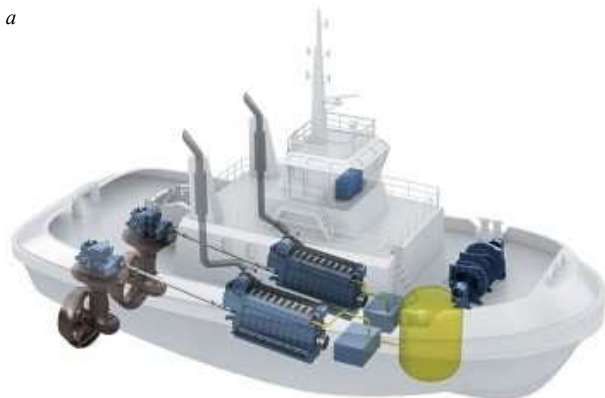
Таблица 3

Требуемое количество запасов топлива для обеспечения автономности

Тип буксира	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 1 СПГ	Вар. 2 СПГ
Автономность, A , сут	10	15	10	15
Суммарная мощность ГД, кВт	2×1490	2×2370	2×1630	2×2450
Мощность ДГ, кВт	250,0	390,0	265,0	401,0
Время работы энергетической установки буксиров, t_A , час	135,4	203,1	135,4	203,1
Дизельное топливо, т	83,1	203,1	1,8	4,2
Природный газ, т	—	—	72,5	168,0

При этом требуемые объемы для хранения природного газа в сжиженном виде составят около 137 и 317 м³ при плотности СПГ 0,54 т/м³ и заполнении емкости 98 %. В отличие от транспортных судов, буксирные суда характеризуются малыми размерениями и меньшей вместимостью корпуса. Путем анализа реализованных в настоящее время двухтопливных буксиров (с типовым расположением емкости, представленным на рис. 7а) удалось выявить зависимость между массовым водоизмещением этих судов и объемом топливного СПГ, который удалось реализовать в размерениях этих судов (рис. 7б).

а



б

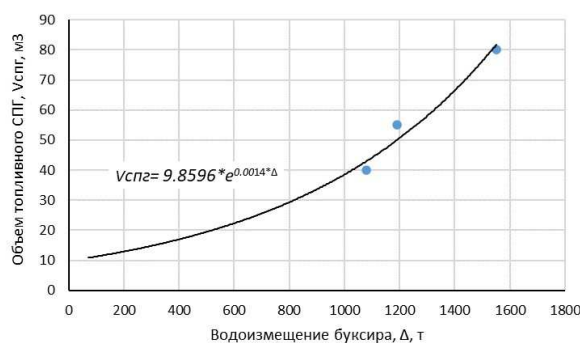


Рис. 7. Схема расположения емкости СПГ на буксирах Buksér og Berging AS (а); зависимость между массовым водоизмещением двухтопливных буксиров и объемом топливного СПГ, который удалось реализовать в размерениях этих судов (б)

Расчет объема бункерного СПГ, возможного к размещению в расчетных буксирах «Вар. 1 СПГ» и «Вар. 2 СПГ», выполнен по формуле 10 и составил 30 м³ и 55 м³ (16,2 и 29,7 т) СПГ для каждого буксира соответственно.

$$V_{\text{СПГ}} = 9,8569 \cdot \exp^{0,0014 \cdot \Delta}, \text{ час}, \quad (10)$$

где $V_{\text{СПГ}}$ — запасы бункерного СПГ, м³;
 Δ — массовое водоизмещение буксира, т.

Таким образом, выяснено, что обеспечить полную автономность портового двухтопливного буксира, характерную для аналогичного судна, работающего на морском дизельном топливе, используя только СПГ невозможно, поэтому в качестве основы для дальнейших расчетов для буксиров «Вар. 1 СПГ» и «Вар. 2 СПГ» принято количество бункерного СПГ, равное 30 м³ и 55 м³ соответственно, а недостающая автономность по топливу обеспечивается дизельным топливом. Определение необходимого количества дизельного топлива с учетом запального представлено в табл. 4.

Таблица 4

Требуемое количество запасов топлива для обеспечения автономности при работе ЭУ расчетных буксиров в двухтопливном режиме

№	Параметр	Вар. 1 СПГ	Вар. 2 СПГ	Примечание
1	Мощность ГД на чистой воде, кВт	1548	1844	На $v_s = 12$ уз
2	Мощность ГД в ледовых условиях, кВт	3147	4755	При $h_{\text{lim}} = 0,9$ м и $v_{\text{ice}} = 2$ уз
3	Мощность ДГ, кВт	270	401	По формуле 3
4	Масса бункерного СПГ на борту, т	16,2	29,7	По формуле 10
5	Удельный расход ДТ, г/кВт·ч	190	195	В режиме дизеля
6	Удельный расход ДТ, г/кВт·ч	1,9	1,95	В двухтопливном режиме ≈ 1 % от (5)
7	Удельный расход ПГ, г/кВт·ч	152	156	В двухтопливном режиме ≈ 80 % от (5)
8	Бюджет раб. времени, час	135,4	203,1	За автономность А по [16]
Время работы ЭУ на газу в различных режимах				
Время на стоянке, час		394,7*	474,8*	$(4)/(3) \cdot (7) \cdot 10^{-6}$
Время на переходы по чистой воде на v_s , час		58,6**	84,8**	$(4)/((1) + (3)) \cdot (7) \cdot 10^{-6}$
Работа в порту на чистой воде, час		58,6**	84,8**	$(4)/((1) + (3)) \cdot (7) \cdot 10^{-6}$
Работа в порту в тяжелых ледовых условиях, час		31,2***	36,9***	$(4)/((2) + (3)) \cdot (7) \cdot 10^{-6}$
Требуемая масса ДТ для обеспечения автономности в наиболее тяжелом режиме эксплуатации				
Масса ДТ для обеспечения двухтопливного режима работы ЭУ, т		0,8	1,9	$(2) \cdot (6) \cdot (8) \cdot 10^{-6}$
Дополнительное количество дизельного топлива, т		81	188,3	$(2) \cdot (5) \cdot (8) \cdot 10^{-6}$
Σ ДТ, т		81,8	190,2	В гибридном режиме
* На 100 % мощности ДГ и 0 % мощности ГД. ** На 100 % мощности ДГ и 49 % мощности ГД. *** На 100 % мощности ДГ и ГД.				

5. ПРОВЕРКА ЛЕДОПРОХОДИМОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РАСЧЕТНЫХ БУКСИРОВ

Проверку ледопроходимости полученных расчетных судов выполним в соответствии с формулой:

$$v_{\text{ice}} = v_{ow} - (v_{ow} - v_{\text{min}}) \cdot \frac{h_{eq}}{h_{\text{lim}}}, \text{ уз}, \quad (11)$$

где v_{ice} — скорость во льду толщиной h_{eq} , уз;
 v_{ow} — максимальная скорость на чистой воде, которую может развить судно, уз;
 v_{min} — минимальная ледовая скорость, уз;
 h_{eq} — толщина ровного сплошного льда, м;
 h_{lim} — ледопроходимость судна, м.

В качестве минимальной ледовой скорости v_{min} в расчетах обычно принимается значение, равное 2 уз. Максимальную скорость на чистой воде v_{ow} , которую может развить судно, определим по методике [20].

Буксиры имеют специфические формы обводов с относительно малыми значениями удлинений L/B и коэффициентов общей полноты Cb , обусловленных необходимостью обеспечения повышенных маневренных качеств и высокой остойчивости. Эти условия не позволяют безоговорочно использовать диаграммы и графики, предназначенные для расчета сопротивления движению судов других типов. Для судов с малыми удлинениями результаты экспериментальных исследований в области сопротивления движению обычно представляются в виде диаграмм зависимости удельного остаточного сопротивления от относительной скорости хода $Rr/\Delta = f(Fr)$ (рис. 8а).

При этом расчетная формула принимает вид:

$$R = m \cdot [0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \Omega \cdot (0,4 + \zeta_{f_0}) + (Rr/\Delta) \cdot \Delta \cdot g], \text{ уз,} \quad (12)$$

где m — коэффициент, учитывающий влияние выступающих частей корпуса, ветра и волнения моря;

v — скорость судна, уз;

ζ_{f_0} — коэффициент трения технически гладкой пластины;

Rr/Δ — удельное остаточное сопротивление, кН/т;

Δ — массовое водоизмещение судна, т.

Выполненный для вариантов буксиров (табл. 2) расчет буксировочной мощности на эксплуатационной скорости, а также на максимально достижимой скорости хода на чистой воде v_{ow} , показал полное соответствие требованиям, предъявленным к буксировочной мощности. Расчет представлен на рис. 8.

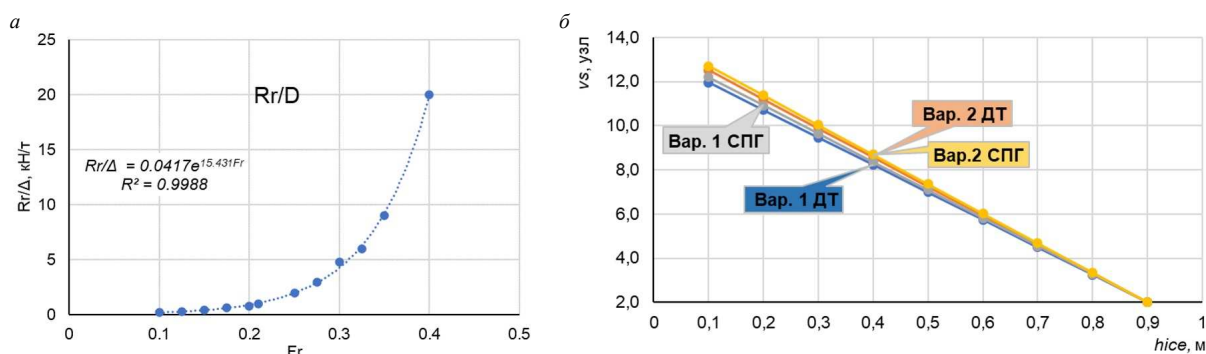


Рис. 8. Зависимость удельного остаточного сопротивления буксиров от их относительной скорости хода (а); ледопроходимость полученных расчетных буксиров (б)

Методика расчета буксировочной мощности представлена в табл. 5, а значения используемых для расчета постоянных величин — в табл. 6.

Таблица 5

Расчет буксировочной мощности буксира

№	Расчетная величина	Формула
1	Площадь смоченной поверхности, м ²	$\Omega = K_{Cb} (L_{bp} d (2 + 1,37(Cb - 0,274)B/d))$
2	Поправка на ледовый класс судна	$LK \leq Arg4 \rightarrow K_{Cb} = 1,1214; \text{ иначе } K_{Cb} = 1,1064$
3	Число Фруда	$Fr = v / \sqrt{gL_{bp}}$
4	Удельное остаточное сопротивление, кН/т	$Rr/\Delta = 0,0417 \cdot Exp^{15,431 \cdot Fr}$
5	Остаточное сопротивление, кН	$Rr = m \cdot (4) \cdot \Delta \cdot g \cdot 10^{-3}$
6	Скорость хода судна, м/с	$v = (3) \cdot \sqrt{gL_{bp}}$
7	Число Рейнольдса	$Re = (6) \cdot L_{bp} / \nu$
8	Коэффициент трения техн. гл. пластины	$\zeta_{f_0} \cdot 10^3 = f(Re)$
9	Коэффициент трения судна	$\zeta_c \cdot 10^3 = (8) + 0,4 + \zeta_r \cdot 10^3$
10	Квадрат скорости хода, м ² /с ²	$v^2 = (6)^2$
11	Сопротивление трения судна, кН	$R_f = m \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot \Omega \cdot (10) \cdot (9) \cdot 10^{-3}$
12	Буксировочное сопротивление, кН	$R = (5) + (11)$
13	Буксировочная мощность, кВт	$N = (12) \cdot (6) / \eta_{винт} / \eta_{з-передачи}$
14	Буксировочная мощность + доп. потери, кВт	$N_{\text{доп. потери}} = (13) + \text{доп. потери}$
15	Скорость хода судна, м/с	$v_s = 1,945 \cdot (6)$

Таблица 6

Постоянные величины для расчета буксировочной мощности

Величина	Значение
Плотность морской воды, ρ , т/м ³	1,025
Кинематическая вязкость жидкости ν , м ² /с	$1,61 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент выступающих частей, m	1,08
Коэффициент влияния кривизны на трение K	1,08
Корреляционный коэффициент — надбавка на шероховатость, $\zeta_n \cdot 10^3$	0,6
КПД винта	0,614
КПД z -передачи	0,97
Увеличение MCR ГД, %	15

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях роста числа судозаходов в замерзающие порты РФ и потенциальной возможности использования сжиженного природного газа для бункеровки портофлота актуализируется вопрос о целесообразности применения двухтопливных буксиров. При отсутствии нормативных ограничений на применение низкосернистого топлива в российских портах решение об использовании природного газа может основываться на экономическом критерии эффективности. Экономические модели, применяемые для анализа, требуют набора входных данных о параметрах буксира.

Анализ «ледовых» Правил Российского морского регистра судоходства и ледовых условий Финского залива в тяжелые навигационные периоды показывает необходимость применения буксиров с классом ледовых усилений не ниже Arc5. В отсутствие реального двухтопливного буксира с таким классом была разработана его математическая модель. Модель построена на основе статистических данных по судам классов Arc4 и Arc5 и позволяет получить приближенные проектные характеристики, достаточные для проведения технико-экономического обоснования.

Сопутствующей целью исследования являлась оценка влияния применения двухтопливных технических решений на облик и основные характеристики буксира-кантовщика с ледовым классом Arc5. Результатом исследования, проведенного и представленного в отчете, стали параметры расчетных буксиров для дальнейшего их (параметров) использования в экономических исследованиях. Дополнительно выявлены следующие аспекты применения СПГ в качестве топлива на буксирных судах:

- 1) увеличение их водоизмещения за счет роста постоянных составляющих нагрузки масс — массы топливной системы, конструкций надстройки и корпуса (из-за увеличения потребного объема внутри корпуса и надстройки для размещения емкости для хранения СПГ);
- 2) увеличение мощности ГД СЭД для обеспечения эксплуатационной скорости при увеличившихся габаритах судна, а также для удовлетворения требованиям к ледовой ходкости при росте ширины буксира;
- 3) рост результирующей тяги на гаке из-за увеличения мощности ГД СЭД;
- 4) невозможность обеспечить длительный срок автономности буксира по топливу в двухтопливном режиме из-за ограниченной вместимости по газовому топливу.

При выборе главных двигателей двухтопливного буксира необходимо обратить внимание их поставщика на специфику работы буксира: длительная работа на переменных долевых нагрузках, в связи с чем должны быть выполнены мероприятия, направленные на повышение стабильности работы двигателя на газообразном топливе (отсутствие детонации и пропусков воспламенения в камере сгорания); периодическое взаимодействие лопастей гребного винта со льдинами средней толщины до 1,2 м, в связи с чем для предотвращения внезапных остановок двигателя может потребоваться оборудовать его маховиком и установить гидравлические муфты в составе пропульсивной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Hensen H. Tug use in port. A practical guide. 2nd ed. / H. Hensen. — Port Rotterdam: Nautical Institute, 2003. — 192 p.
- 2 Lebedevas S. Investigation of effect on environmental performance of using LNG as fuel for engines in seaport tugboats / S. Lebedevas, L. Norkevičius, P. Zhou // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2021. — Vol. 9(2). — P. 123. — DOI 10.3390/jmse9020123.
- 3 Paulauskas V. The influence of port tugs on improving the navigational safety of the port / V. Paulauskas, M. Simutis, B. Plačienė, R. Barzdžiukas et al. // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2021. — Vol. 9(3). — P. 342. — DOI 10.3390/jmse9030342.
- 4 Бондаренко А.В. Методика выбора оптимального состава буксирного обеспечения порта / А.В. Бондаренко, В.А. Некрасов, А.П. Ястреба // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. — 2015. — № 4(32). — С. 43 — 52. — EDN UDJURF.
- 5 Власьев М.В. Определение буксирного обеспечения порта: уч. пос. / М.В. Власьев. — СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2022. — 105 с.
- 6 Киреев В.Н. Буксиры проектам ЦКБ «Балтсудопроект» / В.Н. Киреев, Е.С. Былинович, Ю.И. Рязанцев // *Судостроение*. — 2007. — № 3(772). — С. 25 — 29. — EDN HZVQDR.
- 7 Реуцкий А.С. Назначение размеров охраняемой зоны в ходе выполнения бункеровки методом «автоцистерна — судно» / А.С. Реуцкий, В.А. Павловский // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. — 2025. — № 78. — С. 4 — 15. — EDN YZMAKE.
- 8 Толмачев С.А. Последствия применения требований МАРПОЛ к эксплуатационной углеродоемкости (СИ) и предлагаемые подходы к их совершенствованию / С.А. Толмачев, А.А. Серов, А.А. Михеева, Д.С. Семионичев, А.С. Реуцкий // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. — 2024. — № 77. — С. 24 — 32. — EDN FXBYEL.
- 9 Реуцкий А.С. Анализ положений руководящих принципов ИМО по оценке интенсивности выбросов парниковых газов на протяжении жизненного цикла для всех видов судового топлива / А.С. Реуцкий, В.К. Шурпяк, С.А. Толмачев // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. — 2025. — № 79. — С. 14 — 25. — EDN FBBBJV.
- 10 Кузнецов А.Л. Генезис моделей развития портов в современной транспортной науке / А.Л. Кузнецов, А.В. Галин // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. — 2015. — № 2(30). — С. 141 — 153. — DOI 10.21821/2309-5180-2015-7-2-141-153. — EDN TPSXEF.
- 11 Scott D. Port simulation modelling and economic assessment / D. Scott, D. Taylor, S. Solh, T. Elliott // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2016. — Vol. 4. — P. 16. — DOI 10.3390/jmse4010016.
- 12 Кондратенко А.А. Особенности проектирования СПГ бункеровщиков / А.А. Кондратенко, А.С. Реуцкий // *Труды Крыловского государственного научного центра*. — 2019. — Специальный выпуск 1. — С. 216 — 222.
- 13 Аполлонов Е.М. Регрессионно-аналитическая модель определения характеристик газозовов СПГ мембранного типа с различными ледовыми категориями / Е.М. Аполлонов, О.В. Таровик // *Судостроение*. — 2013. — № 806. — С. 12 — 17. — EDN QCMGUN.
- 14 Marine Design XIII: Proceedings of the 13th International marine design conference (IMDC 2018), June 10-14, 2018, Helsinki, Finland / P. Kujala, L. Lu (eds). — Vol. 2. — DOI 10.1201/9780429440519.
- 15 Реуцкий А.С. Методы определения потребного количества портовых буксиров-кантовщиков с использованием приближенных зависимостей в разных портах мира / А.С. Реуцкий, Р.Ю. Романов, Д.С. Семионичев // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. — 2024. — № 76. — С. 74 — 86. — EDN UBTICP.
- 16 Цой Л.Г. К вопросу о критерии ледовой ходкости судов // *Морской флот*. — 2019. — № 2(1542). — С. 24 — 28.
- 17 Правила классификации и постройки морских судов. Часть VII. Механические установки / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2024.
- 18 Киреев В.Н. Справочник по нагрузке масс морских судов / В.Н. Киреев, В.А. Мацкевич, Ю.И. Рязанцев. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2007. — 190 с.
- 19 СП 350.1326000.2018 Нормы технологического проектирования морских портов, 2018.
- 20 Емельянов Н.Ф. Ходкость водоизмещающих морских судов: уч. пос. / Н.Ф. Емельянов. — Владивосток: Дальрыбвтуз, 2004. — 249 с.

REFERENCES

- 1 Hensen H. Tug use in port. A practical guide. 2nd ed. Port Rotterdam: Nautical Institute, 2003. 192 p.
- 2 Lebedevas S., Norkevičius L. Zhou P. Investigation of effect on environmental performance of using LNG as fuel for engines in seaport tugboats. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9(2). P. 123. DOI 10.3390/jmse9020123.
- 3 Paulauskas V., Simutis M., Plačienė B., Barzdžiukas R. et al. The influence of port tugs on improving the navigational safety of the port. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9(3). P. 342. DOI 10.3390/jmse9030342.
- 4 Bondarenko A.V., Nekrasov V.A., Yastreba A.P. Methodology of selection of optimal structure of the fleet harbor tug. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. 2015. No. 4(32). P. 43 — 52. EDN UDJURF. (In Russ.)
- 5 Vlas'ev M.V. Opredelenie buksirnogo obespecheniya porta [Determination of port tug support: a study guide]. St. Petersburg: SPbGMTU, 2022. 105 p.
- 6 Kireev V.N., Bylinovich E.S., Ryazantsev Yu.I. Buksiry proektam TsKB "Baltsudoproekt" [Tugs constructed under the TSKB Baltsudoproekt's projects]. *Sudostroenie [Shipbuilding]*. 2007. No. 3(772). P. 25 — 29. EDN HZVQDR.
- 7 Reutskii A.S., Pavlovsky V.A. Assigning the size of the protected area during the TTS LNG bunkering operation. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 78. P. 4 — 15. EDN YZMAKE. (In Russ.)
- 8 Tolmachev S.A., Serov A.A., Mikheeva A.A., Semionichev D.S., Reutskii A.S. Consequences of applying MARPOL requirements to operational carbon intensity (CII), and approaches for their improvement. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2024. No. 77. P. 24 — 32. EDN FXBYEL. (In Russ.)
- 9 Reutskii A.S., Shurpyak V.K., Tolmachev S.A. Analysis of the IMO guidelines for estimating the intensity of greenhouse gas emissions over the life cycle for all types of marine fuels. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 79. P. 14 — 25. EDN FBBBJV. (In Russ.)

10. Kuznetsov A.L., Galin A.V. The genesis of port development models in modern transportation science. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. 2015. No. 2(30). P. 141 — 153. DOI 10.21821/2309-5180-2015-7-2-141-153. EDN TPSXEF. (In Russ.)
11. Scott D., Taylor D., Solh S., Elliott T. Port simulation modelling and economic assessment. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2016. Vol. 4. P. 16. DOI 10.3390/jmse4010016.
12. Kondratenko A.A., Reutskii A.S. Design specifics of LNG bunkering ships. *Transactions of the Krylov State Research Centre*. 2019. Special issue 1. P. 216 — 222. (In Russ.)
13. Appolonov E.M., Tarovik O.V. Regressionno-analiticheskaya model' opredeleniya kharakteristik gazovozov SPG membrannogo tipa s razlichnymi ledovymi kategoriymi [Regression and analytical model for determining the performances of membrane-type LNG-carriers with different ice categories]. *Sudostroenie [Shipbuilding]*. 2013. No. 806. P. 12 — 17. EDN QCMGUN.
14. Marine Design XIII: Proceedings of the 13th International marine design conference (IMDC 2018), June 10-14, 2018, Helsinki, Finland / P. Kujala, L. Lu (eds). Vol. 2. DOI 10.1201/9780429440519.
15. Reutskii A.S., Romanov R.Yu., Semionichev D.S. Methods for determining the required number of harbour tugs using approximate dependencies in different ports of the world. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2024. No. 76. P. 74 — 86. EDN UBTICP. (In Russ.)
16. Tsoi L.G. K voprosu o kriterii ledovoi khodkosti sudov [About the criteria for ice performance of ships]. *Morskoi flot [Marine Fleet]*. 2019. No. 2(1542). P. 24 — 28.
17. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part VII. Machinery Installations / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2024.
18. Kireev V.N., Matskevich V.A., Ryazantsev Yu.I. Spravochnik po nagruzke mass morskikh sudov [Handbook of mass load of sea-going ships]. St. Petersburg: TsNII im. akad. A.N. Krylova, 2007. 190 p.
19. SP 350.1326000.2018 Norms for technological design of sea ports, 2018. (In Russ.)
20. Emel'yanov N.F. Khodkost' vodoizmeshchayushchikh morskikh sudov [Propulsion qualities of sea-going displacement ships: a study guide]. Vladivostok: Dalrybvtuz, 2004. 249 p.



МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИЖИТЕЛИ

УДК 621.432 + 621.45.026.8
EDN CLDZKZ

МАЛОВИБРОАКТИВНЫЕ И МАЛОШУМНЫЕ ПОРШЕНЬ И ШАТУН ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

М.А. Минасян, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121 Россия, Санкт-Петербург, Лощманская ул., 3, e-mail: mamsar@mail.ru

А.М. Минасян, канд. техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121 Россия, Санкт-Петербург, Лощманская ул., 3, e-mail: menos405@gmail.com

Чжо Нанда Тхейн, студент магистратуры, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121 Россия, Санкт-Петербург, Лощманская ул., 3, e-mail: kyawnandathein5534@gmail.com

Вай Ян Паинг, студент магистратуры, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121 Россия, Санкт-Петербург, Лощманская ул., 3, e-mail: Waiyanpaingtheim@mail.ru

Маловиброактивность и малошумность поршня двигателя в целом обеспечивается специальной П-образной вставкой благодаря расчетным вертикальным (осевым) и горизонтальным (боковым) упругим деформациям рессор вставки, а шатуна — перфорацией в стержне. При воспламенении и сгорании топлива стержень упруго сжимается, обеспечивая изменение степени сжатия, благодаря которому происходит уменьшение механических нагрузок на детали двигателя. С целью определения эффективности обеспечения маловиброактивности и малошумности поршня и шатуна в настоящее время приступили к разработкам чертежей на изготовление опытных образцов применительно к двум объектам: поршневому компрессору 4122-210 (аналог изделия немецкой фирмы «Klopff-Bremse») тормозной системы автомобиля «КАМАЗ» и дизелю 1Ч8,5/11. Экспериментальные исследования планируется провести в лаборатории судовых двигателей внутреннего сгорания и дизельных установок (СДВС и ДУ) Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ) в рамках магистерской, а затем кандидатской диссертаций. На базе компрессора 4122-210 и дизеля 1Ч8,5/11 планируется создать специальные универсальные экспериментальные установки для оценки эффективности средств снижения вибрации и шума не только в источнике возникновения, но и на путях распространения, то есть нетрадиционных упругих подвесок трубопроводов, опорных и неопорных связей (амортизаторов и упругих муфт). Одним из примеров реализации опорных амортизаторов с упругим элементом из троса является их внедрение на двух рефрижераторных судах серии «Иван Кулибин» в системе амортизации ДГА-500 с приводным дизелем 5AL25. С этим и другими примерами, связанными с проблемой снижения вибрации и шума на судах, можно ознакомиться в публикациях авторов MAMSar.

Ключевые слова: маловиброактивные и малошумные поршень и шатун, составной поршень, шатун с перфорированным стержнем.

Для цитирования: Минасян М.А. Маловиброактивные и малошумные поршень и шатун двигателя внутреннего сгорания / М.А. Минасян, А.М. Минасян, Чжо Нанда Тхейн, Вай Ян Паинг // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 61 — 68. — EDN CLDZKZ.

LOW-VIBRATION AND LOW-NOISE INTERNAL COMBUSTION ENGINE PISTON AND CONNECTING ROD

M.A. Minasyan, DSc, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, 190121 Russia, St. Petersburg, Lotsmanskaya ul., 3, e-mail: mamsar@mail.ru

A.M. Minasyan, PhD, Associate Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, 190121 Russia, St. Petersburg, Lotsmanskaya ul., 3, e-mail: menos405@gmail.com

Chjo Nanda Thein, MSc student, St. Petersburg State Marine Technical University, 190121 Russia, St. Petersburg, Lotsmanskaya ul., 3, e-mail: kyawnandathein5534@gmail.com

Wai Yang Paing, MSc student, St. Petersburg State Marine Technical University, 190121 Russia, St. Petersburg, Lotsmanskaya ul., 3, e-mail: Waiyanpaingthein@mail.ru

The low vibration and low noise of the engine piston as a whole is ensured by a special U-shaped insert due to the calculated vertical-axial and horizontal-lateral elastic deformations of the insert springs, and the connecting rod by perforation in the rod. During ignition and combustion of fuel, the rod is elastically compressed, providing a change in the degree of compression, due to which mechanical loads on engine parts are reduced. In order to determine the effectiveness of ensuring low vibration and low noise of the piston and connecting rod, we have now started developing drawings for the manufacture of prototypes for two objects: the piston compressor 4122-210 (an analog of the Knorr-Bremze product), the braking system of a KAMAZ car and a 1H8.5/11 diesel engine. Experimental studies are planned to be conducted in the laboratory of marine internal combustion engines and diesel installations of St. Petersburg State Marine Technical University (SPbGMTU) as part of the Master's and then PhD theses. On the basis of the 4122-210 compressor and the 1H8.5/11 diesel engine, it is planned to create special universal experimental installations to evaluate the effectiveness of vibration and noise reduction tools not only at the source of occurrence, but also on the distribution routes, that is, non-traditional elastic suspensions of pipelines, supporting and non-supporting connections (shock absorbers and elastic couplings). One example of the adoption of support shock absorbers with an elastic cable element is their implementation on two refrigerated vessels of the Ivan Kulibin series in the DGA-500 amortization system with a 5AL25 drive diesel engine. These and other examples related to the problem of reducing vibration and noise on ships can be found in the publications of MAMSar authors.

Keywords: low-vibration and low-noise piston and connecting rod, the assembly piston, connecting rod with perforated rod.

For citation: Minasyan M.A., Minasyan A.M., Thein Chjo Nanda, Paing Wai Yang. Low-vibration and low-noise internal combustion engine piston and connecting rod. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 61 — 68. EDN CLDZKZ. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее интенсивными источниками вибрации и, как следствие, шума ДВС механического происхождения являются колебания цилиндрических втулок и блоков ДВС, возникающие в результате перекладок («хлябания») и кантования поршней в пределах теплового зазора.

Главным источником шума ДВС являются механические удары в шатунно-кривошипном механизме («поршень — палец, поршень — головной подшипник шатуна, подшипник кривошипной головки шатуна — коленчатый вал — коренной подшипник коленчатого вала»), уровень шума которых на 3 — 9 дБ выше уровней других источников шума механического происхождения. Увеличение шума двигателей за счет процесса сгорания (на 2 — 3 дБ) в большей мере вызывается усилением этих ударов, чем за счет газодинамических явлений процесса сгорания [1, с. 4–13; 2, с. 93–109; 3, с. 81, 97, 140; 4, с. 251, 301]. Основной целью представленной статьи является ознакомление читателя с одним из направлений исследований «методов и средств снижения шума и вибрации на судах» кафедры СДВС и ДУ СПбГМТУ, которые ведутся на сегодняшний день, к сожалению, только в рамках подготовки магистров и аспирантов.

Вертикальная деформация рессор 5 происходит от сил давления газов и сил инерции поступательно движущихся масс (ПДМ). Деформации от сил давления газов связаны с периодами воспламенения, начальным и основным горением, и определяются характером протекания начальной стадии самовоспламенения и сгорания (неуправляемый период сгорания) с интенсивными ударными волнами и скоростью нарастания давления в цилиндре, резкостью отрыва линии сгорания от линии сжатия.

Горизонтальная деформация рессор 5 происходит от нормальной — боковой силы при перекадке (перемены знаков) поршня вследствие наличия зазоров между поршнем и втулкой. Этому сопутствует значительное смягчение ударов, передаваемых поршнем в своем поперечном движении, особенно вблизи верхней мертвой точки (ВМТ), и сглаживание резкого отрыва линии сгорания от линии сжатия.

1.2. Работа поршня по обеспечению маловиброактивности и малощумности ДВС

При работе ДВС рессоры 5 вставки поршня, воспринимая силы давления газов от воспламенения и начального и основного горения и силы инерции ПДМ, прогибаются на расчетную величину. При этом происходит увеличение объема камеры сгорания на расчетную величину, благодаря чему снижается максимальное давление сгорания в цилиндре двигателя, и смягчение ударов в подшипниках КШМ. Все это способствует уменьшению вибрации и динамических нагрузок. В процессе возвратно-поступательного движения поршня шатун двигателя совершает качательное движение, при котором ось поршневой головки шатуна отклоняется на определенный угол в ту или иную сторону в зависимости от величины и направления действия нормальной силы, вызывающей перекадку поршня. При этом рессоры, деформируясь, смягчают удар. Перекадка и кантование поршней в пределах теплового зазора являются наиболее интенсивным источником вибрации и, как следствие, шума дизелей механического происхождения.

2. ШАТУН

2.1. Общие соображения

Изобретение «Шатун» [10] относится к области двигателестроения и направлено на снижение вибрации и шума двигателя путем совершенствования конструкции шатуна по части его маловиброактивности.

Шатун может быть использован также в компрессорах, насосах, машинах и механизмах с кривошипно-шатунными механизмами.

Известен шатун двигателя внутреннего сгорания [11], содержащий поршневую и кривошипную головки, связанные между собой пространством разрезного стержня, состоящего из двух частей. Указанные части стержня жестко связаны одним концом с головками посредством крепежных элементов, между другими концами установлен упругий элемент, выполненный в виде аккумулятора энергии с возможностью телескопического перемещения. Возможности данного шатуна по снижению механических нагрузок на детали двигателя (головки и втулки цилиндра, коленчатый вал, опорные лапы двигателя и т.д.) ограничены, надежность в эксплуатации недостаточная, и он рассчитан на небольшие нагрузки.

Известен также шатун двигателя внутреннего сгорания [12]. В шатуне поршневая и кривошипная головки связаны между собой посредством разрезного стержня, состоящего из двух частей. Одни концы стержня жестко связаны с головками, а между другими концами частей стержня установлен упругий элемент, выполненный в виде цилиндрической втулки из пружинной стали и размещенного в этой втулке сменного пакета цилиндрических пластинчатых пружин различной толщины. Недостатками шатуна [12] являются недостаточное снижение механических нагрузок на детали двигателя (головки и втулки цилиндра, коленчатый вал, опорные лапы двигателя и т.д.), сложность конструкции, большая масса, недостаточная надежность в эксплуатации и высокая стоимость.

Современный уровень дизелестроения характеризуется непрерывным ростом эффективного давления и связанного с ним цилиндрического давления, что приводит к резкому повышению механических нагрузок на детали двигателя. Одной из мер снижения цилиндрического давления в таких двигателях и, следовательно, уменьшения механических нагрузок является применение поршней, обеспечивающих получение переменной степени сжатия. Все известные конструкции поршней с переменной степенью сжатия в настоящее время далеки от практического применения. Однако они показывают направления, по которым может идти конструкторская мысль при создании высокофорсированных дизелей [1; 13, с. 50].

Конструкция поршней с автоматически регулируемой степенью сжатия достаточно сложна, трудоемка при доводке, поэтому не получила широкого распространения [14, с. 137].

Уровни высокочастотных и среднечастотных составляющих шума, обусловленных процессом сгорания, зависят от деформации деталей при воспламенении и сгорании топлива, а также от внутреннего трения в этих деталях [1, 2, 15 — 24].

2.2. Особенности конструкции шатуна

При применении предложенного шатуна [10] (рис. 2) со специально рассмотренной перфорацией в стержне при воспламенении и сгорании топлива последний упруго сжимается, обеспечивая изменение степени сжатия, благодаря которому происходит уменьшение механических нагрузок на детали двигателя. Следовательно, возможности практической реализации для одной и той же цели у предложенного шатуна больше, чем у достаточно сложных поршней с автоматическим изменением степени сжатия [13, 14].

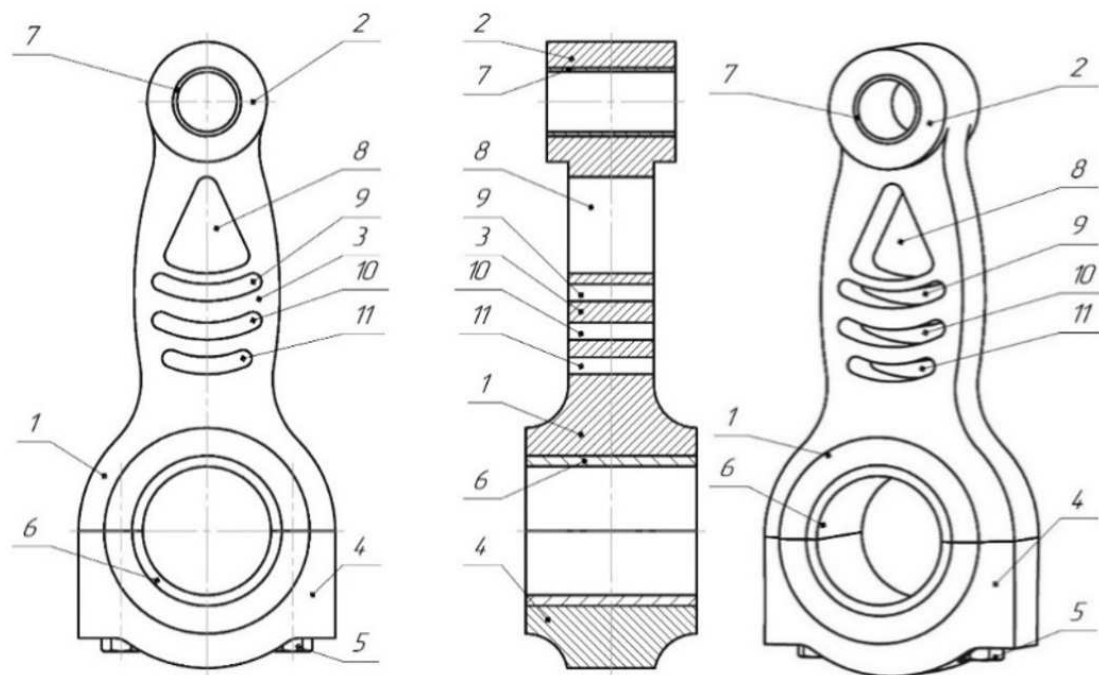


Рис. 2. Шатун поршневой машины

Техническим результатом является усовершенствование конструкции шатуна с целью снижения механических нагрузок на детали (головки и втулки цилиндра, коленчатый вал, опорные лапы двигателя и т.д.) двигателя и его виброактивности с одновременным обеспечением простоты конструкции, технологичности и стоимости изготовления шатуна, что достигается тем, что:

- 1) стержень шатуна не двутаврового сечения;
- 2) поперечная плоскость стержня шатуна выполнена плоской формы;
- 3) продольные боковые плоскости стержня шатуна в средней части выполнены выпуклыми, а по концам, в местах соединения с одной стороны к верхней поршневой головке, а с другой — к нижней кривошипной головке шатуна, выполнены в виде вогнутых плоскостей с плавными переходами от стержня шатуна к соответствующим головкам;
- 4) тело стержня шатуна выполнено с перфорацией с отверстиями специальной расчетной конфигурации;
- 5) число отверстий и их конфигурация выбирается исходя из максимального давления газов в цилиндре двигателя, силового анализа кривошипно-шатунного механизма;
- 6) расчет прочности шатуна производится из условия обеспечения возможности упругой деформации от воздействия как максимальной движущей силы, так и максимальной нормальной или боковой силы. Оптимальные значения величин деформаций от указанных сил также получают расчетным путем, с последующим уточнением путем экспериментальных исследований.

2.3. Принцип уменьшения шатуном механических нагрузок на детали двигателя

Вышеуказанные особенности конструкции шатуна обеспечивают достижение технического решения благодаря возможности упругой деформации шатуна как по его оси, так и в плоскости сложного качательного движения шатуна. Упругая деформация стержня шатуна по его оси обеспечивает снижение механических нагрузок на детали двигателя (головки и втулки цилиндра, коленчатый вал, опорные лапы двигателя и т.д.), следовательно, и снижение шума и вибрации двигателя в целом. Упругая деформация стержня шатуна в плоскости сложного плоско-параллельного, то есть возвратно-поступательного и качательного движения шатуна в плоскости действия нормальной боковой силы при перекадках поршня во время работы двигателя обеспечивает снижение нормальной боковой силы и опрокидывающего момента, следовательно, и снижение шума и вибрации двигателя в целом.

ВЫВОДЫ

1. Благодаря расчетным упругим вертикальным (осевым) и горизонтальным (боковым) деформациям рессор 5 вставки, усовершенствованной конструкции поршня, защищающей от ударов шатунно-кривошипного механизма и процесса сгорания, обеспечивается достижение маловиброактивности и малошумности ДВС.

2. Для подтверждения маловиброактивности и малошумности предлагаемого поршня и всего двигателя целесообразно:

- провести соответствующие расчеты и теоретические исследования;
- создать опытный образец поршня и шатуна со специальными блокирующими устройствами вставки с

целью возможности сравнения двух результатов вибрационных экспериментальных исследований, то есть жесткого и рабочего вариантов.

3. Последнее возможно на двигателе 1Ч 8,5/11 и поршневом компрессоре 4122-210 (аналог изделия немецкой фирмы «Knorr-Bremse») тормозной системы автомобиля «КАМАЗ» в лаборатории кафедры СДВС и ДУ СПбГМТУ, например, сначала в рамках магистерской, а затем кандидатской диссертаций.

4. Для подтверждения маловиброактивности предлагаемого шатуна и двигателя в целом целесообразно:

- провести соответствующие расчеты и теоретические исследования;
- создать опытный образец шатуна со специальными блокирующими вставками, чтобы иметь

возможность сравнить два результата вибрационных экспериментальных исследований, то есть жесткого и рабочего вариантов;

- последнее возможно на двигателе 1Ч 8,5/11 и поршневом компрессоре 4122-210 автомобиля «КАМАЗ» в лаборатории кафедры СДВС и ДУ СПбГМТУ, например, сначала в рамках магистерской, а затем кандидатской диссертаций.

5. На базе компрессора 4122-210 и дизеля 1Ч8,5/11 созданные специальные универсальные экспериментальные установки позволят оценить эффективность средств снижения вибрации и шума не только в источнике возникновения, но и на путях распространения, то есть в нетрадиционных упругих подвесках трубопроводов, амортизаторов и упругих муфт.

6. При реализации в лаборатории судовых ДВС и ДУ СПбГМТУ указанные стенды будут использованы также в учебном процессе, например в рамках дисциплин «Динамика СДВС», «Колебания и амортизация СДВС», «Основы научных исследований и испытаний СДВС», «Вибродиагностика СДВС» и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таровик В.И. Проект Программы выполнения системных исследований и регламентации техногенного подводного шума объектов морской техники / В.И. Таровик, В.А. Калью, А.А. Серов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2024. — № 77. — С. 4 — 13. — EDN APOTAZ.
2. Зинченко В.И. Исследование удара поршня в тронковом дизеле / В.И. Зинченко, А.Е. Карпунцов // Труды ЦНИИМФ. — 1971. — Вып. 146: Автоматизация на морских судах. — С. 93–109. (Техническая эксплуатация морского флота.)
3. Скуридин А.А. Борьба с шумом и вибрацией судовых ДВС / А.А. Скуридин, Е.М. Михеев. — Л.: Судостроение, 1970. — 220 с.
4. Тузов Л.В. Вибрация судовых двигателей внутреннего сгорания / Л.В. Тузов, О.К. Безюков, О.В. Афанасьева. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 348 с.
5. Патент на изобретение № 2750829. Поршень ДВС: заявл. 01.12.2020, опубл. 05.07.2021, БИ № 19 / Минасян М.А., Минасян А.М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». — 10 с.
6. Патент на изобретение № 2182242. Поршень ДВС: заявл. 27.12.1994, опубл. 10.05.2002, БИ № 13 / Минасян М.А.; заявитель и патентообладатель ВМА им. адм. флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. — 5 с.
7. Патент на изобретение № 2182243. Поршень ДВС: заявл. 23.06.1995, опубл. 10.05.2002, БИ № 13 / Минасян М.А.; заявитель и патентообладатель ВМА им. адм. флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. — 10 с.
8. Патент на изобретение № 2182244. Поршень ДВС: заявл. 01.08.1995, опубл. 10.05.2002, БИ № 13 / Минасян М.А.; заявитель и патентообладатель ВМА им. адм. флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. — 6 с.
9. Патент на изобретение № 2263804. Шатунно-поршневая группа: заявл. 24.02.2004, опубл. 10.11.2005, БИ № 31 / Минасян М.А.; заявитель и патентообладатель ВМА им. адм. флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. — 5 с.
10. Патент на полезную модель № 219613. Шатун двигателя внутреннего сгорания: опубл. 27.07.2023 БИ № 21 / Минасян М.А., Минасян А.М.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО СПбГМТУ. — 8 с.
11. Шатун двигателя внутреннего сгорания. Заявка ФРГ № 3339360, кл. F16C7/04, 1985 / Минасян М.А. — 6 с.
12. Патент № 1767246. Шатун двигателя внутреннего сгорания: заявл. 15.10. 1990, опубл. 07.10.92, БИ № 37 / Минасян М.А. — 7 с. (прототип).
13. Васильев Ю.Н. Новое в конструкции судовых дизелей. По материалам периодической и патентной литературы / Ю.Н. Васильев. — Л.: Судостроение, 1972. — 272 с.
14. Чайнов Н.Д. Конструирование двигателей внутреннего сгорания: учебник / Н.Д. Чайнов, Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков; под ред. Н.Д. Чайнова. — М.: Машиностроение, 2008. — 496 с.
15. А. с. СССР № 1227837. Шатун кривошипного механизма: заявл. 28.04.1981, опубл. 30.04.86, БИ № 16 / Истомин П.А., Минасян М.А.
16. А. с. СССР № 1267080. Шатун: опубл. 30.10.86, БИ № 40 / Минасян М.А.
17. Патент № 2263804. Шатунно-поршневая группа: опубл. 10.11.2005, БИ № 31 / Минасян М.А.
18. Патент № 2245463. Шатун двигателя внутреннего сгорания: опубл. 27.01.2005, БИ № 3 / Минасян М.А.
19. Патент № 2382245. Шатун двигателя внутреннего сгорания: опубл. 20.02.2010, БИ № 5 / Минасян М.А.
20. А. с. СССР № 1227837. Шатун кривошипного механизма: опубл. 30.04.86, БИ № 16 / Истомин П.А., Минасян М.А.
21. А. с. СССР № 1267080. Шатун: опубл. 30.10.86, БИ № 40 / Минасян М.А.
22. Патент № 2263804. Шатунно-поршневая группа: опубл. 10.11.2005, БИ № 31 / Минасян М.А.
23. Патент № 2245463. Шатун двигателя внутреннего сгорания: опубл. 27.01.2005, БИ № 3 / Минасян М.А.
24. Патент № 2382245. Шатун двигателя внутреннего сгорания: опубл. 20.02.2010, БИ № 5 / Минасян М.А.

REFERENCES

1. Tarovik V.I., Kalyu V.A., Serov A.A. Draft program of systemic research and reglamentation of technogenic underwater noise of marine objects. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2024. No. 77. P. 4 — 13. EDN APOTAZ. (In Russ.)
2. Zinchenko V.I., Karpunsov A.E. Issledovanie udara porshnya v tronkovom dizele [Investigation of piston strike in a trunk-type diesel engine]. *Trudy TsNIIMF [Transactions of the Central Research Institute of the Marine Fleet]*. 1971. Issue 146: Avtomatizatsiya na morskikh sudakh [Automation in sea-going ships]. P. 93 — 109.
3. Skuridin A.A., Mikhееv E.M. Bor'ba s shumom i vibratsiei sudovykh DVS [Combating noise and vibration of marine internal combustion engines]. Leningrad: Sudostroenie, 1970. 220 p.
4. Tuzov L.V., Bezukov O.K., Afanas'eva O.V. Vibratsiya sudovykh dvigatelei vnutrennego sgoraniya [Vibration of marine internal combustion engines]. St. Petersburg: Politekh. univ., 2012. 348 p.
5. Patent for invention No. 2750829. Internal combustion engine piston: appl. 01.12.2020, publ. on 05.07.2021, bul. No. 19 / Minasyan M.A., Minasyan A.M.; applicant St. Petersburg State Marine Technical University. 10 p.
6. Patent for invention No. 2182242. Internal combustion engine piston: appl. 27.12.1994, publ. on 10.05.2002, bul. No. 13 / Minasyan M.A.; applicant Kuznetsov Naval Academy. 5 p.
7. Patent for invention No. 2182243. Internal combustion engine piston: appl. 23.06.1995, publ. on 10.05.2002, bul. No. 13 / Minasyan M.A.; applicant Kuznetsov Naval Academy. 10 p.
8. Patent for invention No. 2182244. Internal combustion engine piston: appl. 01.08.1995, publ. on 10.05.2002, bul. No. 13 / Minasyan M.A.; applicant Kuznetsov Naval Academy. 6 p.
9. Patent for invention No. 2263804. Connecting rod and piston group: appl. 24.02.2004, publ. on 10.11.2005, bul. No. 31 / Minasyan M.A.; applicant Kuznetsov Naval Academy. 5 p.
10. Patent for a utility model No. 219613. Connecting rod of internal combustion engine: publ. on 27.07.2023, bul. No. 21 / Minasyan M.A., Minasyan A.M.; applicant St. Petersburg State Marine Technical University. 8 p.
11. Connecting rod of internal combustion engine. Application FRG № 3339360, IPC No. F16C7/04, 1985 / Minasyan M.A. 6 p.

12. Patent No. 1767246. Connecting rod of internal combustion engine: appl. 15.10. 1990, publ. on 07.10.92, bul. No. 37 / Minasyan M.A. 7 p. (prototype).
13. Vasil'ev Yu.N. Novoe v konstruksii sudovykh dizelei. Po materialam periodicheskoi i patentnoi literatury [New developments in marine diesel engine design. Based on periodical and patent literature]. Leningrad: Sudostroenie, 1972. 272 p.
14. Chainov N.D., Ivashchenko N.A., Krasnokutskii A.N., Myagkov L.L. Konstruirovaniye dvigatelei vnutrennego sgoraniya: uchebnyk / pod red. N.D. Chainova [Internal combustion engines construction: a textbook / ed. by N.D. Chainov]. Moscow: Mashinostroenie, 2008. 496 p.
15. Inventor's certificate USSR No. 1227837. Connecting rod of crankshaft assembly: appl. 28.04.1981, publ. on 30.04.86, bul. No. 16 / Istomin P.A., Minasyan M.A.
16. Inventor's certificate USSR No. 1267080. Connecting rod: publ. on 30.10.86, bul. No. 40 / Minasyan M.A.
17. Patent No. 2263804. Connecting rod and piston group: publ. on 10.11.2005, bul. No. 31 / Minasyan M.A.
18. Patent No. 2245463. Connecting rod of internal combustion engine: publ. on 27.01.2005, bul. No. 3 / Minasyan M.A.
19. Patent No. 2382245. Connecting rod of internal combustion engine: publ. on 20.02.2010, bul. No. 5 / Minasyan M.A.
20. Inventor's certificate USSR No. 1227837. Connecting rod of crankshaft assembly: publ. on 30.04.86, bul. No. 16 / Istomin P.A., Minasyan M.A.
21. Inventor's certificate USSR No. 1267080. Connecting rod: publ. on 30.10.86, bul. No. 40 / Minasyan M.A.
22. Patent No. 2263804. Connecting rod and piston group: publ. on 10.11.2005, bul. No. 31 / Minasyan M.A.
23. Patent No. 2245463. Connecting rod of internal combustion engine: publ. on 27.01.2005, bul. No. 3 / Minasyan M.A.
24. Patent No. 2382245. Connecting rod of internal combustion engine: publ. on 20.02.2010, bul. No. 5 / Minasyan M.A.

УДК 629.5.03
EDN HMKZOO

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА СУДАХ С КЛАССОМ РЕГИСТРА

В.К. Шурпьяк, канд. техн. наук, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 7А, e-mail: shurpyak.vk@rs-class.org

Д.С. Семиничев, канд. техн. наук, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 7А, e-mail: semionichev.ds@rs-class.org

А.Е. Чугаева, специалист по научной работе, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 7А, e-mail: chugaeva.ae@rs-class.org; Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121 Россия, Санкт-Петербург, ул. Лодманская, 3

В статье проведен анализ динамики изменений по применению различных типов судовых движителей на основе открытых технических данных судов, имеющих класс Российского морского регистра судоходства. Целью настоящей статьи является определение тенденций развития судовых движителей и применения их на российских морских судах. В статье отмечена тенденция полного вытеснения крыльчатых движителей движительно-рулевыми колонками (ДРК). В результате анализа определена тенденция по расширению применения ДРК на морских судах различного назначения за исключением высокоскоростных судов, рыболовных судов и транспортных судов большого водоизмещения без ледового класса, определены причины отказа от применения ДРК на судах этих типов.

Ключевые слова: гребной винт фиксированного шага, гребной винт регулируемого шага, крыльчатый движитель, винторулевая колонка, средства активного управления судами.

Для цитирования: Шурпьяк В.К. Анализ современных тенденций применения движителей на судах с классом Регистра / В.К. Шурпьяк, Д.С. Семиничев, А.Е. Чугаева // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 69 — 85. — EDN HMKZOO.

ANALYSIS OF CURRENT TRENDS IN THE USE OF PROPULSORS ON SHIPS WITH THE REGISTER CLASS

V.K. Shurpyak, PhD, Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: shurpyak.vk@rs-class.org

D.S. Semionichev, PhD, Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: semionichev.ds@rs-class.org

A.E. Chugaeva, R&D Specialist, Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: chugaeva.ae@rs-class.org; St. Petersburg State Marine Technical University, 190008 Russia, St. Petersburg, Lotsmanskaya ul., 3

The article analyzes the real dynamics of changes in the use of various types of marine propulsors, relying on the open technical data of ships classified by the Russian Maritime Register of Shipping. The purpose of this article is to identify trends in the development of marine propulsion systems and their use on Russian ships. The article notes the trend of complete replacement of Voith Schneider propellers with azimuth thrusters. As a result of the analysis, a trend has been identified to expand the use of azimuth thrusters on marine ships of various purposes, with the exception of high-speed vessels, fishing vessels and large displacement transport ships without ice class, and the reasons have been identified for the refusal to use azimuth thrusters on ships of these type.

Keywords: fix pitch propeller, control pitch propeller, Voith Schneider Propeller, azimuth thruster, active means of the ship's steering.

For citation: Shurpyak V.K., Semionichev D.S., Chugaeva A.E. Analysis of current trends in the use of propulsors on ships with the Register class. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 69 — 85. EDN HMKZOO. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение и постоянное ужесточение требований ИМО по ограничениям выбросов парниковых газов с судов [1, 2] привело к пересмотру подходов к рассмотрению эффективности судовых энергетических установок (СЭУ) и судна в целом. Введенные ИМО показатели энергоэффективности (EEDI, EEXI и CII), выраженные в $\text{г} \cdot \text{CO}_2/\text{т} \cdot \text{милю}$, требуют от проектантов и судовладельцев постоянной работы по улучшению этих показателей как при заказе судов, так и при эксплуатации. В результате в современном судостроении в последние десятилетия происходит переход от рассмотрения частных случаев повышения КПД двигателей к комплексной интегральной оценке всех факторов, влияющих на энергетическую эффективность судов, что приводит к существенным изменениям в тенденциях применения различных типов судовых движителей (СД). Целью настоящей статьи является определение тенденций развития судовых движителей и применения их на российских морских судах.

История судостроения неразрывно связана с развитием СД, так как любое судно, являясь транспортным средством, должно приводиться в движение каким-либо устройством, создающим упор, то есть силу, толкающую судно. Движители развивались и совершенствовались одновременно с появлением новых типов судов и развитием двигателей. История развития техники не раз описывала замысловатые зигзаги, и прежде чем перейти к анализу применения движителей на современных российских судах, хочется вспомнить те виды движителей, которые применялись на судах в прошлом.

Не претендуя на полноту классификации, можно перечислить основные типы судовых движителей, имевшие историческое значение и ограниченно применяющиеся на судах до сих пор. Это весло, парус, гребное колесо с подвижными или неподвижными плицами, гребной винт в различных вариантах, водомет, воздушный винт, крыльчатый движитель и винторулевая колонка. Из перечисленных движителей весла применяются до сих пор на спортивных и прогулочных судах, и в дальнейшем их применение, видимо, будет ограничиваться этими судами.

В последнее время активное развитие получило применение гребных колес на речных судах в классе РКО. Учитывая преимущества гребных колесных судов, а именно возможность малой осадки судна, в последние годы были построены и успешно эксплуатируются пять речных круизных пассажирских теплоходов с гребными колесами (два судна на 180 пассажиров построены по проекту ПКС-180 и три меньшего размера по проекту ПКС-40). На верфи ЗАО «Тюменьсудокомплект» в 2024 г. был сдан заказчику речной колесный буксир проекта ТСК.566 и ведется строительство второго судна по этому проекту. Несмотря на возрождение гребных колес в речном судостроении, примеры применения их на морских судах отсутствуют, и маловероятно их появление в обозримом будущем. Помимо низкого КПД, не решен другой существенный недостаток гребных колес — высокая чувствительность к бортовой качке, отрицательно влияющая на мореходность. Кроме того, главное преимущество судов с гребными колесами, малая осадка, не так актуально для морских судов. Учитывая, что судов с гребными колесами в классе Регистра в настоящее время нет, этот тип движителя исключен из дальнейшего анализа в настоящей статье, хотя этой интересной тенденции, возможно, стоит посвятить отдельную публикацию.

Воздушные винты в настоящее время нашли применение на одном строящемся на класс Регистра судне на воздушной подушке (СВП). Кроме судов на воздушной подушке, воздушные винты ранее применялись на судах-экранопланах, которые строились на класс Регистра.

Парус может в настоящее время получить вторую жизнь и более широкое применение, помимо спортивных и учебных судов, а именно на морских транспортных судах в связи с требованиями ИМО по обеспечению энергетической эффективности морских судов. Поэтому в Регистре было разработано Руководство по судовым установкам, использующим для движения энергию ветра [3], вступившее в силу в 2022 г., но пока не нашедшее применение на судах с классом Регистра.

Гребные винты обычно подразделяют на винты фиксированного шага (ВФШ), винты регулируемого шага (ВРШ), суперкавитирующие винты, частично погруженные винты, винты противоположного вращения, винты в различных видах насадок, винты с колесом Грима и другими устройствами повышения их эффективности. Надо сказать, что из всего перечисленного на российских морских судах в настоящее время можно встретить только ВФШ, которые могут быть в насадке или свободными, и ВРШ.

Помимо гребных винтов, все более широкое применение получают винторулевые колонки в различных вариантах исполнения, также именуемые движительно-рулевыми колонками (ДРК). Кроме этого, в классе Регистра в настоящее время присутствует ограниченное количество судов с водометными движителями (ВМ) и крыльчатыми движителями (КР). Анализу применения этих пяти типов движителей (ВФШ, ВРШ, ВМ, КР и ДРК) на судах с классом Регистра посвящена настоящая статья, цель которой можно сформулировать как определение тенденций применения движителей на морских судах российского флота.

Для определения реальной динамики изменений и тенденций по применению движителей на российских судах морского флота был произведен анализ базы данных «Флот» Регистра. Ранее попытка такого анализа была произведена в 2018 г. [4], и в настоящей статье учтены изменения, произошедшие за последние годы.

ИЗМЕНЕНИЕ КАРТИНЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА МОРСКИХ СУДАХ

Основным типом движителей морских судов с классом Регистра в настоящее время остается винт фиксированного шага (ВФШ) с традиционной линией валопровода, как это можно увидеть на рис. 1, где показано распределение судов, находящихся в эксплуатации, в зависимости от типа движителя в 2017 и 2025 гг.

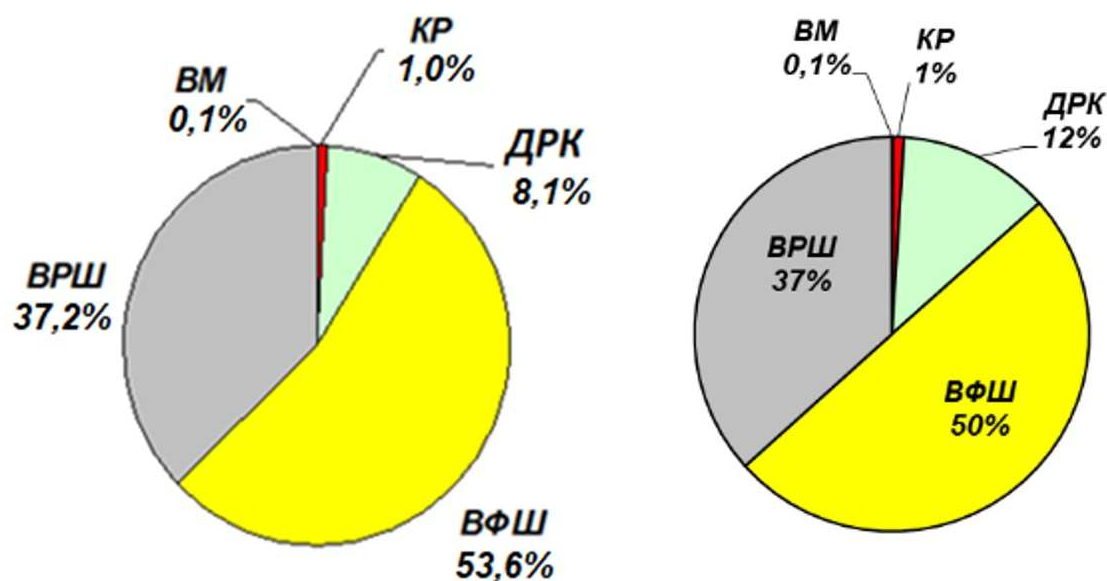


Рис. 1. Распределение судов, находящихся в эксплуатации, в зависимости от типа движителя по данным Регистровой книги на конец 2017 г. (слева) и на июль 2025 г. (справа): ВРШ — винт регулируемого шага; ВМ — водометный движитель; КР — крыльчатый движитель; ДРК — двигатель-рулевая колонка; ВФШ — винт фиксированного шага

В последние десятилетия доля ВФШ в пропульсивных установках «традиционной» конструкции несколько уменьшилась, но по-прежнему остается наибольшей, хотя и непрерывно сокращается за счет замены их судами с ДРК. Эту тенденцию можно заметить на рис. 1, где показано, как изменилась доля ВФШ за семь последних лет. В 2017 г. доля ВФШ была почти 54 % при 8 % ДРК, а в середине 2025 г. — 50 % ВФШ при 12 % ДРК. Если рассмотреть суда, построенные после 2018 г., распределение которых показано на рис. 2, то очевидна тенденция уменьшения доли ВФШ и ВРШ в пользу ДРК. В период 2010 — 2017 гг. доля строящихся судов с ДРК была еще больше и превышала 50 %, но после 2022 г. уменьшилась, так как большинство производителей ДРК находились и находятся за рубежом. Изменение распределения судов в эксплуатации по типам движителей в зависимости от года закладки киля показано на рис. 3.

Применение различных движителей на морских судах различных типов с классом Регистра показано на рис. 4 (независимо от даты закладки) и рис. 5 (заложенных после 2017 г.).

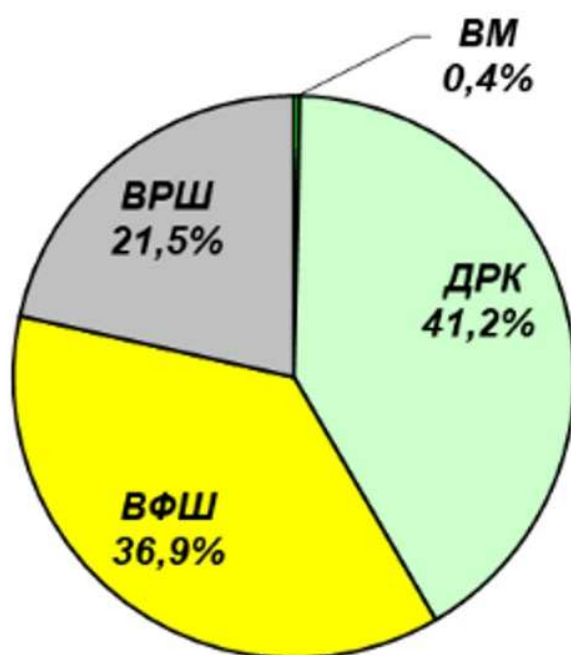


Рис. 2. Распределение судов, находящихся в эксплуатации, киль которых заложен после 01.01.2018, в зависимости от типа двигателя по данным Регистра на июль 2025 г.:

ВРШ — винт регулируемого шага; ВМ — водометный двигатель;
ДРК — движительнорудовая колонка; ВФШ — винт фиксированного шага

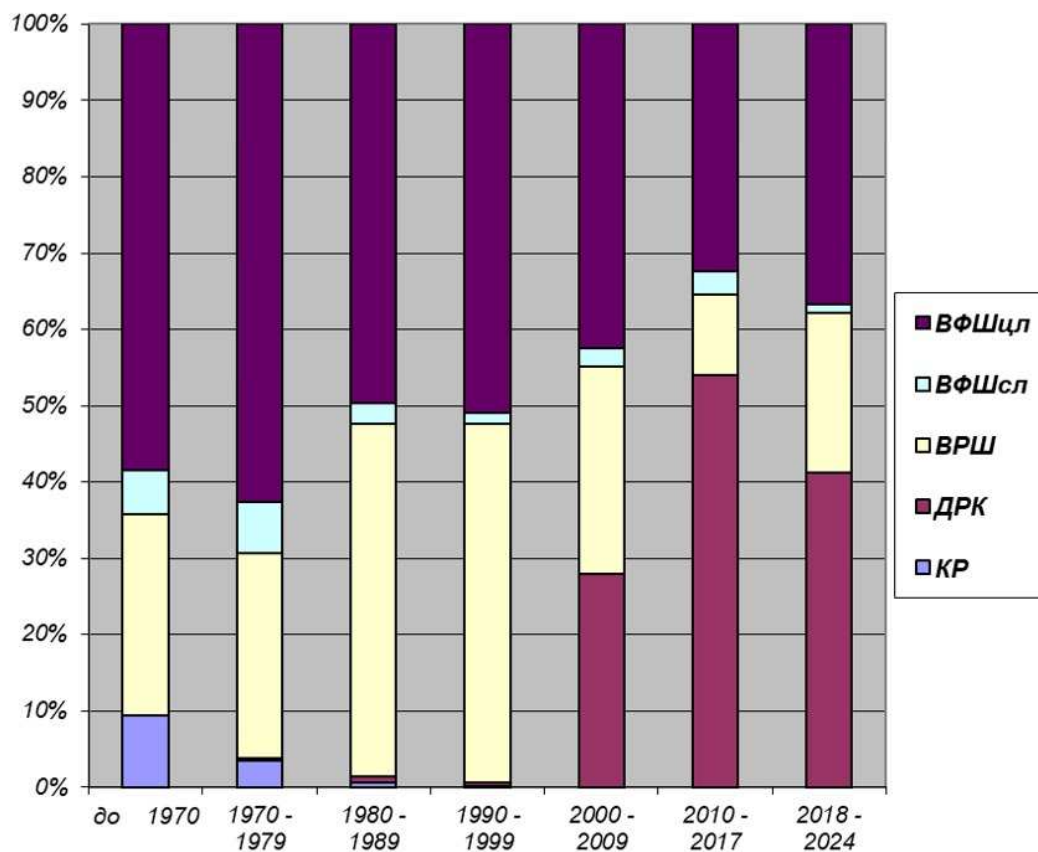


Рис. 3. Распределение судов в эксплуатации по типам двигателей в зависимости от даты закладки киля:

КР — крыльчатый движитель; ДРК — движительнорудовая колонка; ВРШ — винт регулируемого шага;
ВФШсл — винт фиксированного шага со съёмными лопастями; ВФШцл — цельнолитой винт фиксированного шага

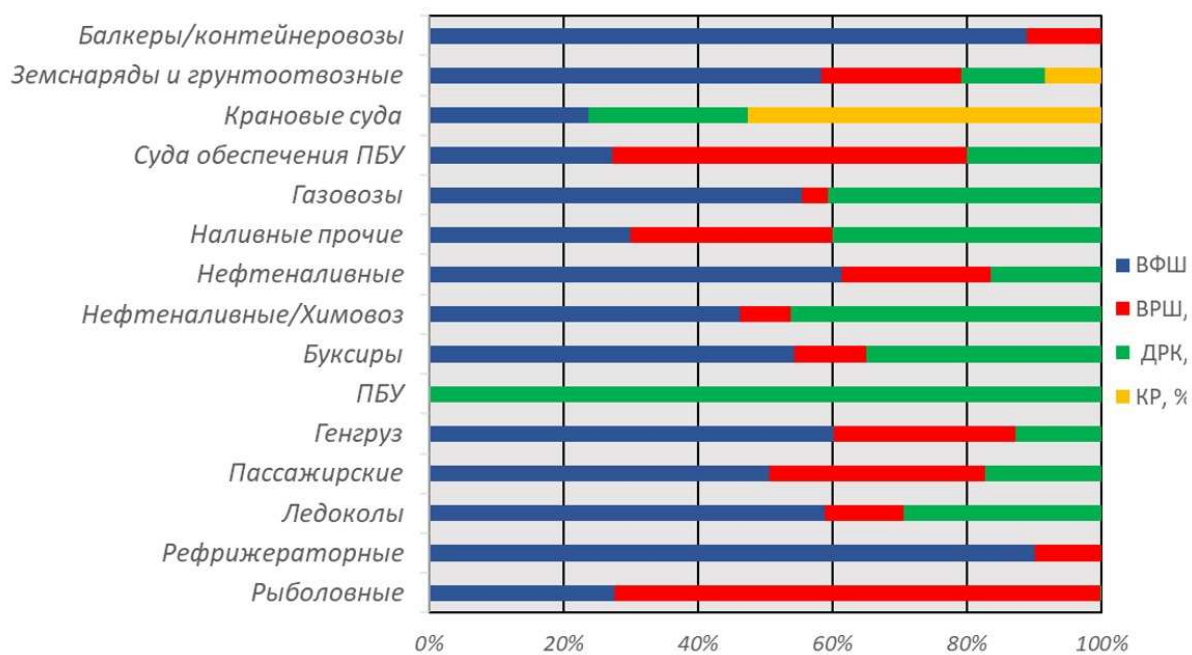


Рис. 4. Движители, применяемые на морских судах с классом Регистра, по состоянию на июль 2025 г. (учитываются все суда независимо от даты закладки)

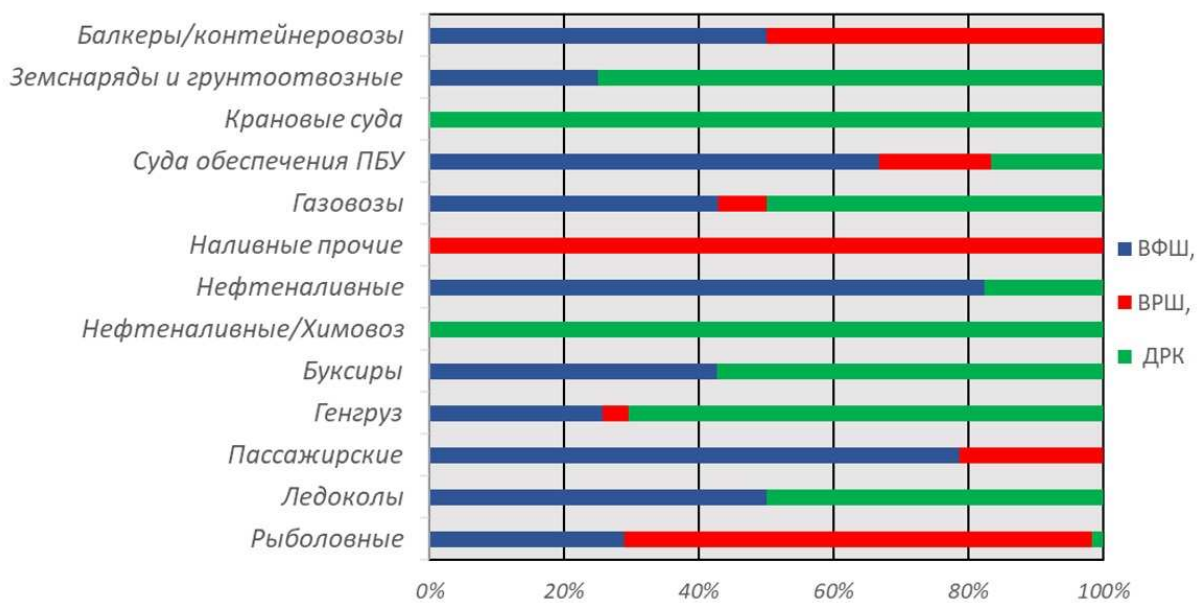


Рис. 5. Движители, применяемые на морских судах с классом Регистра, заложенных после 2017 г. по состоянию на июль 2025 г.

ВИНТЫ ФИКСИРОВАННОГО ШАГА

ВФШ по-прежнему самый простой и относительно дешевый из движителей, широко применяется на судах всех типов, отличается простотой конструкции, надежностью в эксплуатации, высоким КПД (60 — 70 %) и относительно малой массой. Главное достоинство ВФШ по сравнению с другими типами движителей — это высокий КПД на номинальных оборотах, который значительно уменьшается на долевых режимах работы.



Рис. 6. Винты фиксированного шага со съёмными лопастями (слева) и цельнолитой (справа) в процессе освидетельствования¹

По своей конструкции винты фиксированного шага (ВФШ) делятся на монолитные винты и винты со съёмными лопастями. Поскольку металлические гребные винты изготавливаются путем литья с последующей механической обработкой, монолитные винты зачастую называют цельнолитыми. Съёмные лопасти имеют в корневом сечении фланец и крепятся к ступице с помощью болтов. Из-за наличия фланцев диаметр ступицы такого винта относительно больше, чем у цельнолитого, а форма ступицы менее совершенна гидродинамически, что хорошо видно на рис. 6, где для сравнения представлены фотографии ВФШ со съёмными лопастями и цельнолитого. В результате этого КПД винта со съёмными лопастями обычно на несколько процентов меньше, чем у аналогичного цельнолитого винта. В этом кроется причина того, что абсолютное большинство ВФШ выполняются цельнолитыми.

Приблизительно на 5 % от общего числа судов, оснащенных ВФШ, используются винты со съёмными лопастями. Это можно увидеть на рис. 3, где показано соотношение различных типов движителей в зависимости от даты постройки судов. При этом просматривается тенденция увеличения доли цельнолитых ВФШ: если в 70-х гг. прошлого века соотношение винтов со съёмными лопастями к цельнолитым было 1:12, то за последние десятилетия это соотношение стало 1:20.

¹ Фото из материалов технического наблюдения Регистра за судами в эксплуатации.

Гребные винты со съемными лопастями устанавливают в основном на судах, предназначенных для работы в арктических условиях: при повышенном риске того, что отдельные лопасти получают повреждения при взаимодействии с льдинами, целесообразно иметь возможность по отдельности их заменять. Абсолютное большинство судов со съемными лопастями (88 %) имеют достаточно высокий ледовый класс. На судах с ледовым классом Arc7 и Arc6 используются только ВФШ со съемными лопастями, на судах Arc5 и Arc4 съемные лопасти используются на 40 % ВФШ, на судах Ice1 — Ice3 и без ледового класса ВФШ со съемными лопастями составляют около 2 %. На ледоколах и судах с ледовыми категориями Arc7 и выше применяются исключительно гребные винты, изготовленные из стали мартенситного класса, для грузовых судов с более низким ледовым классом допускается изготовление лопастей из медных сплавов.

Большинство судов с ВФШ одно- и двухвальные, причем их примерно одинаковое количество: 50 % одно-вальные суда с ВФШ и 48 % двухвальные. Трехвальные и четырехвальные суда с ВФШ составляют менее 2 %.

На большинстве судов с ВФШ (81 %) установлены винты с 4 лопастями. Винты с 3 лопастями составляют 11 %, а винты с 5 лопастями 8 %. Только два судна с классом Регистра имеют ВФШ с 6 лопастями: одно из них быстроходная яхта, а второе — газовоз Grand Aniva.

Около 6 % судов с ВФШ используют электродвижение, остальные имеют механическую передачу на винт. Среди судов, построенных после 1999 г., число судов с ВФШ и электрической передачей сократилось до 2,2 %. Большинство судов с ВФШ и электродвижением имеют достаточно высокий ледовый класс.

Среди судов с классом Регистра наибольшая мощность, передаваемая на ВФШ через механическую передачу, составляет 28 685 кВт на газовозе Nova Energy, пришедшем в класс Регистра из класса иностранного классификационного общества. Наибольшая мощность, передаваемая на ВФШ через электрическую передачу, 20 000 кВт, осуществлена на атомных ледоколах проекта 22220.

ВФШ, обладая неоспоримым преимуществом при работе двигателя на номинальных режимах при согласованной работе винта и двигателя, значительно теряет свою эффективность на долевых нагрузках. Кроме того, в результате обрастания или изменения осадки судна меняется и винтовая характеристика.

В связи с тем что принятый шаг винта обеспечивает оптимальный КПД только на одном заранее определенном режиме эксплуатации судна, на судах, которые часто меняют режим хода (промысловые суда, буксиры), вместо винтов фиксированного шага применяют винты регулируемого шага.

ВИНТЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА

Следующим после ВФШ по распространенности типом движителя остаются винты регулируемого шага (ВРШ), примеры которых показаны на рис. 7. Доля судов с ВРШ составляет около 37 %, хотя за последние десятилетия сектор применения ВРШ несколько уменьшился за счет более широкого применения ДРК.



Рис. 7. Винт регулируемого шага на судне-крановом в процессе монтажа (слева) и при освидетельствовании перед спуском судна (справа)²

² Фото из материалов технического наблюдения Регистра за судами в постройке.

Замечательной особенностью ВРШ является то, что путем разворота лопасти (изменив шаговое отношение) всегда можно привести характеристики винта в соответствие с нагрузкой. В результате, хотя ВРШ на номинальной нагрузке будет менее эффективен, чем ВФШ (за счет большего диаметра ступицы), на долевых нагрузках ВРШ становится эффективнее. Кроме того, с помощью разворота лопастей без изменения направления вращения двигателя можно осуществить изменение как величины, так и направления упора винта, что позволяет придать судну самую малую и даже нулевую скорости судна при любой частоте вращения винта.

На большинстве судов с ВРШ (87 %) установлены винты с 4 лопастями. Винты с 3 лопастями составляют 12,5 %, а винты с 5 лопастями менее 0,5 %.

Самым крупным по мощности в классе Регистра остается четырехлопастный ВРШ в одновальном установке на атомном лихтеровозе «Севморпуть», потребляющий 29 400 кВт с механической передачей мощности.

ВРШ наиболее распространен на рыбопромысловых судах, 76 % которых оснащены этим движителем. На втором месте по применению ВРШ находятся суда обеспечения ПБУ (57 %). Последнее время на судах обеспечения ПБУ ВРШ активно вытесняются движительно-рулевыми колонками (ДРК), что пока не наблюдается на рыболовных судах. Хотя первое рыболовное судно с ДРК уже построено в классе Регистра, авторам представляется маловероятным, что это станет тенденцией для судов подобного назначения (если только не получат широкое применение ДРК, оснащенные ВРШ, чего пока не наблюдается). Объяснение этому лежит в особенностях эксплуатации и режимах работы СЭУ рыбопромысловых судов, которые хорошо описаны в работе [5]. Для промысловых судов характерны частые изменения скорости и осадки при взаимодействии судна с орудиями лова, подъеме улова на борт, приемке топлива в море. В таких условиях плавания ВФШ не позволяет снимать с двигателя полную мощность и требует частых реверсов двигателя. При ярусном лове судно длительное время должно двигаться с малой скоростью, что на судах без ВРШ практически невозможно, так как минимальная устойчивая частота вращения двигателя все-таки достаточно высока. Поэтому приходится с интервалом в несколько минут запускать и останавливать двигатель, что ускоряет его износ и усложняет промысел.

Данные по применению ВРШ на российских судах можно сравнить с аналогичными данными по судам в классе Регистра Ллойда [6], которые приведены на рис. 8: доля ВРШ от общего количества гребных винтов в период с 1980 по 2004 г. практически постоянна и составляет 35 %, что вполне коррелируется с данными по российским судам, показанным на рис. 1 (37 %). При этом наибольшее распространение ВРШ получили на рыбопромысловых судах с классом Регистра Ллойда, 90 % которых оснащены ВРШ (на российских судах — 76 %, см. рис. 4).

Из рис. 2 следует, что среди судов, построенных в текущем столетии, число судов с ДРК превысило число судов с ВРШ, то есть тенденция замещения очевидна.

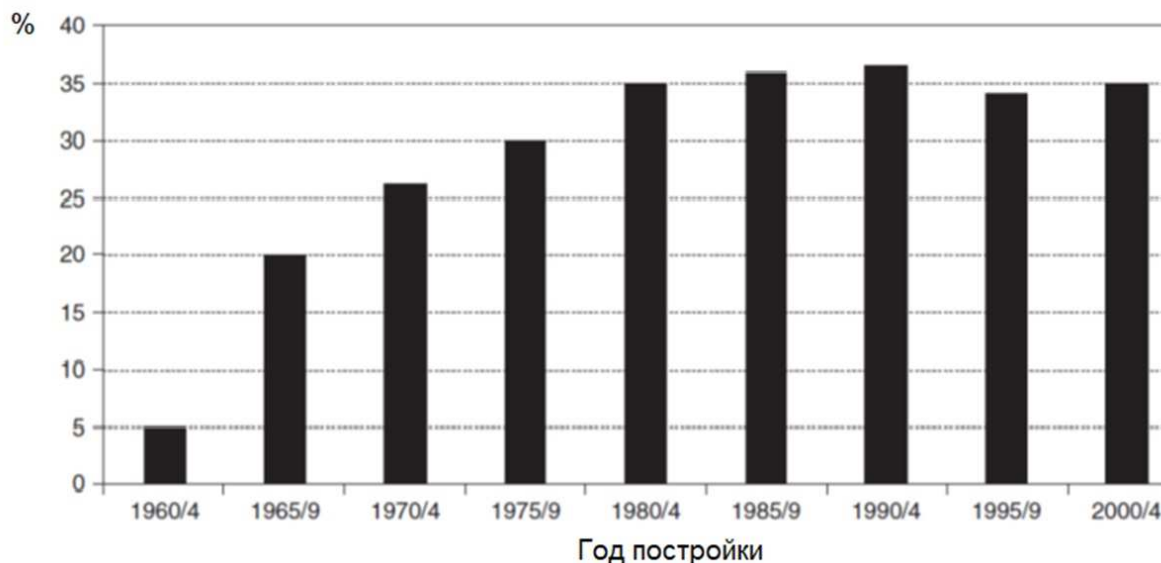


Рис. 8. Процент ВРШ от общего числа гребных винтов на судах с классом LR [6]

КРЫЛЬЧАТЫЕ ДВИЖИТЕЛИ

Крыльчатый движитель (КР), пример которого показан на рис. 9, за рубежом более известен по фамилии изобретателя как движитель Фойта — Шнайдера (Voith Schneider Propeller — VSP), имеет преимущества перед другими типами движителя в обеспечении управляемости судна и создания упора при малых скоростях. КР позволяет регулировать величину и направление упора, обеспечивая все маневренные режимы движения судна на переднем и заднем ходу без изменения направления и скорости вращения главного двигателя при отсутствии рулевого устройства и при любой скорости хода вплоть до нулевой.



Рис. 9. Крыльчатый движитель, предлагаемый компанией Voith Group, Германия (слева)³; расположение крыльчатых движителей и защитные устройства на плавкране (а) и земснаряде/грунтовозном судне (б) (справа)⁴

Но по сравнению с гребными винтами КР имеет меньший КПД (порядка 50 %), а размещение его на судне является непростой задачей. Важным фактором, препятствующим применению этого типа движителя, является то, что подвижные части КР зачастую выходят за габариты корпуса судна, и для их защиты требуются специальные конструкции. Отсутствие надежной защиты, пример которой показан на рис. 10 справа, часто приводит к повреждениям крыльев, например, при касании грунта на мелководье, как это показано на рис. 10 слева.

Традиционно КР применяются на судах, для которых важную роль играют маневренные качества, режимы работы движителей изменяются в широких пределах и при этом КПД не так важен (портовые буксиры, плавучие краны, паромы и т.п.). Поскольку появившиеся в этом веке ДРК по части обеспечения маневренных качеств судна обладают практически теми же достоинствами, что и КР, конкуренция между этими типами движителей была неизбежна с очевидным результатом в пользу ДРК по причине более высокого КПД последних. Крыльчатые движители в ограниченных количествах пока присутствуют под

³ Рис. из открытого источника Voith Schneider Propeller. Types and dimensions. URL: <https://www.voith.com/corp-en/vsp-types-and-dimensions.pdf> (дата обращения 16.11.2025).

⁴ Фото из материалов технического наблюдения Регистра за судами в эксплуатации.



Рис. 10. Повреждение крыльчатого движителя на плавкране (слева); защита крыльчатых движителей на плавкране (справа)⁵

техническим наблюдением Регистра на плавкранах и земснарядах. Ранее КР находили применение на буксирах, но в последние десятилетия буксиры с КР заменены судами с ДРК. Плавкраны с КР пока остаются в эксплуатации, по всей видимости, из-за высокой стоимости их замены. Многие плавкраны преклонного возраста с КР переклассифицированы в несамоходные суда.

В текущем столетии под техническим наблюдением Регистра не было заложено ни одного судна с КР. Хотя несколько лет назад в Регистре рассматривался и был одобрен проект рыболовного судна-ярусолова с КР, поступили сведения, что в процессе строительства на четырех заложённых судах этого проекта движитель заменен, и вместо КР используется ДРК с электроприводом.

ВОДОМЕТНЫЕ ДВИЖИТЕЛИ

Преимущество водометных движителей (ВМ) по сравнению с обычными гребными винтами основано на меньшей подверженности кавитации при том, что эффективность ВМ оказывается близкой к эффективности гребных винтов (до 65 — 70 %), но только при высоких скоростях судна (обычно выше 30 уз). ВМ обеспечивает существенно более высокую маневренность и лучшие нагрузочные характеристики, удлиняющие срок службы главных двигателей.

Неоспоримым преимуществом ВМ является значительно более высокая номинальная частота вращения, чем у обычных гребных винтов, что позволяет применять механическую передачу мощности от двигателя внутреннего сгорания к движителю без редуктора. ВМ представляет из себя модульную конструкцию, которая совмещает функцию движителя и рулевого устройства в едином быстромонтируемом агрегате, что значительно упрощает монтаж на верфи всей энергетической установки.

Учитывая, что ВМ является, по сути, «винтом в трубе», на приеме у которой есть защитная решетка, импеллер ВМ гораздо более защищен от повреждений по сравнению с ВФШ и ВРШ, что особенно важно при работе судна на мелководье.

Несмотря на перечисленные выше преимущества ВМ, суда с движителем этого типа никогда не составляли значимой доли среди судов с классом Регистра. В настоящее время в классе Регистра присутствуют три высокоскоростных судна с ВМ: одно пассажирское, одно прогулочное и одно судно-катамаран для обеспечения ПБУ. Еще два судна с ВМ в настоящее время находятся в стадии постройки. Все суда развивают скорость более 30 уз.

⁵ Фото из материалов технического наблюдения Регистра за судами в эксплуатации.



Рис. 11. Водометный движитель Kamewa S3 фирмы Rolls-Royce (вверху)⁶;
водометные движители, установленные на высокоскоростных катамаранах (внизу)⁷

ДВИЖИТЕЛЬНОРУЛЕВЫЕ КОЛОНКИ

Движительнорулевая, или винторулевая, колонка (ДРК) представляет собой гребной винт, установленный на азимутальной поворотной конструкции. ДРК выполняет функции пропульсивного движителя и рулевого устройства, обеспечивая маневренность судна и одновременно создавая необходимый для движения судна упор. Таким образом, ДРК в одном агрегате включает в себя и заменяет гребной вал и дейдвудное устройство с системами смазки и уплотнениями гребного вала, трансмиссию и редуктор, рулевое устройство, включая гельмпортную трубу, баллер и перо руля, рулевую машину с ее главным и резервным приводами.

По своим маневренным качествам суда с ДРК не уступают судам, использующим КР, без свойственных для этого типа движителя недостатков. При наличии двух ДРК судно может двигаться лагом, ДРК облегчают швартовку судна и проведение различных операций в море, незаменимы при необходимости для судна динамического позиционирования. ДРК обеспечивают управляемость судна даже при отсутствии скорости.

ДРК для судов различаются по типу трансмиссии и расположению приводного двигателя относительно гребного винта, что было достаточно подробно описано в работах [7, 8]. За более чем 30 лет применения ДРК было разработано большое количество вариантов конструкций, и поэтому для обобщения и возможности проследить тупиковые ветви развития этого типа движителей предлагаем классифицировать ДРК по восьми признакам:

- 1) по типу передачи энергии на гребной винт: механическая и электрическая. Примеры ДРК с механической и электрической передачами показаны на рис. 12;
- 2) по расположению ДРК: стационарные (фиксированные в корпусе), выдвижные и откидные;
- 3) по расположению привода: в корпусе судна или в гондоле;

⁶ Рис. из открытого источника. URL: http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/waterjets/kamewa_s3/index.jsp.

⁷ Фото из материалов технического наблюдения Регистра за судами в эксплуатации.

4) по геометрии передачи: с вертикальным и горизонтальным расположением привода. В ДРК с вертикальной схемой, называемой обычно L-drive, двигатель находится внутри корпуса судна над колонкой, а вал трансмиссии входит в нее вертикально и связан с гребным валом посредством одной угловой зубчатой передачи. Главное преимущество такой схемы в меньшем количестве промежуточных звеньев и большем механическом КПД. Но ее использование ограничено тем, что мощный, тяжелый и крупногабаритный двигатель сложно и не всегда рационально размещать над винторулевой колонкой. В ДРК с горизонтальным расположением трансмиссии (Z-drive) двигатель также расположен в судовом корпусе горизонтально, а крутящий момент передается на винт с помощью двух угловых передач и промежуточного вертикального вала. На судах с классом Регистра ДРК по схеме L-drive пока находили применение только как подруливающие устройства, подавляющее число ДРК используют схему Z-drive;

5) по количеству винтов в колонке: одновинтовые и двухвинтовые, последние в свою очередь делятся на вращающиеся в одну сторону и в противоположные стороны. Абсолютное большинство применяемых ДРК использует один винт, хотя в стадии постройки находятся два судна, использующие ДРК с двумя винтами;

6) по типу винта в колонке: винты фиксированного и регулируемого шага. Необходимо отметить, что ДРК с винтом регулируемого шага пока не нашли применения на судах с классом Регистра, хотя уже есть производитель, получивший одобрение Регистра;

7) по наличию насадки: винты в насадке и свободные. Насадка значительно повышает КПД и позволяет уменьшить диаметр винта ДРК. Но они не применяются на судах ледового класса в силу увеличения риска повреждений в ледовых условиях из-за попадания битого льда в насадку;

8) по углу поворота: полноповоротные или поворотные в ограниченном секторе.

Среди судов с классом Регистра встречаются 3 типа ДРК: с механическим приводом, электрическим приводом, установленным в корпусе судна и в гондоле. Распределение по типам ДРК и по мощности показано на рис. 13 и 14.



Рис. 12. Двигательнорудовые колонки в процессе освидетельствования в доке: ДРК с электродвигателем, размещенным в гондоле (слева); ДРК с механическим приводом (справа)⁸

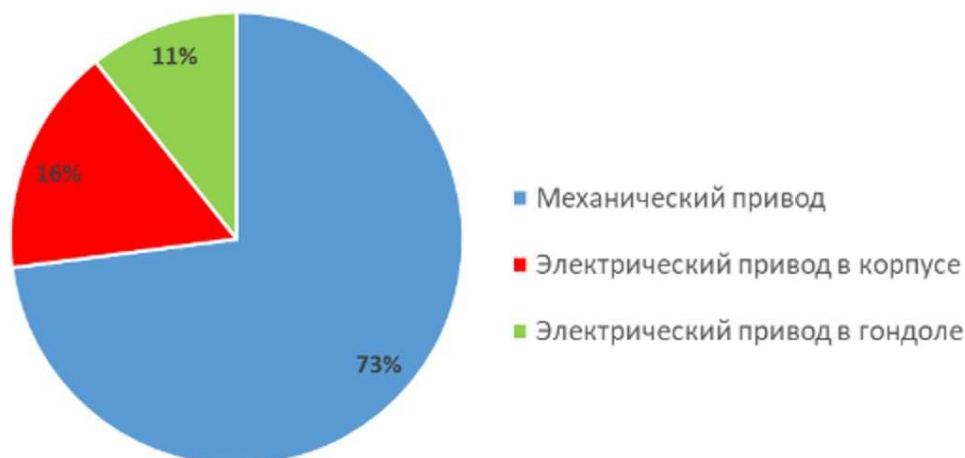


Рис. 13. Распределение различных типов ДРК, установленных на судах с классом Регистра, в % от общего количества ДРК

⁸ Фото из материалов технического наблюдения Регистра за судами в эксплуатации.

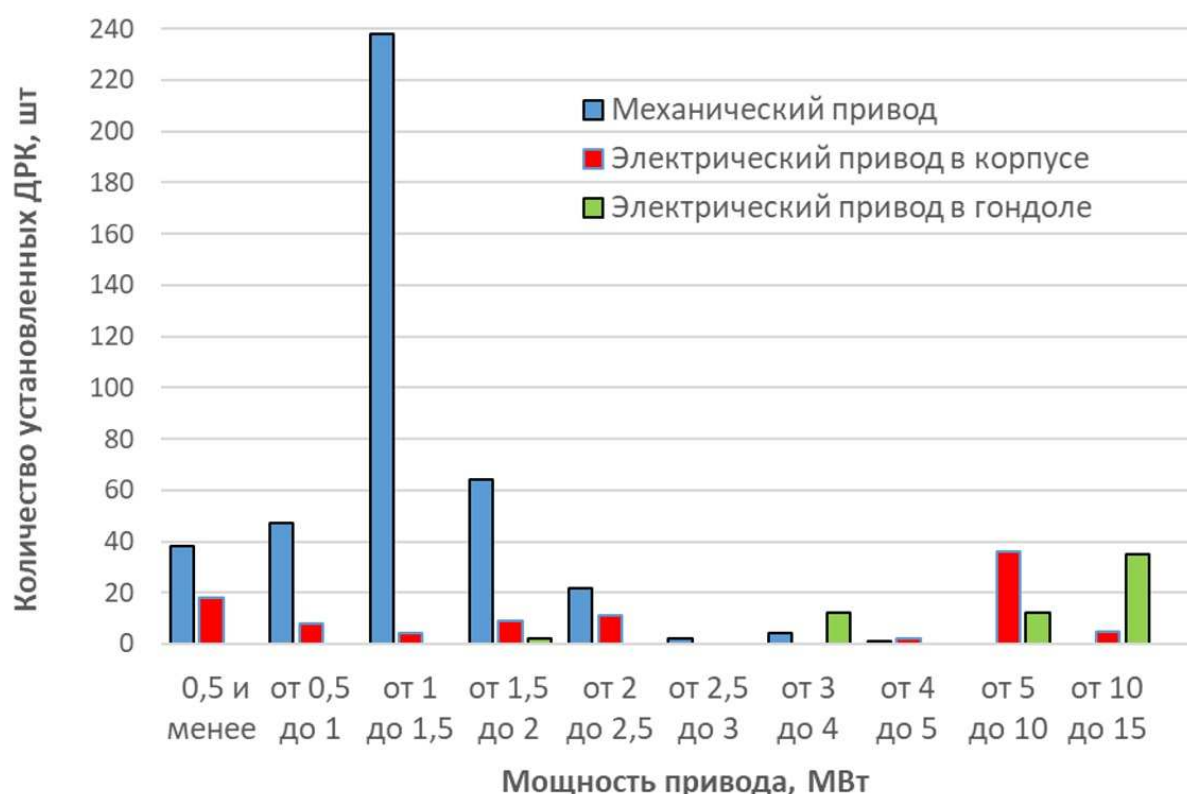


Рис. 14. Распределение различных типов ДРК, установленных на судах с классом Регистра в зависимости от мощности привода

Всего по данным на август 2025 г. на судах с классом Регистра, находящихся в эксплуатации, используются в качестве главных движителей 597 ДРК на 284 судах. При этом из них на 81 судне (28,5 %) ДРК применяется с электрической передачей, а остальные имеют механическую передачу.

Самый популярный и многочисленный тип ДРК на судах в классе Регистра — это колонка марки SRP340 фирмы Schottel с одним четырехлопастным винтом в насадке с механическим приводом мощностью 1200 кВт. Такие ДРК в количестве 182 агрегатов установлены на 91 судне.

Одна ДРК применяется только на 10 судах, из которых 7 имеют электродвижение. По две ДРК установлены на 248 судах, из которых только 52 имеют электродвижение. По три ДРК установлены только на 12 газовозах ледового класса с электродвижением и одним ледоколе. По четыре ДРК установлены на 8 грузо-пассажирских накатных судах, 2 самоходных ПБУ и одном плавкране.

Большинство гребных винтов ДРК выполнены с 4 лопастями, ДРК с 5 лопастями установлены только на 24 судах (8,5 %) с 40 ДРК (6,4 %).

Наибольшее распространение СЭУ с ДРК получили на танкерах небольшого размера, газовозах, судах обеспечения ПБУ и ледоколах.

ДРК пока не нашли применение на таких судах, как рыболовные, рефрижераторные, земснаряды и балкеры.

Причина выбора ВРШ при возможности выбора между ДРК и ВРШ для рыбопромысловых судов нам представляется в режимах эксплуатации этих судов. Как известно, у ВРШ есть два существенных преимущества перед ДРК с ВФШ:

- 1) возможность произвести реверс судна путем перекладки лопастей без реверса двигателя;
- 2) возможность менять нагрузку на двигатель путем изменения шага винта, что крайне важно для судов, имеющих несколько основных эксплуатационных режимов (например, рыбопромысловые суда — с тралом и без трала, ледоколы — во льдах и на свободной воде и т.д.).

Если первое преимущество ВРШ вполне компенсируется возможностью поворота ДРК на 360° без каких-либо изменений в работе главного двигателя, то «облегчение» или «утяжеление» винта путем изменения шага для большинства ДРК недоступно. Хотя в настоящее время уже разработаны ДРК с винтами регулируемого шага, но широкого применения на судах они пока не нашли. Когда конструкция ДРК с винтами регулируемого шага будет отработана, в первую очередь в части повышения ее надежности и ремонтпригодности, можно ожидать расширения области применения ДРК на рыбопромысловых судах.

Стремительный рост доли судов с ДРК можно объяснить целым рядом дополнительных полезных свойств, которые получает судно: повышение управляемости, компактное расположение СЭУ на судне, массогабаритные характеристики, простота технического обслуживания. Это сочетается с целым рядом преимуществ, которые получает верфь-строитель, так как трудоемкость механомонтажных работ по сравнению с классической СЭУ значительно уменьшается, исключается монтаж дейдвудного устройства, гребных винтов и линии валопровода, отсутствует рулевое устройство и, соответственно, исключается его монтаж.

То есть с появлением ДРК произошло редкое совпадение интересов судовладельцев и верфей, строящих для них суда, в результате чего резко вырос спрос на применение ДРК на судах различного назначения. Применение ДРК приносит существенный выигрыш в течение всего жизненного цикла за счет уменьшения затрат на техническое обслуживание. Это связано с отсутствием гребных валов, которые необходимо осматривать каждые пять лет при смазке дейдвудных подшипников заборной водой и один раз в 12,5 лет при масляной смазке. Обычно это приводит к необходимости демонтировать в доке все элементы рулевого устройства, к разборке линии валопровода и дейдвудного устройства.

ДРК применяются на судах с практически любыми ледовыми классами Регистра, от Ice1 и судов без ледового класса до Arc7 и Icebreaker 7, что можно увидеть на рис. 15.

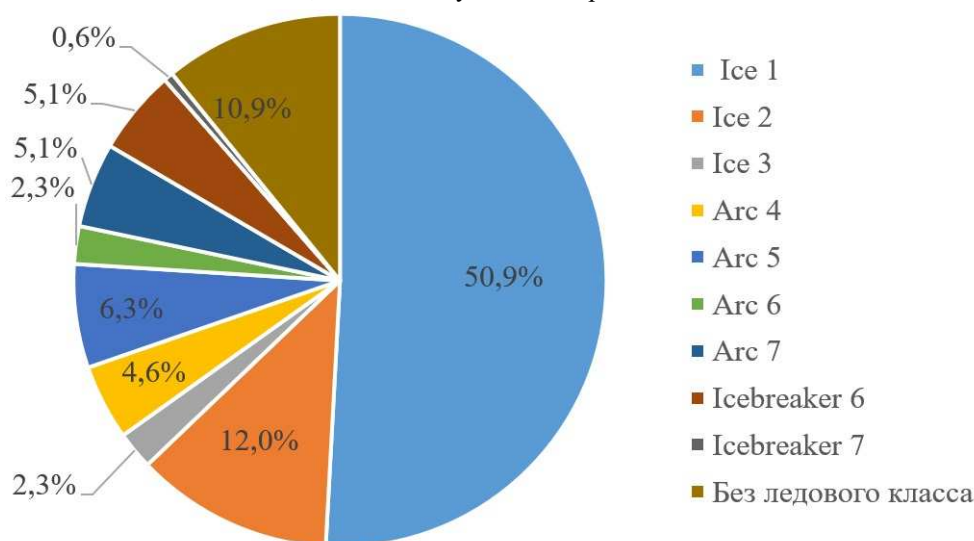


Рис. 15. Распределение судов с ДРК по ледовым классам Регистра

Наибольшая мощность на валу для различных типов движителей судов с классом Регистра показана на рис. 16. По мощности на валу ДРК в настоящее время занимают диапазон до 15 000 кВт, причем наиболее мощные ДРК имеют электрическую передачу с расположением электропривода в гондоле. Самая мощная ДРК с механическим приводом передает на винт мощность 4640 кВт, она нашла применение на арктическом научно-исследовательском судне-платформе «Северный полюс».

ДРК с электроприводом, расположенным в корпусе, имеет мощность на одном валу 9000 кВт. Самыми мощными судами с ДРК являются газовозы ледового класса Arc7, мощность пропульсивных установок которых составляет $3 \times 15\,000$ кВт. При этом судами с наибольшей мощностью 20 000 кВт на одном валу с ВФШ в классе Регистра обладают атомные ледоколы типа «Арктика» (проект 22000), где суммарная мощность составляет 60 000 кВт. Наибольшая мощность на одном валу среди судов с ВРШ в настоящее время остается у атомного лихтеровоза «Севморпуть» — 29 400 кВт.

При этом ДРК применяются только вместе со среднеоборотными дизелями, примеры ДРК с малооборотными двигателями отсутствуют, о чем более подробно написано в [9].

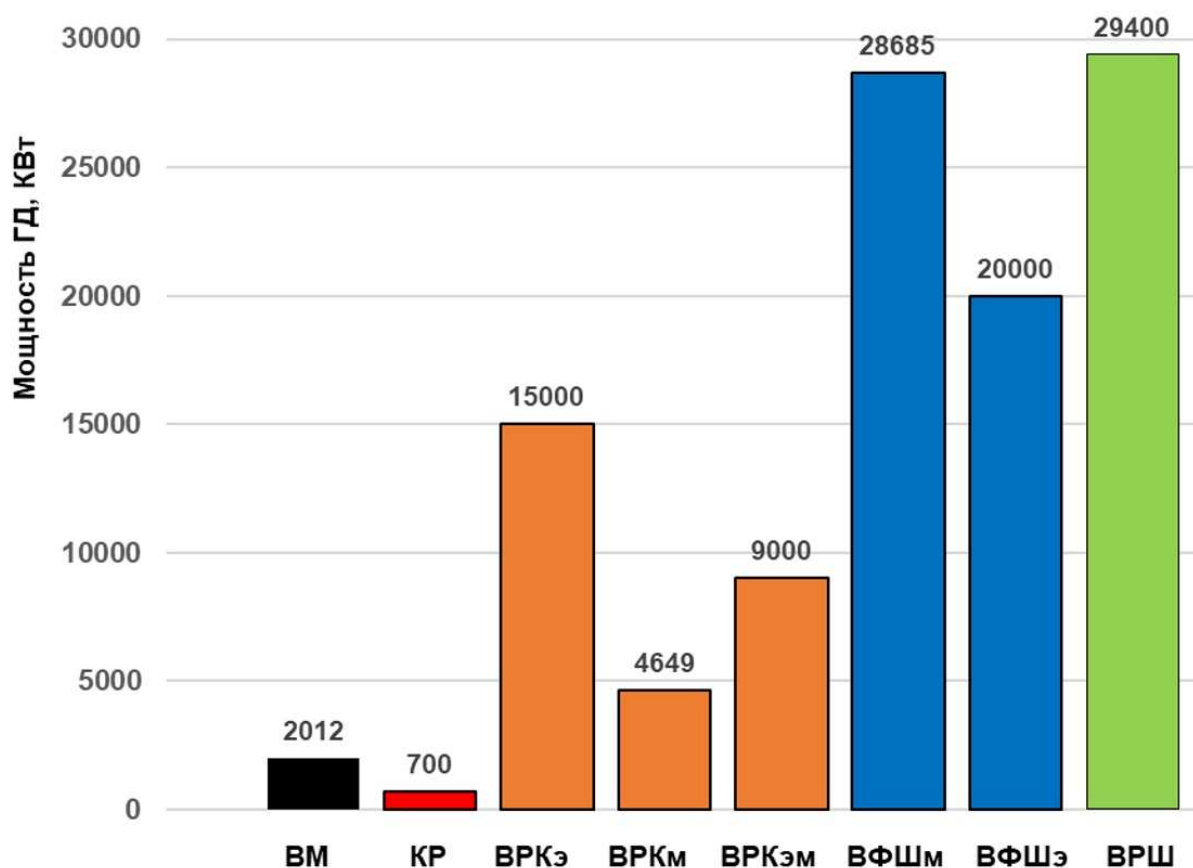


Рис. 16. Наибольшая мощность на валу различных типов движителей судов с классом Регистра:

ВМ — водометный движитель; КР — крыльчатый движитель; ВРКэ — винторулевая колонка с электрическим приводом в гондоле; ВРКм — винторулевая колонка с механическим приводом; ВРКэм — винторулевая колонка с электрическим приводом в корпусе судна; ВФШм — винт фиксированного шага с механическим приводом; ВФШэ — винт фиксированного шага с электрическим приводом; ВРШ — винт регулируемого шага

Одной из менее заметных тенденций в судостроении, связанных с увеличением доли ДРК среди применяемых движителей, можно назвать рост числа судов с электродвижением. Информация о применении электрической передачи на судах различных типов приводится в табл. 1 и на рис. 17, из которых следует, что электродвижение крайне редко применяется на транспортных судах, кроме газозовов ледового класса, а наиболее широко — на ледоколах (им оснащены 94 % таких судов).

Таблица 1

Распределение по типам судов с электродвижением

Тип	Доля судов с электродвижением среди судов данного типа, %	Доля судов данного типа среди судов с электродвижением, %
Рыболовное	0,3	1,4
Рефрижераторные	0,0	0,0
Ледокол	94,1	22,1
Пассажирские	9,9	5,5
Генгруз	0,5	2,1
ПБУ	100,0	1,4
Буксиры	11,3	12,4
Нефтеналивные/Химовоз	0,0	0,0
Нефтеналивные	4,2	10,3
Наливные прочие	0,0	0,0
Газовозы	55,6	10,3
Судно обеспечения ПБУ	12,7	4,8
Крановые суда	92,1	24,1
Земснаряды и грунтоотвозные	33,3	5,5
Балкеры/контейнеровозы	0,0	0,0
Все типы судов	6,0	100,0

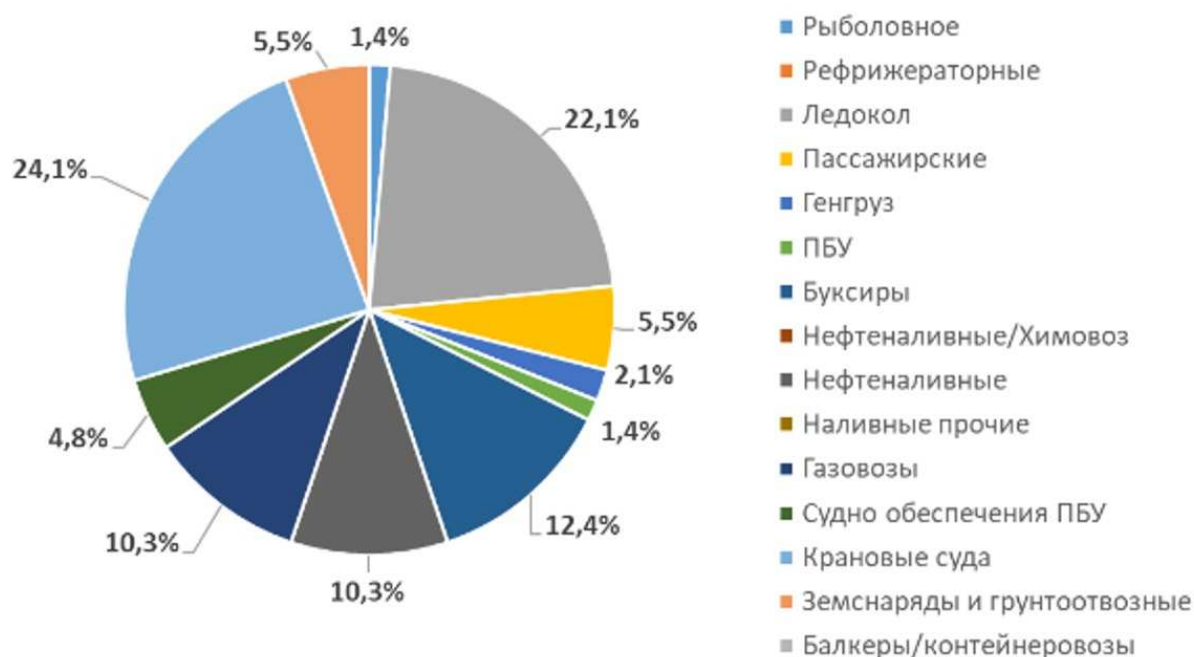


Рис. 17. Доля судов различных типов среди судов с электродвижением в классе Регистра

ВЫВОДЫ

По результатам проведенного анализа прослеживаются следующие тенденции.

1. В результате введенных требований по энергоэффективности ИМО происходит переход от рассмотрения частных случаев повышения КПД двигателей к комплексной интегральной оценке всех факторов, влияющих на энергетическую эффективность судов, что приводит к существенным изменениям в тенденциях применения различных типов судовых движителей.

2. За последние 25 лет наблюдается постоянное увеличение доли судов с ДРК за счет уменьшения судов с ВФШ и ВРШ. Суда с КР перестали строиться.

3. ДРК применяются на судах в качестве главных движителей, как с механическим, так и с электрическим приводом. Число судов с ДРК и электрической передачей примерно в три раза меньше судов с ДРК и механической передачей.

4. Наиболее широкое применение ДРК нашли на судах, требующих повышенной маневренности: буксирах, ледоколах, судах река-море.

5. По мощности на валу ДРК с электрической передачей приближаются к максимальной мощности ВФШ с электродвижением. Максимальная мощность на одном валу ДРК с механической передачей определяется мощностью среднеоборотного двигателя внутреннего сгорания, используемого в качестве приводного двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МЕРС.304(72). Initial IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships.
2. МЕРС 308(73). 2018 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships.
3. Руководство по судовым установкам, использующим для движения энергию ветра / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2022.
4. Шурпак В.К. Современные тенденции выбора судовых движителей / В.К. Шурпак, А.В. Серов // Актуальные проблемы морской энергетики: м-лы Восьмой междунар. науч.-тех. конф., Санкт-Петербург, 21 — 22 февраля 2019 г. — СПб.: СПбГМТУ, 2019. — С. 109 — 113. — EDN NXRROF.
5. Гильмияров Е.Б. Особенности энергетических установок судов ярусного лова / Е.Б. Гильмияров // Вестник МГТУ. — 2004. — Т. 7, № 1. — С. 23 — 30.
6. Molland A.F. The Maritime engineering reference book: A guide to ship design, construction and operation / A.F. Molland. — Oxford: Butterworth-Heinemann; Elsevier, 2008. — 907 p.
7. Иванченко А.А. Обзор опыта совершенствования конструкции и применения движительных систем в современном судостроении / А.А. Иванченко, В.А. Шишкин, В.Н. Окунев // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. — 2016. — № 4(38). — С. 156 — 176. — DOI 10.21821/2309-5180-2016-8-4-156-176. — EDN UFKHRZ.
8. Стешенков А.Л. Перспектива развития отечественного рынка винторулевых колонок / А.Л. Стешенков // Судостроение. — 2014. — № 4(815). — С. 54 — 55. — EDN SLJBUP.
9. Шурпак В.К. Анализ современных тенденций применения двигателей внутреннего сгорания на морских судах / В.К. Шурпак // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2024. — № 75. — С. 47 — 60. — EDN GDAGAH.

REFERENCES

1. МЕРС 304(72). Initial IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships.
2. МЕРС 308(73). 2018 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships.
3. Guidelines on ship wind assisted propulsion systems / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2022.
4. Shurpyak V.K., Serov A.V. Modern trend for ship propeller type selection. *Actual problems of marine energy : Proceedings of the Eighth International Scientific and Technical Conference*, St. Petersburg, February 21-22, 2019. St. Petersburg: SPbGMTU, 2019. P. 109 — 113. EDN NXRROF. (In Russ.)
5. Gilmiyarov E.B. Features of power installations of longline fishing vessels. *Vestnik of MSTU*. 2004. Vol. 7, No. 1. P. 23 — 30. (In Russ.)
6. Molland A.F. The Maritime engineering reference book: A guide to ship design, construction and operation. Oxford: Butterworth-Heinemann; Elsevier, 2008. 907 p.
7. Ivanchenko A.A., Shishkin V.A., Okunev V.N. Review of experience improvement designs and propulsion systems in modern shipbuilding. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2016. No. 4(38). P. 156 — 176. DOI 10.21821/2309-5180-2016-8-4-156-176. EDN UFKHRZ. (In Russ.)
8. Steshenkov A.L. Perspektiva razvitiya otechestvennogo rynka vintorulevykh kolonok [Development trends for domestic markets of rudder propellers]. *Sudostroenie [Shipbuilding]*. 2014. No. 4(815). P. 54 — 55. EDN SLJBUP.
9. Shurpyak V.K. Analysis of current trends in the use of internal combustion engines on ships. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2024. No. 75. P. 47 — 60. EDN GDAGAH. (In Russ.)

УДК 621.43.06
EDN ITVOUB

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОДВЕСНЫХ ЛОДОЧНЫХ МОТОРОВ

К.Е. Хмельницкий, канд. техн. наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1, e-mail: chuchera80@mail.ru

Статья посвящена разработке мобильного программно-аппаратного комплекса для измерения мощности подвесных лодочных моторов в натурных условиях эксплуатации маломерных судов. Актуальность работы обусловлена систематическим занижением номинальной мощности производителями подвесных лодочных моторов (ПЛМ), что повышает риск аварий. Для решения проблемы сотрудниками научно-учебно-производственной лаборатории «Подвесные лодочные моторы» кафедры эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства ФГБОУ ВО «АГТУ» были проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, в рамках которых был разработан мобильный прибор для измерения мощности ПЛМ в натурных условиях, основанный в части принципа действия, а также математической модели на наработках ранее построенного на кафедре стационарного стенда «Малый опытовый бассейн», имеющего два патента на полезную модель RU 196596 U1, 06.03.2020 и RU 182049 U1, 01.08.2018 [1, 2]. Основными задачами научной работы стали разработка мобильного программно-аппаратного комплекса для измерения мощности ПЛМ; создание физической модели прибора; разработка программного обеспечения; проведение экспериментальной апробации на базе малого опытового бассейна и в натурных испытаниях в акватории р. Волга; проведение обработки результатов испытаний, сопоставление полученных данных с заявленной мощностью ПЛМ и оформление предварительного и окончательного отчета о проделанной НИОКР. В процессе производства работ все задачи были решены и в рамках договора на НИОКР был создан прибор, с помощью которого представилась возможность определять мощность как подвесных, так и стационарных энергетических установок маломерных судов. В данной статье описывается состав прибора, условия использования, программа испытаний ПЛМ и приведены некоторые результаты испытаний.

Ключевые слова: подвесной лодочный мотор, измерение мощности, маломерное судно, швартовые испытания, мобильный комплекс.

Для цитирования: Хмельницкий К.Е. Разработка мобильного программно-аппаратного комплекса для измерения мощности подвесных лодочных моторов / К.Е. Хмельницкий // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 86 — 95. — EDN ITVOUB.

DEVELOPMENT OF A MOBILE SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR MEASURING THE POWER OF OUTBOARD MOTORS

K.E. Khmel'nitsky, PhD, Associate Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: chuchera80@mail.ru

The article is devoted to the development of a mobile software and hardware complex for measuring the power of outboard motors in full-scale operating conditions of small vessels. The relevance of the work is due to the systematic underestimation of the rated power by the manufacturers of outboard motors, which increase the risks of accidents. To solve this problem, the staff of the scientific, educational and production laboratory for outboard motors of the Department of Water Transport Operations and Industrial Fisheries of the Astrakhan State Technical University conducted research and development works, which included the development of a mobile device for measuring the power of outboard motors in field conditions. The device is based on the principle of operation and mathematical model used in the previous project of the department — the stationary rig "Small experience pool" (utility model patents RU 196596 U1, 03/06/2020 and RU 182049 U1, 08/01/2018 [1;2]). The main objectives of the scientific work were the development of a mobile software and hardware complex for measuring the power of outboard boat motors; creation of a physical model of the device; software development; experimental testing on the basis of a model basin and field tests in the waters of the Volga River; carrying out the processing of test results, comparing the data obtained with the declared power of outboard motors and preparing a preliminary and final report on the R&D carried out. In the course of the work, all the tasks were solved and, within the framework of the R&D contract, a device was created with which it was possible to determine the power of both outboard and stationary power plants of small ships. This article describes the composition of the device, the climatic conditions of use, the test program for outboard motors using the device, and some test results.

Keywords: outboard motor, power measurement, small vessel, mooring tests, mobile complex.

For citation: Khmel'nitsky K.E. Development of a mobile software and hardware complex for measuring the power of outboard motors. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 86 — 95. EDN ITVOUB. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Информация о мощности подвесных лодочных моторов (далее ПЛМ) является одним из важнейших параметров в эксплуатации маломерного транспорта. Подобранный с нарушениями ПЛМ может отрицательно повлиять на динамические характеристики, включая остойчивость и маневренность как глиссирующих судов, так и судов, изначально предназначенных для использования в водоизмещающем режиме [3], а кроме того, возрастает риск деформации корпуса. Контроль за мощностью ПЛМ маломерных судов в настоящее время возложен на ФКУ ГИМС, но, ввиду отсутствия соответствующей приборной базы, осуществление контроля возможно только на основании технической документации, сопровождающей ПЛМ. Актуальность разработки мобильного программно-аппаратного комплекса для измерения мощности ПЛМ заключается в том, что на сегодняшний день на российский рынок поступает масса моторов с заявленной производителем в технической документации мощностью 9,9 л.с, а по факту имеющих мощность 15 л.с, 18, 20, 25, 30, 40 л.с. Моторы с заявленной мощностью 9,9 л.с, согласно открытым источникам, являются самыми востребованными, так как правилами ФКУ ГИМС определено, что суда весом до 200 кг с мощностью ЭУ до 10,8 л.с находятся в сегменте судов/моторов, не требующих регистрации в контролирующих органах и права на управление маломерным судном. Необходимо отметить, что данное несоответствие документации и фактических показателей мощности отмечено не только у малоизвестных брендов, но и у именитых брендов японского, американского и китайского происхождения. Ситуация складывается таким образом, что в настоящее время возрастает количество незарегистрированных маломерных судов, которые фактически не облагаются налогом, за рулем/румпелем которых судоводители, не имеющие удостоверения на право управления судном, что увеличивает риск аварий. Согласно данным Государственной инспекции по маломерным судам (ГИМС) МЧС России, число чрезвычайных происшествий с маломерными судами выросло на 228 % в период с 2021 по 2023 г.; за восемь месяцев 2023 г. зарегистрировано 185 инцидентов, в результате которых погибли 132 человека и пострадали 42, а 19 числятся пропавшими без вести [4]. Данный прибор может стать основой для реализации проверок в проведении рейдов контролирующими органами, а также в качестве тестирующего и диагностического устройства в процессе отладочных работ после ремонта ПЛМ. Согласно п. 3.5 ГОСТ 28556-2016 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности» [5], эффективная мощность мотора — это заявленная изготовителем мотора максимальная мощность мотора по ГОСТ ИСО 8665:2006 «Суда малые. Судовые главные гребные двигатели и системы. Измерение мощности и заявленные значения» (ISO 8665:2006 Small craft — Marine propulsion reciprocating internal combustion engines — Power measurements and declarations) [6], которая может быть снята с вала его винта (или вала импеллера водомета). Эффективная мощность мотора указывается в эксплуатационной документации, прикладываемой к мотору, а также приводится в справочных и рекламных материалах.

Таким образом, требуемая для оценки мощность должна быть зафиксирована на гребном валу ПЛМ. Учитывая, что требуется измерить мощность на открытой воде в натурных условиях, применение таких методов оценки мощности, как построение индикаторной диаграммы и измерение мощности на гребном валу при помощи динамометрического стенда или мулнетки, не могут быть использованы для оперативных измерений.

Предлагаемым методом оценки мощности ПЛМ является применение швартовых испытаний (что требует использования максимальной мощности мотора) с измерением упора, создаваемого на транце маломерного судна, и частоты вращения коленчатого вала, что с учетом передаточного отношения редуктора дает возможность оценить частоту вращения гребного винта.

1. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В научно-технической литературе [7, с. 400; 8, с. 13; 9] приводится формула для оценки упора T (кН), создаваемого гребным винтом судов на швартовах:

$$T = 1,13 \cdot (1,9 - H_v/D_v) \cdot P_v / (D_v \cdot n), \quad (1)$$

где H_v — шаг гребного винта, м;
 D_v — диаметр гребного винта, м;
 P_v — мощность, потребляемая гребным винтом, кВт;
 n — частота вращения гребного винта, s^{-1} (об/с).

Из формулы (1) можно выразить требуемую фактическую (эффективную) мощность P_B (кВт), которая будет рассчитываться соответственно по формуле:

$$P_B = \frac{T \cdot D_B \cdot n}{1,13 \cdot (1,9 - H_B / D_B)} \quad (2)$$

Таким образом в результате разработанности темы появилось основание для проведения работ по созданию мобильного программно-аппаратного комплекса для измерения мощности ПЛМ.

Для создания мобильного прибора была подобрана программно-аппаратная база, схематично приведенная на рис. 1.

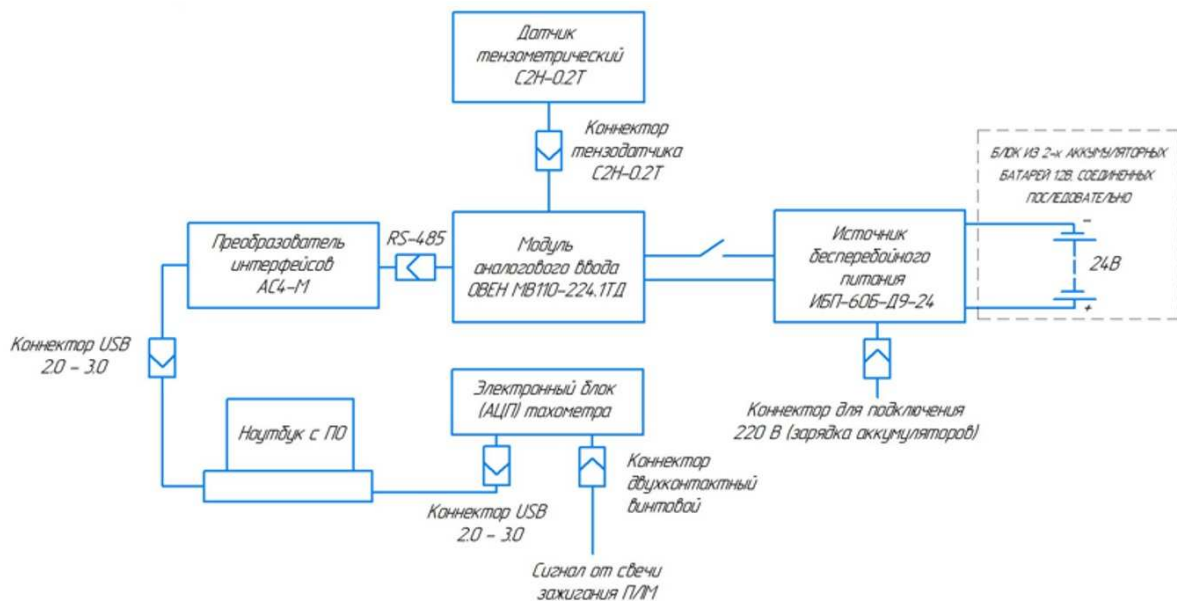


Рис. 1. Схема подключения основных элементов мобильного программно-аппаратного комплекса для измерения мощности ПЛМ

Согласно схеме, прибор запитан в части измерения упора винта напряжением 24В, блоком из двух аккумуляторных батарей по 12В, подключенных последовательно. Сигнал с тензометрического датчика преобразуется из аналогового сигнала в цифровой и далее, через преобразователь интерфейсов, обеспечивающий корректный обмен данными между устройствами, USB-проводом подключается к ноутбуку (ПК) с соответствующим программным обеспечением, названным «ТестМотор2». Сигнал от свечи подается в электронный блок (АЦП) тахометра, который работает как счетчик количества импульсов, соответствующих частоте вращения коленчатого вала ДВС ПЛМ, возбуждаемых в катушке зажигания и проходящих по высоковольтному проводу свечи. Блок тахометра запитан напряжением 5В от USB-провода, который также подключается к ПК.

Состав прибора.

В состав прибора входят следующие основные элементы (рис. 2):

- модуль аналогового ввода «Овен» МВ110-224.1 ТД — 1 шт.;
- преобразователь интерфейсов «Овен» АС4-М — 1 шт.;
- источник бесперебойного питания «Овен» ИБП60Б-Д9-24 — 1 шт.;
- датчик весоизмерительный тензорезисторный С2Н-0.2-С3 — 1 шт.;
- тахометр на базе микроконтроллера STM — 1 шт.;
- монтажный щит типа ST (400 × 400 × 200 мм) — 1 шт.;
- аккумуляторные батареи SF1207 12 В — 2 шт. (соединенные последовательно для генерации напряжения 24 В).

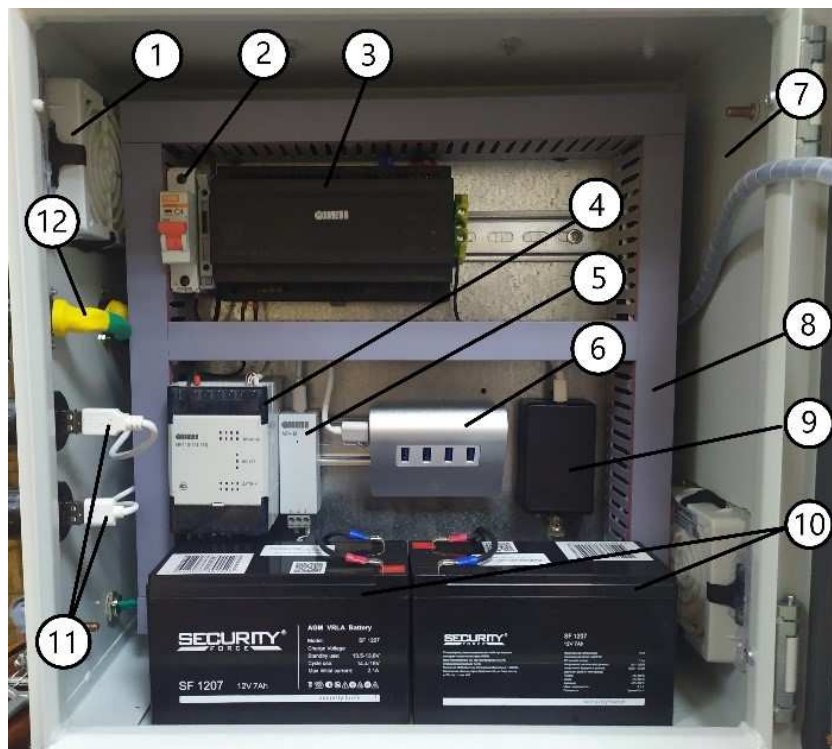


Рис. 2. Общий вид измерительной части прибора:

- 1 — вентиляционные решетки; 2 — автомат электробезопасности; 3 — источник бесперебойного питания «Овен» ИБП60Б-Д9-24;
 4 — модуль аналогового ввода «Овен» MB110-224.1 ТД; 5 — преобразователь интерфейсов «Овен» АС4-М;
 6 — концентратор USB (не используется, резерв при необходимости расширения функциональных возможностей прибора);
 7 — монтажный щит типа ST; 8 — кабель-каналы для крепления проводов; 9 — тахометр на базе микроконтроллера STM;
 10 — аккумуляторные батареи SF1207; 11 — коннекторы для присоединения USB выводов тахометра и тензодатчика;
 12 — коннектор для присоединения тензодатчика

Тахометр на базе микроконтроллера STM является собственной разработкой автора статьи и представляет собой индуктивный датчик, снимающий частоту вращения коленчатого вала по импульсам, передаваемым по высоковольтному проводу к свече зажигания. В состав тахометра входит двухжильный провод длиной 10 м, заключенный в металлическую гофру, покрытую полиэтиленовой оболочкой, с двумя металлическими зажимами для крепления к контакту положительного вывода электрического элемента мотора и контакта «массы» (рис. 3).



Рис. 3. Провод для подключения тахометра

В состав прибора для измерения упора винту введен тензометрический датчик с такелажными элементами, конструкция которого представлена на рисунке (рис. 4).

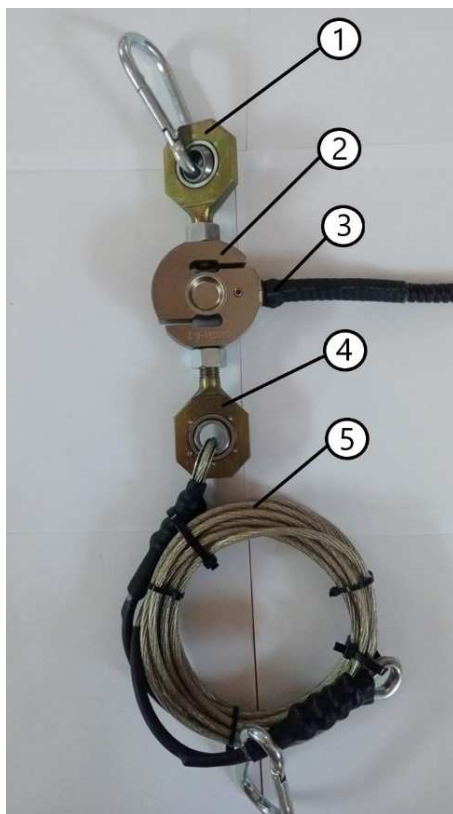


Рис. 4. Такелажный рым для крепления к стационарному объекту либо заякоренному плавательному средству (1); тензометрический датчик (2); кабель для передачи данных от тензодатчика (3); такелажный рым для крепления к испытываемому судну (4); трос для крепления датчика (5)

Вспомогательное оборудование и элементы, необходимые для выполнения измерений при помощи прибора, подобраны с учетом резервирования и имеют следующие технические характеристики:

- трос металлический (диаметром 5 мм и длиной 7 м) в силиконовой оплетке для измерения упора;
- зажимы оцинкованные (диаметром 5 мм) для троса;
- пружинные оцинкованные карабины для троса.

Определяемые параметры.

Прибор обеспечивает измерение и расчет следующих показателей:

- действующий фактический упор от ПЛМ (кг, Н);
- частота вращения коленчатого вала (об/мин);
- частота вращения гребного винта (об/мин);
- мощность ПЛМ (кВт и л.с).

Прибор прошел процедуру калибровки как средство измерения в ФБУ «Астраханский ЦСМ» (сертификат № С-Л25001598.001/02-2025 от 07.08.2025 г.).

Результаты калибровки прибора для измерения величины упора, произведенной посредством калибровочных грузов, приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, относительная погрешность прибора (в области определения упора) не превышает 0,25 %.

Таблица 1

Результаты калибровки прибора

Масса калибровочного груза, кг	Показания прибора, кг	Абсолютная погрешность, кг	Относительная погрешность, %
10	9,99	0,01	0,10
20	19,97	0,03	0,15
30	30	0	0,00
40	39,9	0,1	0,25
50	49,942	0,058	0,12
60	59,85	0,15	0,25
70	69,93	0,07	0,10
80	79,88	0,12	0,15
90	89,83	0,17	0,19
100	99,8	0,2	0,20

3. ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ ПОДВЕСНЫХ ЛОДОЧНЫХ МОТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРИБОРА

Испытания ПЛМ производятся в соответствии с техническим регламентом таможенного союза [10], ГОСТ 28556-2016 [4]. Используется цикл серии Е4 для испытания ПЛМ с искровым зажиганием согласно ГОСТ ISO 8178-4-2013 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах» [11], который предусматривает режимы работы двигателя в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Цикл серии Е4 для испытания ПЛМ с искровым зажиганием

Номер режима (цикл Е4)	1	2	3	4	5
Частота вращения, %	100	80	60	40	холостой ход
Крутящий момент, %	100	71,6	46,5	25,3	0
Весовой коэффициент	0,06	0,14	0,15	0,25	0,40
Примечание. Цикл Е4 применяется для двигателей с искровым зажиганием для прогулочных судов длиной менее 24 м, за исключением буксиров и толкачей. Испытания по испытательному циклу Е4 должны проводиться последовательно на всех режимах.					

Все этапы проводят в той последовательности, которая определяется выбранным испытательным циклом. Минимальная продолжительность режима составляет 10 мин. Такая величина является стандартной для всех циклов. В случае необходимости продолжительность режима увеличивается, например, для накопления достаточного количества материала для пробы или стабилизации параметров режима ПЛМ. Продолжительность режима фиксируется и включается в отчет об испытаниях.

Перед испытаниями в натурных условиях прибор был апробирован в малом опытовом бассейне [12]. Методика проведения комплексных испытаний ПЛМ с использованием малого опытового бассейна была рассмотрена и одобрена ФКУ «Центр государственной инспекции по маломерным судам министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по Астраханской области» согласно письму № 2229-1-13 от 14.10.2019 г.

Применение прибора для измерения мощности ПЛМ осуществляется оператором (который должен знать принцип его работы) по следующей программе:

- прибор устанавливается и надежно закрепляется на малом опытовом бассейне, маломерном судне или на береговом сооружении в зависимости от схемы крепления троса для измерения упора ПЛМ;
- производится подсоединение разъемов тахометра и тензометрического датчика, далее производится подключение прибора к ПК кабелями USB, производится включение прибора и активация программного обеспечения;
- производится предварительная тарировка тензометрического датчика в соответствии с описанной выше процедурой;
- производится крепление тензометрического датчика к стационарному объекту и буксировочному тросу для измерения упора ПЛМ к транцу испытуемого судна при помощи вспомогательного оборудования, входящего в состав прибора;
- в программном обеспечении в поле «Примечание» вносятся данные по марке и модели испытуемого ПЛМ;

- производится крепление датчика тахометра к свече зажигания ПЛМ (красный — высоковольтный провод зажигания (свеча); черный — масса ДВС);
- по команде производится пуск ПЛМ и далее плавный набор мощности ПЛМ до максимального значения и фиксирование показаний в программном обеспечении;
- при испытаниях четырехтактных ПЛМ корректировочный коэффициент частоты вращения ПЛМ должен быть установлен на уровне 2, а при испытаниях двухцилиндровых ПЛМ — на уровне 3;
- по окончании испытаний генерируется отчет нажатием кнопки «сохранить отчет».

4. ИСПЫТАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОДВЕСНЫХ ЛОДОЧНЫХ МОТОРОВ

Предлагаемым методом оценки мощности ПЛМ является применение швартовых испытаний (что требует использования максимальной мощности мотора) с измерением упора, создаваемого на транце маломерного судна, и частоты вращения коленчатого вала, что, с учетом передаточного отношения редуктора, дает возможность оценить частоту вращения гребного винта. Принципиальная схема проведения испытаний, на которой изображено заякоренное судно с разработанным прибором, относительно которого измеряется мощность испытуемого судна, представлена на рис. 5.

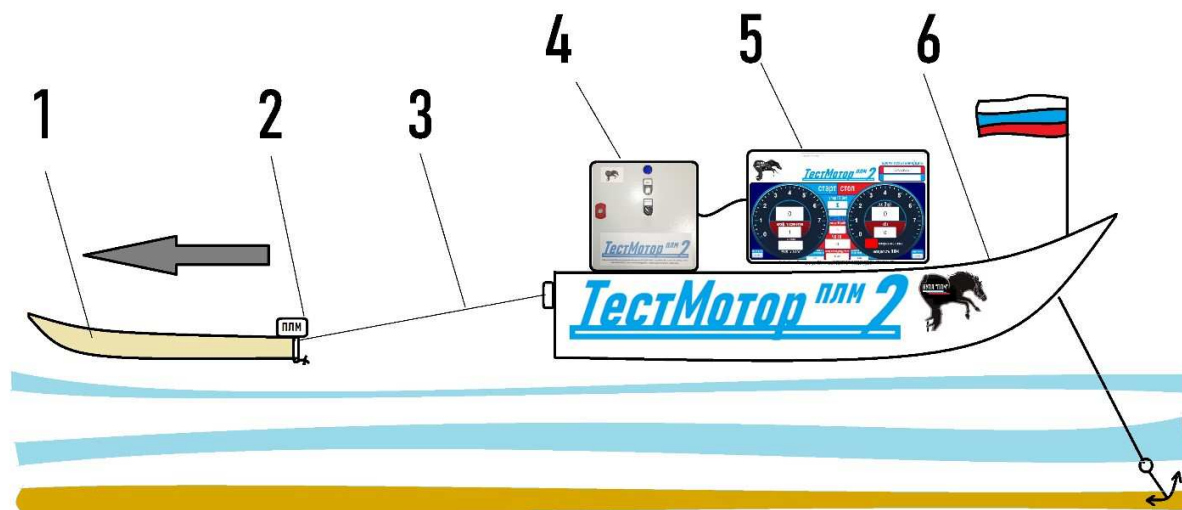


Рис. 5. Принципиальная схема швартовых испытаний по определению эффективной мощности ПЛМ:

- 1 — испытуемое судно; 2 — ПЛМ испытуемого судна; 3 — буксировочный трос;
4 — мобильный прибор для измерения мощности ПЛМ; 5 — ПК с ПО «ТестМотор»;
6 — стационарный объект/заякоренное судно

По такому принципу было испытано судно из ПВХ длиной 3,5 м, с ограничением по мощности на транце до 30 л.с, с ПЛМ: Toyota 2,6 л.с; SEA PRO 5 л.с; Waterman 5 л.с; Mercury 9,8 л.с; Yamaha 9,8 л.с; Hidea 9,9 л.с; Yamaha 4 л.с; Тохатсу 30 л.с (рис. 6).

Следует отметить, что перед испытаниями проводился промер глубины в месте нахождения испытуемого судна, которая составила 12 м.



Рис. 6. Натурные испытания мобильного программно-аппаратного комплекса в акватории р. Волга:
 а — процесс крепления такелажных элементов прибора; б — ход испытаний

5. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведения испытаний были получены данные, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний подвесных лодочных моторов различной марки

Параметры	Значение параметров							
	Марка ПЛМ							
	Toyama	SeaPro	Waterman	Mercury	Yamaha	Hidea	Yamaha	Тохатсу
Передаточное отношение редуктора	2,080	2,080	2,080	1,920	2,080	2,080	2,080	2,170
Передаточное отношение	0,481	0,481	0,481	0,521	0,481	0,481	0,481	0,461
Упор, кг	34,500	43,737	44,2	70,869	80,358	99,421	51,287	158,95
Упор винта, кН	0,338	0,429	0,434	0,695	0,788	0,975	0,503	1,226
Диаметр винта, м	0,184	0,191	0,191	0,226	0,235	0,235	0,191	0,305
Шаг винта, м	0,127	0,203	0,178	0,211	0,229	0,279	0,178	0,356
Частота вращения КВ, об/мин	4750	4900	5600	5000	5166	5500	4300	4920
Частота вращения ГВ, об/с	38,061	39,26	44,87	43,40	41,39	44,07	34,46	37,78
Мощность, л.с (паспортная)	2,6	5	5	9,8	9,8	9,9	4	30
Мощность, л.с (измеренная)	2,350	4,636	4,600	8,480	9,955	17,102	4,112	29,456
Разница между паспортной и измеренной мощностью в л.с	-0,25	-0,36	-0,4	-1,32	+0,155	+7,202	+0,112	-0,544

Дополнительно по результатам проведенных испытаний в качестве примера была построена швартовая характеристика для одного из ПЛМ — Yamaha 9,8 л.с, приведенная на рис. 7.

Разработанный мобильный программно-аппаратный комплекс для измерения мощности ПЛМ настроен на длительность цикла времени реакции 1 мс, что позволяет получить достаточное количество данных для достоверной обработки результатов.

Как видно из результатов измерения мощности ПЛМ, приведенных в табл. 3, моторы Toyama 2,6 л.с, SEA PRO 5 л.с, Waterman 5 л.с, Mercury 9,8 л.с, Yamaha 9,8 л.с, Yamaha 4 л.с, Тохатсу 30 л.с генерируют мощность в заявленном диапазоне, в то время как мотор Hidea с заявленной мощностью 9,9 л.с по технической документации, прилагаемой к мотору, и маркировке на капоте сгенерировал мощность в пределах 17 л.с, вследствие чего его можно отнести к сегменту моторов, подлежащих обязательной регистрации в контролирующих органах в соответствии с использованием судна.

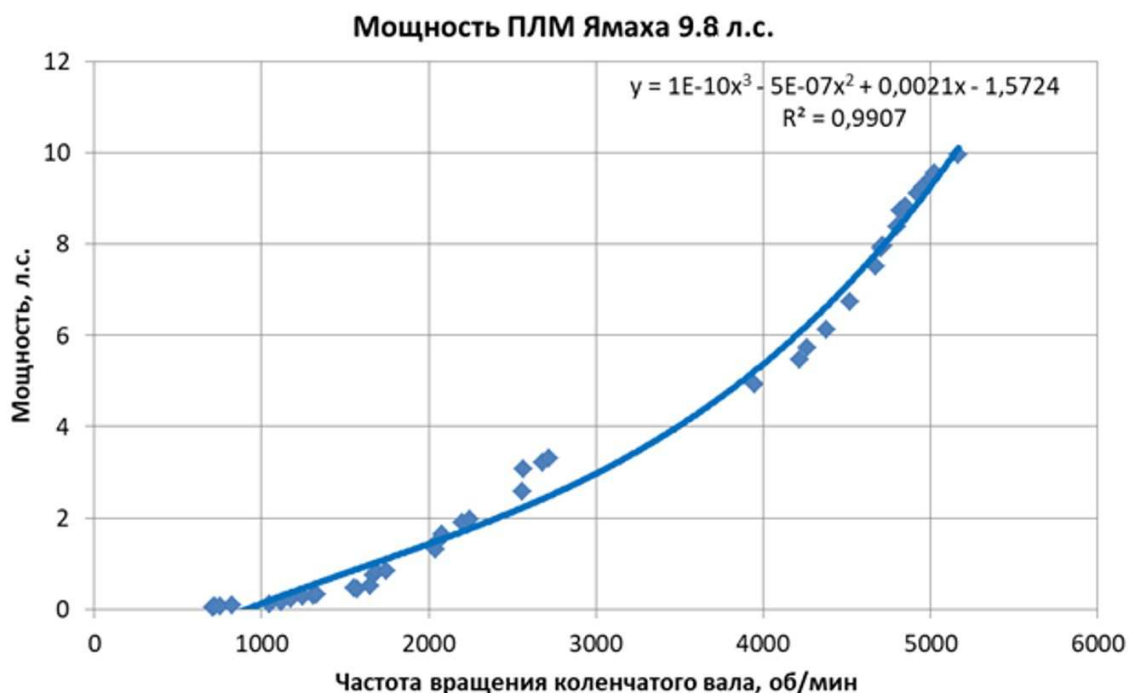


Рис. 7. Швартовая характеристика ПЛМ Yamaha 9,8 л.с

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате указанных в статье манипуляций с технической документацией, сопровождающей мотор, водители и владельцы маломерных судов садятся за руль/румпель судна, имеющего энергетическую установку, превышающую допустимую по мощности, не имея на то права. В связи с чем возрастают эксплуатационные риски, связанные с превышением скорости, нарушением правил расхождения с другими судами, а также правовые риски, ведущие к управлению незарегистрированными судами. Ввиду сложившейся ситуации перед научной группой лаборатории «Подвесные лодочные моторы» АГТУ была поставлена задача разработать и испытать прибор для измерения мощности ПЛМ в условиях эксплуатации судна, который также может быть использован в качестве тестирующего и диагностического устройства в отладочных работах после ремонтных мероприятий ПЛМ. В процессе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ разработаны способ измерения мощности ПЛМ и принципиальная схема подключения основных элементов и создана физическая модель прибора, которая была апробирована в условиях лаборатории и натурных испытаний. На прибор составлен пакет сопроводительной документации, включающий инструкцию по эксплуатации, ряд чертежей, паспорт и технические условия по эксплуатации. Прибор успешно прошел процедуру калибровки как средство измерения в ФБУ «Астраханский ЦСМ» о чем свидетельствует полученный сертификат.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мобильный прибор для измерения мощности подвесных лодочных моторов (ПЛМ) в натурных условиях разработан по заказу ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» в ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» в рамках договора на выполнение научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на полезную модель № RU 196596 U1. Малый опытовый бассейн: заявл. 26.09.2019, опубл. 06.03.2020, БИ № 7 / Покусаев М.Н., Хмельницкая А.А., Хмельницкий К.Е.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «АГТУ».
2. Патент на полезную модель № RU 182049 U1. Малый опытовый бассейн: заявл. 21.11.2017, опубл. 01.08.2018, БИ № 22 / Покусаев М.Н., Хмельницкая А.А., Хмельницкий К.Е.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «АГТУ».
3. Хмельницкая А.А. Проект маломерного парома с подвесными лодочными моторами для работы на внутренних водных путях / А.А. Хмельницкая, А.А. Буцанец, К.Е. Хмельницкий // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. — 2025. — Т. 17, № 3. — С. 408 — 417.
4. В России за восемь месяцев в ЧП с маломерными судами погибли 132 человека. [Электронный ресурс] URL: <https://tass.ru/proisshestiya/18797395> (дата обращения 11.11.2025).
5. ГОСТ 28556-2016. Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности.
6. ГОСТ ИСО 8665:2006. Суда малые. Судовые главные гребные двигатели и системы. Измерение мощности и заявленные значения (ISO 8665:2006 Small craft — Marine propulsion reciprocating internal combustion engines — Power measurements and declarations).
7. Снопков В.И. Управление судном: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. / В.И. Снопков. — СПб.: Профessional, 2004. — 536 с.
8. Ганнесен В.В. Аварийная буксировка судна. Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Маневрирование и управление судном» / В.В. Ганнесен. — Владивосток, 2023. — 31 с.
9. Расчеты скорости буксировки и элементов буксирной линии. [Электронный ресурс] URL: <https://poznayka.org/s35740t2.html> (дата обращения 17.10.2025).
10. Технический регламент таможенного союза ТР ТС 026/2012. О безопасности маломерных судов.
11. ГОСТ ISO 8178-4-2013 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Ч. 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах.
12. Покусаев М.Н. Изменение конструкции малого опытового бассейна для комплексных испытаний подвесных лодочных моторов / М.Н. Покусаев, К.Е. Хмельницкий, А.А. Хмельницкая, М.Ф. Руденко и др. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2022. — № 4. — С. 19 — 26. DOI 10.24143/2073-1574-2022-4-19-26.

REFERENCES

1. Patent for a utility model RU 196596 U1. Small experimental pool: appl. 26.09.2019, publ. 06.03.2020, bul. no. 7 / Pokusaev M.N., Khmel'nitskaya A.A., Khmel'nitsky K.E.; applicant Astrakhan State Technical University.
2. Patent for a utility model RU 182049 U1. Small experimental pool: appl. 21.11.2017, publ. 01.08.2018, bul. no. 22 / Pokusaev M.N., Khmel'nitskaya A.A., Khmel'nitsky K.E.; applicant Astrakhan State Technical University.
3. Khmel'nitskaya A.A., Butsanets A.A., Khmel'nitsky K.E. Project of a small-size ferry with outboard motors for operation on inland waterways. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2025. Vol. 17. No. 3. P. 408 — 417. (In Russ.)
4. V Rossii za vosem' mesyatsev v ChP s malomernymi sudami pogibli 132 cheloveka [In Russia, 132 people died in an emergency involving small vessels in eight months]. URL: <https://tass.ru/proisshestiya/18797395> (accessed 11.11.2025).
5. GOST 28556-2016. Outboard boat motors. General safety requirements.
6. ISO 8665:2006. Small craft — Marine propulsion reciprocating internal combustion engines — Power measurements and declarations.
7. Snopkov V.I. Upravlenie sudnom [Ship management: a textbook. 3rd ed., rev. and suppl.]. St. Petersburg: Professional, 2004. 536 p.
8. Gannesen V.V. Avariinaya buksirovka sudna. Metodicheskie ukazaniya dlya vypolneniya kursovoi raboty po distsipline «Manevrirovaniye i upravlenie sudnom» [Emergency towing of a vessel. Methodological guidelines for completing coursework in the discipline "Maneuvering and ship management"]. Vladivostok, 2023. 31 p.
9. Raschet skorosti buksirovki i prochnosti buksirnoi linii [Calculation of the towing speed and strength of the tow line]. URL: <https://poznayka.org/s35740t2.html> (accessed 17.10.2025).
10. Technical Regulations of the Customs Union TR CU 026/2012. On the safety of small vessels.
11. GOST ISO 8178-4-2013 Reciprocating internal combustion engines. Measurement of the emission of combustion products. Part 4. Test cycles for engines of various applications in steady-state conditions.
12. Pokusaev M.N., Khmel'nitsky K.E., Khmel'nitskaya A.A., Rudenko M.F. et al. Modification of design of small experimental tank for complex tests of outboard motors. *Vestnik of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2022. No. 4. P. 19 — 26. DOI 10.24143/2073-1574-2022-4-19-26. (In Russ.)

УДК 629.5.06
EDN JEQRPL

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИСПРАВНОСТИ ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА ОБОРОТОВ

А.А. Житников, аспирант, Камчатский государственный технический университет, 683003 Россия, Петропавловск-Камчатский, Ключевская ул., 35, e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru

А.А. Марченко, канд. техн. наук, доцент, Камчатский государственный технический университет, 683003 Россия, Петропавловск-Камчатский, Ключевская ул., 35, e-mail: Marchenko-Alx@inbox.ru

В данной работе представлен новый диагностический алгоритм для раннего обнаружения неисправностей в информационно-измерительном канале индуктивных датчиков скорости, используемых в малооборотных судовых двигателях внутреннего сгорания. В отличие от традиционных методов, основанных исключительно на наличии сигнала или пороговых значениях амплитуды, предлагаемый подход использует двухпараметрический анализ, сочетающий временные и частотные характеристики выходного сигнала датчика. В частности, алгоритм непрерывно контролирует два ключевых показателя: длительность отдельных импульсов и количество импульсов, накопленных за фиксированный минутный интервал. Пороговые значения для этих параметров, устанавливаемые в интервале длительности импульсов 50 — 200 мс, определяются на основе рабочего диапазона оборотов двигателя, соответствующего устойчивому холостому ходу и максимальной нагрузке. Отклонения за эти пределы вызывают срабатывание аварийного сигнала, указывающего на потенциальную деградацию датчика, электромагнитные помехи или механические неисправности. Алгоритм реализован в среде CODESYS 2.3 с использованием стандартных функциональных блоков программируемого логического контроллера, что обеспечивает совместимость с существующими системами морской автоматизации и позволяет выполнять бесшовную интеграцию без внесения изменений в аппаратное обеспечение. Вспомогательный модуль моделирования упрощает автономную валидацию, эмулируя реалистичные сигналы датчиков как в номинальных условиях, так и в условиях неисправности. Разработанное решение повышает надежность системы, позволяя своевременно выявлять скрытые неисправности, которые часто не поддаются обнаружению традиционными механизмами самодиагностики, тем самым повышая эксплуатационную безопасность, сокращая время незапланированных простоев и поддерживая стратегии технического обслуживания по состоянию в морских условиях.

Ключевые слова: датчик скорости, информационно-измерительный канал, система управления, алгоритм, аварийная остановка, аналоговый сигнал, дискретный сигнал.

Для цитирования: Житников А.А. Разработка алгоритма идентификации неисправности индуктивного датчика оборотов / А.А. Житников, А.А. Марченко // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 96 — 104. — EDN JEQRPL.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR IDENTIFYING AN INDUCTIVE SPEED SENSOR

A.A. Zhitnikov, PhD student, Kamchatka State Technical University, 683003 Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya ul., 35, e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru

A.A. Marchenko, PhD, Associate Professor, Kamchatka State Technical University, 683003 Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya ul., 35, e-mail: Marchenko-Alx@inbox.ru

This paper presents a new diagnostic algorithm for the early detection of faults in the data-measuring channel of inductive speed sensors used in low-speed marine internal combustion engines. Unlike traditional methods based solely on signal presence or amplitude thresholds, the proposed approach involves a two-parameter analysis combining the temporal and frequency characteristics of the sensor output signal. Specifically, the algorithm continuously monitors two key parameters: the duration of individual pulses and the number of pulses accumulated over a fixed one-minute interval. Thresholds for these parameters, set within a pulse duration range of 50 — 200 ms, are determined based on the engine speed operating range, corresponding to stable idle running and maximum load. Deviations beyond these limits trigger an alarm, indicating potential sensor degradation, electromagnetic interference, or mechanical failure. The algorithm is implemented in the CODESYS 2.3 environment using standard programmable logic controller (PLC) function blocks, ensuring compatibility with existing marine automation systems and enabling seamless integration without hardware modifications. The auxiliary simulation module simplifies autonomous validation by emulating realistic sensor signals under both nominal and fault conditions. The developed solution improves system reliability by enabling the timely detection of latent faults that are often undetectable by traditional self-diagnostic mechanisms, thereby enhancing operational safety, reducing unplanned downtime, and supporting condition-based maintenance strategies in marine environments.

Keywords: speed sensor, data-measuring channel, control system, algorithm, emergency stop, analog signal, discrete signal.

For citation: Zhitnikov A.A., Marchenko A.A. Development of an algorithm for identifying an inductive speed sensor. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 96 — 104. EDN JEQRPL. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

В современных судовых энергетических установках, использующих двигатели внутреннего сгорания как для движения судна, так и для привода дизель-генераторов, особое значение приобретают индуктивные датчики частоты вращения. Эти устройства формируют информационно-измерительный канал, отвечающий за регистрацию мгновенных значений угловой скорости и положения коленчатого вала. Получаемые данные служат основой для синхронизации ключевых процессов цикла работы двигателя, в первую очередь моментов впрыска топлива и, в случае газовых или бензиновых двигателей, зажигания [1 — 4]. Точность функционирования индуктивных датчиков напрямую определяет стабильность рабочего процесса, эффективность энергопреобразования и соответствие нормативным требованиям по выбросам вредных веществ [5, 6].

Отказ или деградация характеристик индуктивного датчика оборотов может спровоцировать серьезные нарушения в работе силовой установки. Наиболее типичными последствиями являются рассогласование фаз газораспределения и топливopодачи, что приводит к падению крутящего момента, росту удельного расхода топлива и увеличению концентрации токсичных компонентов в отработавших газах. В ряде случаев система управления, получая искаженные или отсутствующие данные о частоте вращения, не способна корректно инициировать пуск двигателя либо переводит его в аварийный (деградированный) режим. Такой режим, хотя и предотвращает полную остановку, существенно ограничивает мощностные возможности установки, снижает маневренность судна и повышает вероятность возникновения аварийной ситуации, особенно в условиях ограниченной видимости или стесненного судоходства.

Современные судовые двигатели преимущественно оснащаются бесконтактными индуктивными датчиками, принцип действия которых основан на изменении магнитного потока при прохождении зубчатого диска или метки на вращающемся элементе. Такая конструкция обеспечивает высокую надежность, минимальный износ и устойчивость к воздействию вибрации, перепадов температур, масляных аэрозолей и солевого тумана — типичных факторов морской эксплуатационной среды. Несмотря на это, длительная работа в агрессивных условиях способствует постепенному ухудшению параметров датчика: снижению амплитуды выходного сигнала, искажению его формы или пропуску отдельных импульсов [7, 8]. Поскольку такие отклонения часто не превышают порогов срабатывания встроенной системы самодиагностики, электронный блок управления продолжает обрабатывать сигнал как достоверный, формируя ошибочные управляющие воздействия. Это, в свою очередь, вызывает нестабильность частоты вращения, детонационные явления и снижение общей эффективности двигателя.

Особую угрозу представляют внезапные отказы, обусловленные обрывом сигнальных линий, коротким замыканием в цепи датчика или выходом из строя его электронной схемы. В подобных ситуациях двигатель переходит в резервный режим управления, при котором работа осуществляется по упрощенным алгоритмам без учета реального положения коленчатого вала. Такой режим, как правило, не позволяет поддерживать номинальную мощность и может сделать невозможным продолжение рейса без вмешательства технического персонала. Учитывая ограниченность ресурсов на борту и труднодоступность судна в открытом море, подобные инциденты нередко влекут за собой вынужденные заходы в порт, простои и значительные экономические издержки [9 — 12].

Диагностика неисправностей индуктивных датчиков осложняется их симптоматическим сходством с дефектами других подсистем, например с нестабильной работой топливной аппаратуры высокого давления или нарушениями в цепях управления клапанами. Кроме того, кратковременные сбои, вызванные резкими изменениями нагрузки, термическими деформациями или электромагнитными помехами, могут не фиксироваться системой мониторинга, но при этом вызывать эпизодические срывы в работе двигателя. Подобные «скрытые» отказы особенно опасны в критических фазах эксплуатации — при швартовке, маневрировании в узкостях или в аварийных ситуациях, когда требуется максимальная предсказуемость и отклик силовой установки [13 — 15].

Таким образом, индуктивные датчики частоты вращения являются ключевым элементом архитектуры управления судовыми двигателями внутреннего сгорания. Их техническое состояние напрямую влияет на надежность, топливную экономичность и экологическую безопасность всей энергетической установки. В связи с этим разработка и внедрение методов раннего выявления деградации параметров таких датчиков, а также организация регулярного контроля их сигнальных характеристик представляют собой важнейшую задачу в рамках обеспечения безотказной эксплуатации судового оборудования.

Целью данной работы является разработка алгоритма идентификации неисправности информационно-измерительного канала датчика оборотов двигателя внутреннего сгорания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Общий вид исследуемой схемы работы устройства представлен на рис. 1. В качестве материалов исследования будет использоваться анализ выходного сигнала средства измерения оборотов.

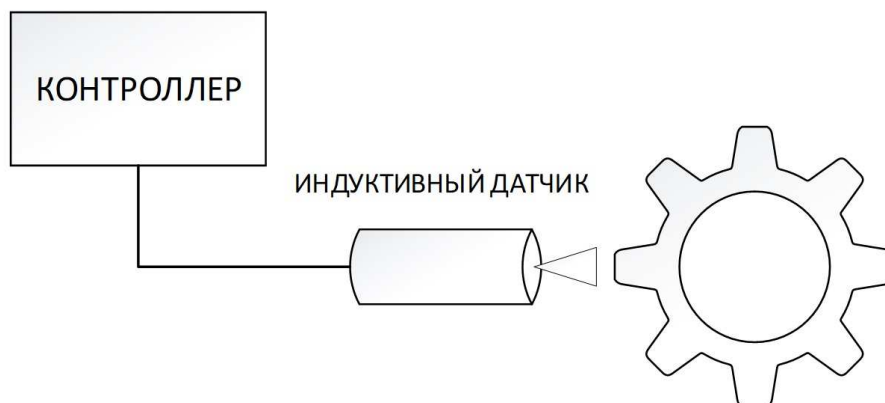


Рис. 1. Схема подсчета числа оборотов двигателя

Опорными значениями для уставок сигнала будут являться максимальные и минимальные обороты малооборотного судового двигателя внутреннего сгорания. На основании этих данных будут рассчитаны характеристики временной продолжительности возможного значения сигнала.

В качестве опорных значений для формирования уставок диагностического сигнала принимаются граничные режимы работы малооборотного судового двигателя внутреннего сгорания, а именно минимальная и максимальная частота вращения коленчатого вала, соответствующие устойчивому холостому ходу и предельно допустимой эксплуатационной нагрузке соответственно. Эти параметры определяются техническими характеристиками самого двигателя.

Использование указанных граничных значений в качестве эталонных позволяет обоснованно определить временные и амплитудные рамки допустимого диапазона выходного сигнала индуктивного датчика частоты вращения. На основе этих данных производится расчет характеристик длительности импульсов, соответствующих минимально и максимально возможным значениям частоты вращения. В частности, для заданного числа зубцов на измерительном диске вычисляется теоретический период следования импульсов при минимальных и максимальных оборотах.

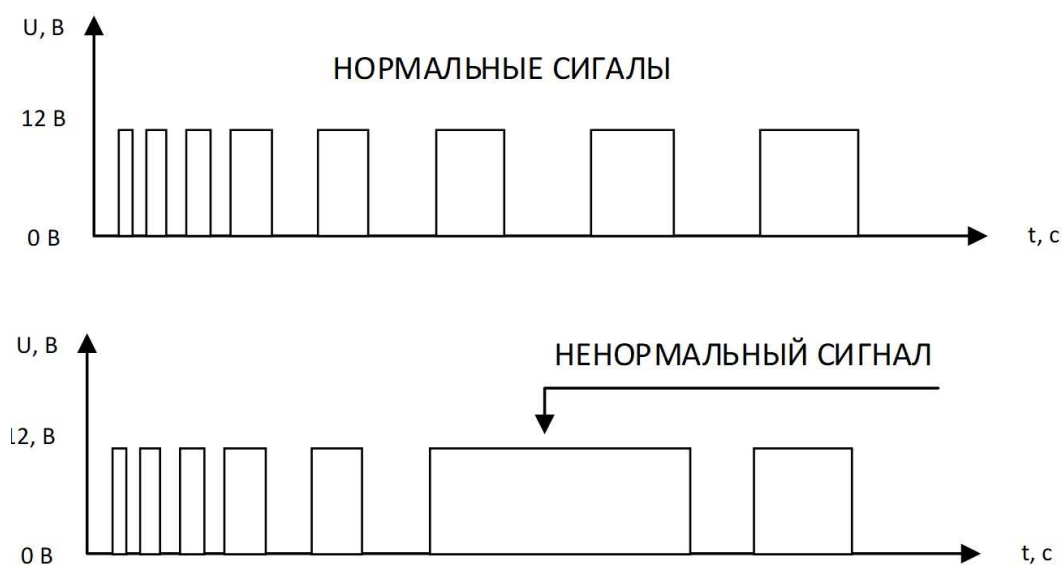


Рис. 2. Графики сравнения времени сигналов

Полученные величины служат основой для установки пороговых значений в алгоритмах диагностики: отклонение длительности реального сигнала за пределы рассчитанного интервала может свидетельствовать о деградации характеристик датчика, наличии помех в измерительном канале или развитии неисправности в механической части двигателя.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для разработки алгоритма диагностики неисправностей в системах, основанных на импульсных датчиках положения или скорости вращения вала, необходимо учитывать ряд ключевых технических параметров, определяющих корректность и достоверность идентификации аномальных состояний.

Во-первых, критически важной является структурная информация о конфигурации измерительной системы, в частности количество активных элементов (зубцов, магнитов или иных маркеров) на вращающемся узле, с которыми взаимодействует датчик. Данная характеристика напрямую определяет количество импульсов, генерируемых датчиком за один полный оборот вала, и, следовательно, служит основой для расчета временных интервалов между последовательными импульсами при различных режимах работы двигателя.

Во-вторых, необходимо располагать данными о рабочем диапазоне частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания, а именно о минимальной и максимальной частоте вращения. Эти параметры позволяют определить граничные значения частоты следования импульсов, поступающих от датчика, что, в свою очередь, необходимо для установления допустимых временных окон при обработке сигнала и выявления отклонений, свидетельствующих о потенциальных неисправностях.

В-третьих, существенную роль играет знание технических характеристик чувствительного элемента датчика, включая его порог срабатывания, время реакции и диапазон рабочих частот. Учет этих параметров в совокупности с вышеуказанными данными о конструкции системы и диапазоне оборотов двигателя позволяет рассчитать теоретически возможные минимальные и максимальные длительности импульсов, а также межимпульсные интервалы. Такой комплексный подход обеспечивает формирование адекватной модели нормального функционирования системы, что является необходимым условием для последующей детекции аномалий и повышения надежности алгоритма диагностики.

В качестве исследуемой измерительной системы рассмотрим индуктивный датчик оборотов, который подсчитывает импульсы с шатунной шейки коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания (рис. 3).

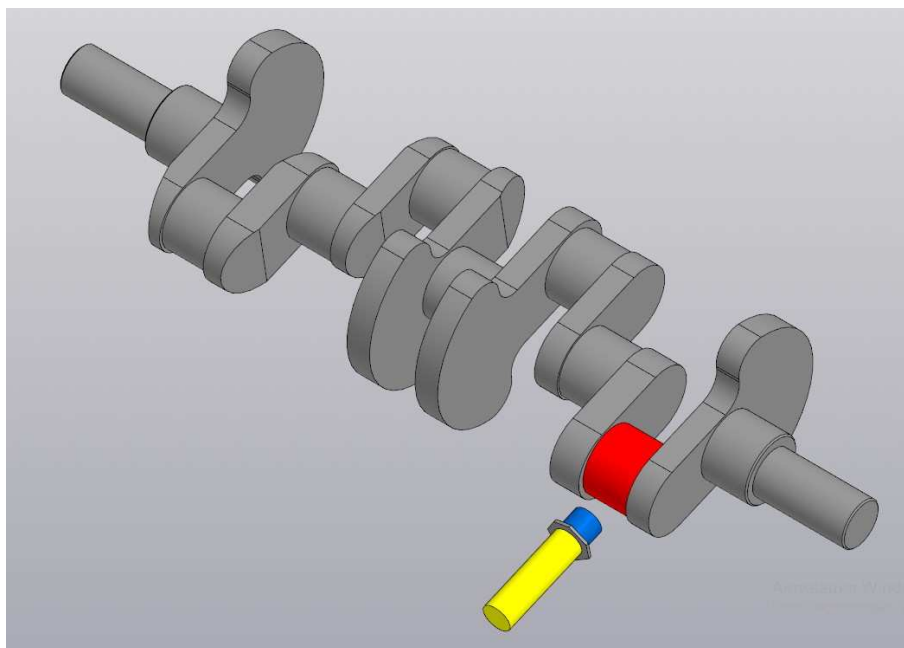


Рис. 3. Модель коленчатого вала с индуктивным датчиком

В рамках настоящего исследования предполагается, что рассматриваемый коленчатый вал является конструктивным элементом малооборотного двигателя внутреннего сгорания, характеризующегося пониженной частотой вращения коленчатого вала по сравнению с высокооборотными аналогами. Такие двигатели, как правило, эксплуатируются в режимах с низкими значениями частоты вращения — в диапазоне от нескольких десятков до нескольких сотен оборотов в минуту, что непосредственно влияет на временные характеристики сигналов, генерируемых системой измерения положения и скорости вращения вала.

Для данной системы будем считать, что максимальная длительность импульса, регистрируемая на выходе индуктивного датчика, составляет 200 мс. Данное значение соответствует минимальной частоте вращения вала, при которой сохраняется устойчивая генерация сигнала. В то же время минимальная длительность импульса, обусловленная верхней границей рабочего диапазона частоты вращения двигателя и быстродействием чувствительного элемента, оценивается в 50 мс.

Таким образом, диапазон длительности импульсов может быть использован в качестве эталонного интервала при разработке алгоритмов диагностики и мониторинга технического состояния системы, поскольку выход сигнала за пределы указанного диапазона может свидетельствовать о наличии аномалий в измерительной схеме.

Алгоритм диагностики неисправностей в информационно-измерительном канале основан на непрерывном мониторинге двух ключевых параметров, получаемых с индуктивного датчика. Первый параметр представляет собой длительность единичного импульса на выходе датчика, что отражает временные характеристики его сигнала. Второй параметр определяется как количество импульсов, регистрируемых за фиксированный временной интервал, в данном случае за одну минуту, и характеризует частотную составляющую выходного сигнала.

Для каждого из указанных параметров в рамках нормального функционирования системы заранее определяются допустимые диапазоны значений. В процессе работы алгоритм осуществляет сравнение текущих измеренных значений с этими эталонными интервалами. При обнаружении отклонения любого из параметров за пределы установленных границ система автоматически генерирует диагностическое сообщение, сигнализирующее о возможной неисправности в информационно-измерительном канале (рис. 4).

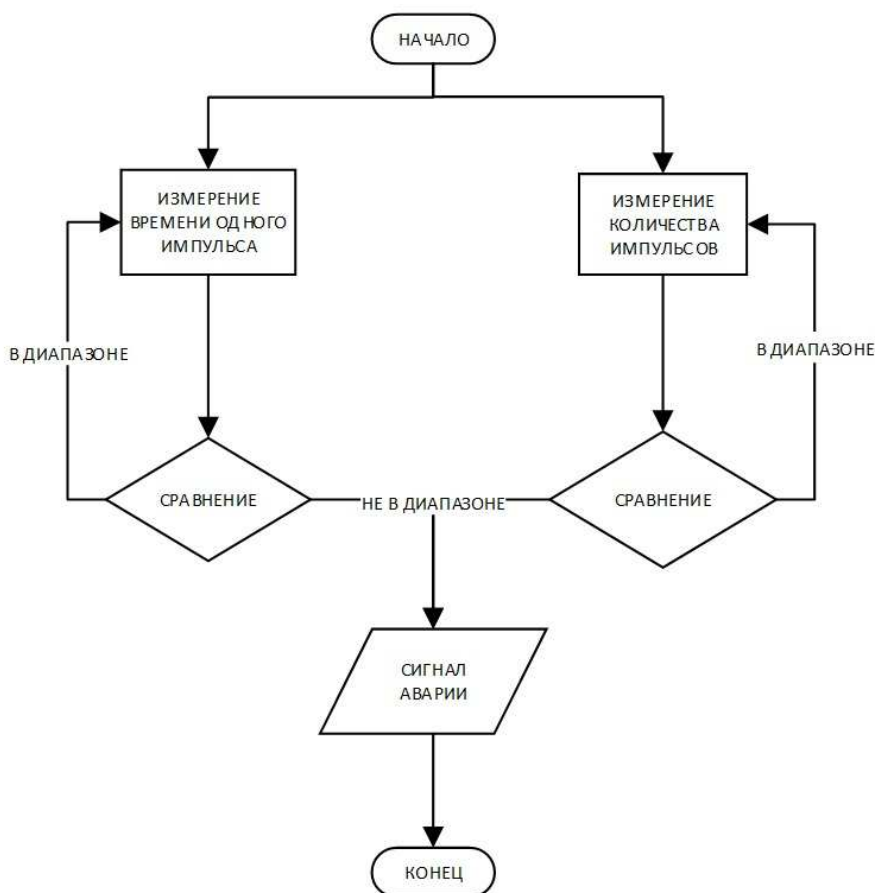


Рис. 4. Алгоритм идентификации неисправности измерительного канала оборотов

Реализация данного алгоритма производится на базе программируемого логического контроллера в среде разработки Codesys 2.3.

Реализация разработанного диагностического алгоритма структурирована на три функционально обособленных, но логически взаимосвязанных модуля (рис. 5).

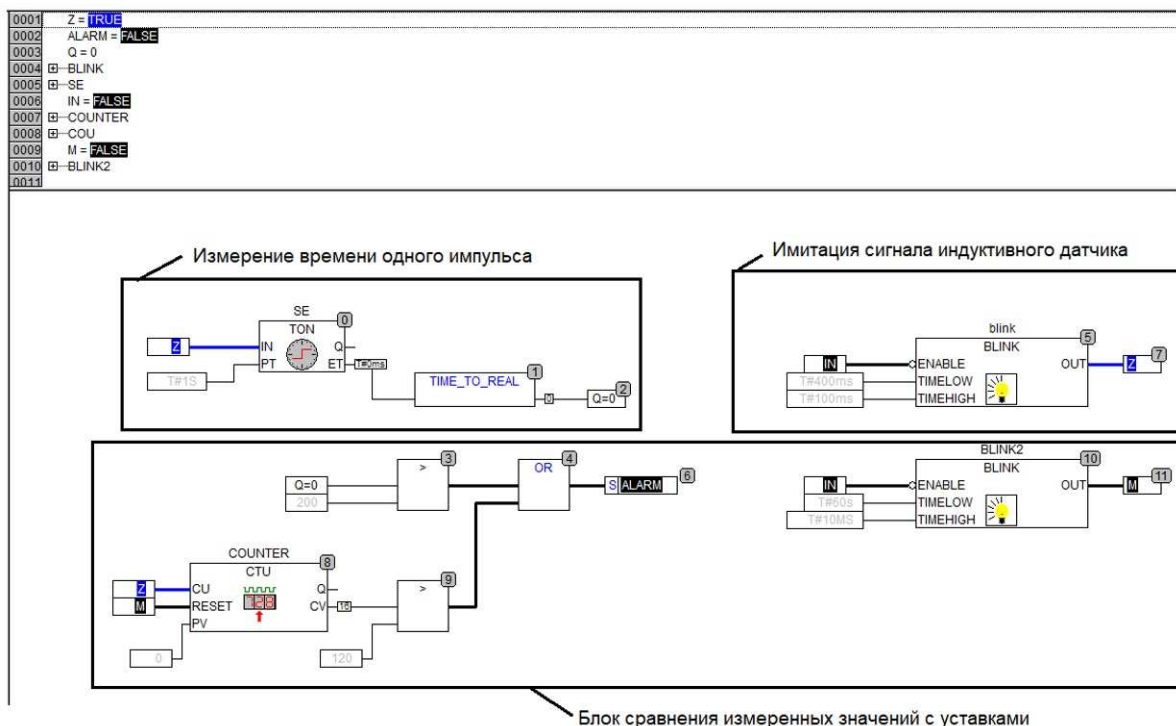


Рис. 5. Реализация алгоритма в Codesys 2.3

Первый модуль реализован на основе таймерного элемента типа «TON». Его функциональное назначение заключается в измерении длительности положительного фронта входного сигнала, поступающего от индуктивного датчика. Активация таймера происходит при регистрации логической единицы на входной переменной «Z», что соответствует началу единичного импульса. В течение времени, пока сигнал сохраняет высокий уровень, таймер непрерывно фиксирует его продолжительность. По завершении импульса полученное значение временного интервала сохраняется в выходной переменной «Q», которая в дальнейшем используется для сравнения с заданным нормативным диапазоном.

Второй модуль отвечает за оценку частотной составляющей сигнала и включает в себя совокупность логических и счетных блоков. Центральное место в этой части занимает счетчик импульсов «CTU», предназначенный для подсчета количества переходов сигнала через пороговое значение за фиксированный временной интервал в одну минуту. Для обеспечения корректности измерений счетчик обнуляется с периодичностью 60 секунд. Процедура сброса реализована посредством вспомогательного генератора тактовых импульсов — блока «BLINK», который синхронизирован с системным временем и каждую минуту формирует кратковременный положительный импульс на выходной переменной «M». Эта переменная подключена ко входу сброса блока «CTU», обеспечивая тем самым циклическую инициализацию счетчика и гарантируя, что накопленное значение всегда отражает актуальное число импульсов за последнюю минуту.

Полученные данные — длительность импульса и количество импульсов за минуту — направляются на входы двух компараторов «>». Каждый из компараторов сравнивает соответствующий параметр с заранее установленным пороговым значением, определяющим границы нормального функционирования системы. В случае превышения любого из параметров допустимого диапазона соответствующий компаратор генерирует логическую единицу. Эти сигналы поступают на входы логического элемента «OR». При срабатывании хотя бы одного из компараторов элемент «OR» формирует управляющий сигнал, который записывается в выходную переменную «ALARM», интерпретируемую как индикация неисправности или аномального поведения измерительного канала.

Третий модуль носит вспомогательный характер и предназначен исключительно для целей отладки и верификации работоспособности алгоритма в условиях, приближенных к реальным, но без подключения физического датчика. В его состав входит блок «BLINK», настроенный на генерацию прямоугольных импульсов с регулируемыми параметрами скважности и периода. Данный блок имитирует выходной сигнал индуктивного датчика, позволяя проводить тестирование алгоритма диагностики в различных режимах, включая штатные и аварийные сценарии. Такой подход значительно упрощает процесс валидации программной логики и повышает достоверность результатов при последующем внедрении в промышленную систему.

ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанный алгоритм идентификации неисправностей информационно-измерительного канала индуктивного датчика оборотов представляет собой целостное техническое решение, направленное на повышение надежности и отказоустойчивости судовых энергетических установок. В отличие от традиционных подходов, основанных исключительно на детектировании полного пропадания сигнала или его амплитудных аномалий, предложенный метод реализует комплексный анализ как временных, так и частотных характеристик импульсной последовательности. Такой подход позволяет выявлять не только обрыв линии связи или короткое замыкание, но и скрытые, постепенно развивающиеся деградационные, которые часто остаются незамеченными встроенными средствами самодиагностики электронных блоков управления.

Важно подчеркнуть, что применение двух независимых диагностических признаков — длительности импульса и количества импульсов за фиксированный интервал времени — обеспечивает взаимодополнение алгоритма к ложным срабатываниям. Например, кратковременные электромагнитные помехи могут вызвать локальное искажение формы сигнала, однако маловероятно, что они одновременно повлияют и на частоту следования импульсов. Аналогично, механические колебания вала могут привести к незначительным флуктуациям частоты вращения, но не вызовут систематического смещения длительности импульса за пределы допустимого диапазона. Таким образом, логическая комбинация условий позволяет зафиксировать широкий спектр неисправностей, сохраняя при этом высокую специфичность диагностики.

Реализация алгоритма в среде программирования Codesys 2.3 на базе программируемого логического контроллера подчеркивает его практическую применимость в существующих архитектурах судовых систем автоматизации. Использование стандартных функциональных блоков — «TON», «CTU», «BLINK» — обеспечивает совместимость с большинством промышленных контроллеров и упрощает интеграцию в действующие проекты без необходимости модернизации аппаратной части. При этом структурированность программного кода, разделение на логические модули и наличие отладочного блока имитации сигнала значительно упрощают процедуры валидации, настройки и последующего технического обслуживания.

Следует отметить, что предложенный подход не заменяет, а дополняет существующие методы диагностики. Тем не менее необходимо учитывать определенные ограничения разработанного алгоритма. Во-первых, его эффективность напрямую зависит от точности знания конструктивных параметров измерительной системы. Любое несоответствие между заложенной в алгоритм моделью и реальной конфигурацией приведет к систематической ошибке в расчете пороговых значений. Во-вторых, алгоритм предполагает стационарность или медленную динамику изменения частоты вращения. В условиях резких переходных процессов возможны кратковременные выходы параметров за установленные границы, которые не связаны с неисправностью датчика. Для минимизации таких ложных срабатываний целесообразно ввести дополнительные механизмы, например временные задержки подтверждения тревоги или адаптивную коррекцию порогов в зависимости от текущего режима работы двигателя.

Перспективным направлением дальнейших исследований является расширение диагностических возможностей за счет анализа межимпульсных интервалов и их статистических характеристик. Такой подход позволит выявлять не только неисправности датчика, но и аномалии в работе самого двигателя, например неравномерность вращения вала, вызванную пропусками воспламенения или нестабильной подачей топлива.

В заключение, представленный алгоритм демонстрирует высокий потенциал в контексте обеспечения безотказной эксплуатации судовых энергетических установок. Его простота, вычислительная эффективность и ориентация на реальные условия морской эксплуатации делают его перспективным кандидатом для внедрения в состав бортовых систем диагностики. Раннее выявление деградации датчиков оборотов не только повышает безопасность судоходства, но и способствует снижению эксплуатационных издержек за счет предотвращения аварийных остановов, продления межремонтных интервалов и оптимизации технического обслуживания по состоянию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненного исследования разработан и структурирован алгоритм идентификации неисправностей информационно-измерительного канала индуктивного датчика оборотов, ориентированный на специфику малооборотных судовых двигателей внутреннего сгорания. Предложенный подход основан на одновременном анализе двух диагностически значимых параметров — длительности единичного импульса и количества импульсов за фиксированный временной интервал. Установленные эталонные границы 50 — 200 мс для длительности импульса позволяют надежно выявлять как катастрофические отказы, так и скрытые деградационные процессы в датчике, не обнаруживаемые стандартными средствами самодиагностики. Реализация алгоритма в среде Codesys 2.3 с использованием стандартных функциональных блоков обеспечивает его совместимость с существующими архитектурами судовых систем автоматизации и упрощает интеграцию без модернизации аппаратной части. Проведенный анализ подтверждает высокую практическую значимость разработки. Алгоритм может повысить отказоустойчивость энергетической установки, способствовать раннему предупреждению аварийных ситуаций и снизить эксплуатационные риски. Полученные результаты создают основу для дальнейшего развития методов диагностики на основе временно-частотного анализа сигналов датчиков положения и скорости вращения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коновалов П.О. Опыт развития и применения в эксплуатации систем мониторинга технического состояния судовых ДВС / П.О. Коновалов, А.А. Иванченко, Г.Л. Ларионов // Тенденции развития науки и образования. — 2023. — № 100, ч. 5. — С. 102 — 108. — DOI: 10.18411/trnio-08-2023-246. — EDN TWWLBX.
2. Kang Y.J. Hierarchical level fault detection and diagnosis of ship engine systems / Y.J. Kang, Y.-J. Noh, M.-S. Jang, S. Park, J.-T. Kim // Expert Systems with Applications. — 2023. — Vol. 213. — P. 118814.
3. Kougiatsos N. A distributed cyber-physical framework for sensor fault diagnosis of marine internal combustion engines / N. Kougiatsos, V. Reppa // IEEE Transactions on Control Systems Technology. — 2024. — Vol. 32, No. 5. — P. 1718 — 1729.
4. Orhan M. A literature review and future research agenda on fault detection and diagnosis studies in marine machinery systems / M. Orhan, M. Celik // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment. — 2024. — Vol. 238, No. 1. — P. 3 — 21.
5. Velasco-Gallego C. RADIS: A real-time anomaly detection intelligent system for fault diagnosis of marine machinery / C. Velasco-Gallego, I. Lazakis // Expert Systems with Applications. — 2022. — Vol. 204. — P. 117634.
6. Бурков Д.Е. Применение судовой информационной системы для контроля и мониторинга технического состояния судового оборудования / Д.Е. Бурков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2023. — Т. 15, № 5. — С. 893 — 902.
7. Жидков Н.А. Повышение экономической и энергетической эффективности судовых двигателей внутреннего сгорания в условиях ужесточения экологических требований / Н.А. Жидков, О.В. Новикова // Цифровая трансформация экономических систем: проблемы и перспективы (ЭКОПРОМ-2022). — СПб.: Политех-пресс, 2022. — С. 274 — 277.
8. Валов Д.С. Системы управления судовыми энергетическими установками автономных судов / Д.С. Валов, С.А. Валгин // Актуальные исследования. — 2023. — № 5 (135). — С. 19 — 28.
9. Vrvilo P. Methods and equipment for analysis and diagnosis of marine engines during navigation / P. Vrvilo, T. Vidović, G. Radica, L. Roldo // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. — 2024. — Vol. 46, No. 1. — P. 15808 — 15824.
10. Pagonis D.N. Sensors and measurement systems for marine engineering applications / D.N. Pagonis // Applied Sciences. — 2024. — Vol. 14, No. 9. — P. 3761.
11. Kim D. Explainable anomaly detection framework for maritime main engine sensor data / D. Kim, G. Antariksa, M.P. Handayani, S. Lee, J. Lee // Sensors. — 2021. — T. 21, No. 15. — P. 5200.
12. Liu B. Research on fault early warning of marine diesel engine based on CNN-BiGRU / B. Liu, H. Gan, D. Chen, Z. Shu // Journal of Marine Science and Engineering. — 2022. — Vol. 11, No. 1. — P. 56.
13. Jovanović I. Combined fault tree analysis and Bayesian network for reliability assessment of marine internal combustion engine / I. Jovanović, Č. Karatuž, M. Perčić, N. Vladimir // Journal of Marine Science and Application. — 2025. — DOI: 10.1007/s11804-025-00692-7.
14. Yaqin R.I. Failure analysis of fuel system main engine fishing vessel (case study: KM. Sumber Mutiara) / R.I. Yaqin, M. Akmal, J.P. Siahaan, M.L. Umar et al. // Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan. — 2023. — Vol. 20, No. 1. — P. 34 — 43.
15. Jan S.U. A distributed sensor-fault detection and diagnosis framework using machine learning / S.U. Jan, Y.D. Lee, I.S. Koo // Information Sciences. — 2021. — Vol. 547. — P. 777 — 796.

REFERENCES

1. Kononov P.O., Ivanchenko A.A., Larionov G.L. Experience in the development and application in operation of systems for monitoring the technical condition of marine internal combustion engines. *Trends in the development of science and education*. 2023. No. 100, pt. 5. P. 102 — 108. DOI 10.18411/trnio-08-2023-246. EDN TWVLBX. (In Russ.)
2. Kang Y.J., Noh Y.-J., Jang M.-S., Park S., Kim J.-T. Hierarchical level fault detection and diagnosis of ship engine systems. *Expert Systems with Applications*. 2023. Vol. 213. P. 118814.
3. Kougiatsos N., Reppa V. A distributed cyber-physical framework for sensor fault diagnosis of marine internal combustion engines. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2024. Vol. 32, No. 5. P. 1718 — 1729.
4. Orhan M., Celik M. A literature review and future research agenda on fault detection and diagnosis studies in marine machinery systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. 2024. Vol. 238, no. 1. P. 3 — 21.
5. Velasco-Gallego C., Lazakis I. RADIS: A real-time anomaly detection intelligent system for fault diagnosis of marine machinery. *Expert Systems with Applications*. 2022. Vol. 204. P. 117634.
6. Burkov D.E. Application of ship's information system to control and monitor the technical condition of ship's equipment. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2023. Vol. 15(5). P. 893 — 902. (In Russ.)
7. Zhidkov N.A., Novikova O.V. Improving the economic and energy efficiency of marine internal combustion engines under conditions of tightening environmental requirements. *Digital Transformation of Economic Systems: Problems and Prospects (ECOPROM-2022)*. St. Petersburg: Politekh-press, 2022. P. 274 — 277. (In Russ.)
8. Valov D.S., Valgin S.A. Control systems for marine power plants of autonomous vessels. *Aktual'nye issledovaniya [Current research]*. 2023. No. 5 (135). P. 19 — 28.
9. Vrvilo P., Vidović T., Radica G., Roldo L. Methods and equipment for analysis and diagnosis of marine engines during navigation. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2024. Vol. 46, No. 1. P. 15808 — 15824.
10. Pagonis D.N. Sensors and measurement systems for marine engineering applications. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 9. P. 3761.
11. Kim D., Antariksa G., Handayani M.P., Lee S., Lee J. Explainable anomaly detection framework for maritime main engine sensor data. *Sensors*. 2021. Vol. 21, No. 15. P. 5200.
12. Liu B., Gan H., Chen D., Shu Z. Research on fault early warning of marine diesel engine based on CNN-BiGRU. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. Vol. 11, No. 1. P. 56.
13. Jovanović I., Karatuğ Ç., Perčić M., Vladimir N. Combined fault tree analysis and Bayesian network for reliability assessment of marine internal combustion engine. *Journal of Marine Science and Application*. 2025. DOI: 10.1007/s11804-025-00692-7.
14. Yaqin R.I., Akmal M., Siahaan J.P., Umar M.L. et al. Failure analysis of fuel system main engine fishing vessel (case study: KM. Sumber Mutiara). *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*. 2023. Vol. 20, No. 1. P. 34 — 43.
15. Jan S.U., Lee Y.D., Koo I.S. A distributed sensor-fault detection and diagnosis framework using machine learning. *Information Sciences*. 2021. Vol. 547. P. 777 — 796.

УДК 621.43 + 621.65 + 629.12
EDN OIKTGU

ИСПЫТАНИЯ НАСОСА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИВОДОМ ЧЕРЕЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ МУФТУ

М.Н. Покусаев, д-р техн. наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1, e-mail: pokusaev@astu.org

А.В. Трифонов, канд. техн. наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1, e-mail: trifonov91@inbox.ru

Н.Д. Шишкин, д-р техн. наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1, e-mail: n.shishkin-53@mail.ru

В статье содержится описание работ, проводимых на кафедре эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства АГТУ, по изучению проблемы механических потерь на привод вспомогательных механизмов дизельных двигателей. Описаны конструкции испытательного стенда, измерительное оборудование, изложены результаты испытаний и перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: механические потери, вспомогательные механизмы дизельного двигателя, испытания насоса, электромагнитная муфта.

Для цитирования: Покусаев М.Н. Испытания насоса системы охлаждения судового двигателя с приводом через электромагнитную муфту / М.Н. Покусаев, А.В. Трифонов, Н.Д. Шишкин // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 105 — 115. — EDN OIKTGU.

TESTING OF A MARINE ENGINE COOLING SYSTEM PUMP DRIVEN BY AN ELECTROMAGNETIC CLUTCH

M.N. Pokusaev, DSc, Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: pokusaev@astu.org

A.V. Trifonov, PhD, Associate Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: trifonov91@inbox.ru

N.D. Shishkin, DSc, Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: n.shishkin-53@mail.ru

The article considers the studies of the problem of mechanical losses on the drive of auxiliary mechanisms of diesel engines carried out at the Department of Water Transport Operation and Industrial Fishing of the Astrakhan State Technical University. The design of the test bench, measuring equipment, test results, and prospects for further research are described.

Keywords: mechanical losses, auxiliary mechanisms of a diesel engine, pump tests, electromagnetic clutch.

For citation: Pokusaev M.N., Trifonov A.V., Shishkin N.D. Testing of a marine engine cooling system pump driven by an electromagnetic clutch. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 105 — 115. EDN OIKTGU. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Международная морская организация утвердила систему измерения энергоэффективности судов. Введены коэффициенты энергоэффективности, которые учитывают мощность силовой судовой установки, расход топлива, обводы корпуса, водоизмещение и грузоподъемность, скорость судна. Система энергоэффективности морских судов введена для того, чтобы стимулировать использовать более энергоэффективное оборудование и двигатели при проектировании новых судов, а также оценивать энергоэффективность существующих судов [1, 2].

На данный момент правительство Российской Федерации занимается вопросом использования высоких технологий в развитии судостроения, которые позволят выдерживать конкуренцию с иностранными производителями. Основными задачами экономической политики РФ являются обеспечение сокращения затрат на топливно-энергетические ресурсы для судоходных компаний; обеспечение конкурентоспособности отечественного флота; энергосбережение и повышение эффективности топлива.

Одним из направлений совершенствования судовых дизелей является снижение механических потерь. Механические потери — это часть располагаемой энергии (индикаторной работы), затрачиваемой на преодоление различного рода сопротивлений в двигателе [7]:

- на преодоление сил трения в подвижных элементах двигателя;
- на привод вспомогательных агрегатов двигателя;
- на осуществление процессов газообмена;
- на преодоление аэродинамического сопротивления при движении деталей двигателя в воздушно-масляной среде.

При снижении механических потерь, при сохранении постоянными остальных статей распределения индикаторной работы и при равных топливно-экономических условиях показатели двигателя улучшаются.

С целью повышения энергоэффективности компания BorgWarner Inc. разработала техническое решение для двигателей грузового транспорта [9], в котором между насосом и двигателем применяется электромагнитная муфта с электронным управлением Dual mode coolant pump (DMCP) (рис. 1).

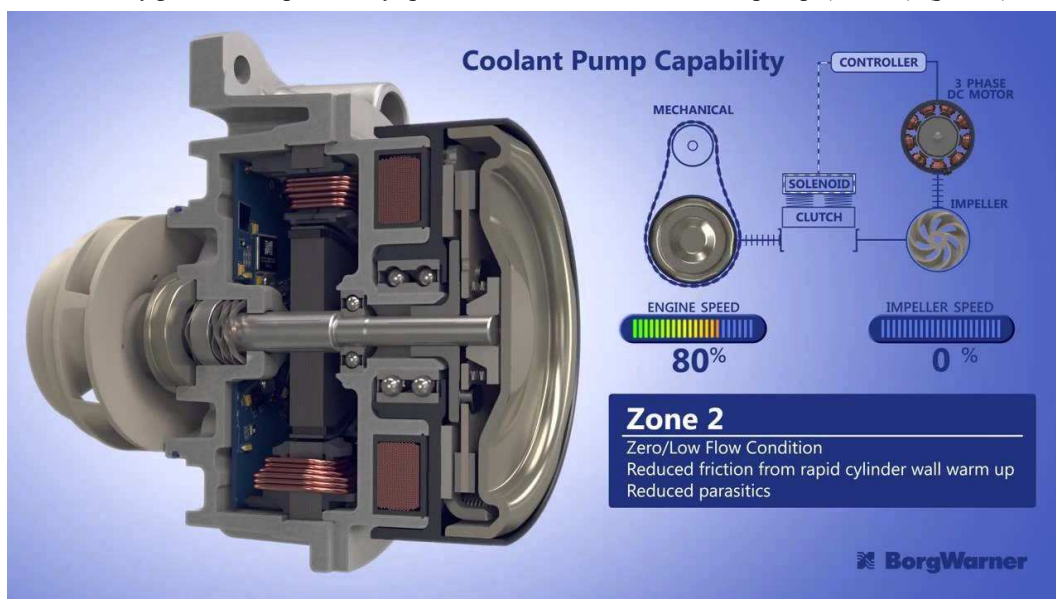


Рис. 1. Электромагнитная муфта насоса с электронным управлением

Обычный насос постоянно вращается вместе с коленчатым валом двигателя. Насос DMCP может полностью отключаться при малой нагрузке и постоянно работать при высокой нагрузке. Таким образом снижается время работы в неэффективном режиме и снижается расход топлива (особенно в городском цикле); экономия топлива может достигать 2 — 4 %.

Совершенствование автоматического регулирования параметров охлаждения является перспективным направлением модернизации систем охлаждения дизельных двигателей [6]. В работах [3 — 7] проводятся подобные исследования на различных типах двигателей. В них утверждается, что двигатель эффективнее

работает в узком диапазоне температур (90 — 105 °С). Электронный блок управления в зависимости от температуры охлаждающей жидкости включает или выключает электромагнитную муфту. Это позволяет точно поддерживать необходимую температуру, не допуская перегрева.

В рамках развития данного направления на кафедре эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства АГТУ проводятся исследования по снижению механических потерь на привод вспомогательных механизмов судовых дизельных двигателей. Было предложено техническое решение по установке между судовым двигателем и насосом заборной или пресной воды электромагнитной муфты. Это техническое решение было реализовано на экспериментальном стенде в лаборатории судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств АГТУ (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид стенда с электромагнитной муфтой

При создании стенда за основу была взята система охлаждения судового конвертированного двигателя ЯМЗ-238М2 (8ЧНСП13/14). Данный двигатель применяется в качестве главного на судах типа «Ярославец» и в качестве судового дизель-генератора (рис. 3, 4).

На рис. 4 показан внешний вид судового дизель-генератора на базе конвертированного двигателя 8ЧН13/14.



Рис. 3. Судно «Флагман» с главным двигателем 8ЧНСП13/14



Рис. 4. Внешний вид судового дизель-генератора

Для перекачивания жидкости во внутреннем контуре стенда установлен насос пресной воды, который используется на двигателях 8ЧН13/14. Насос 236-1307010-Б1 показан на рис. 5.

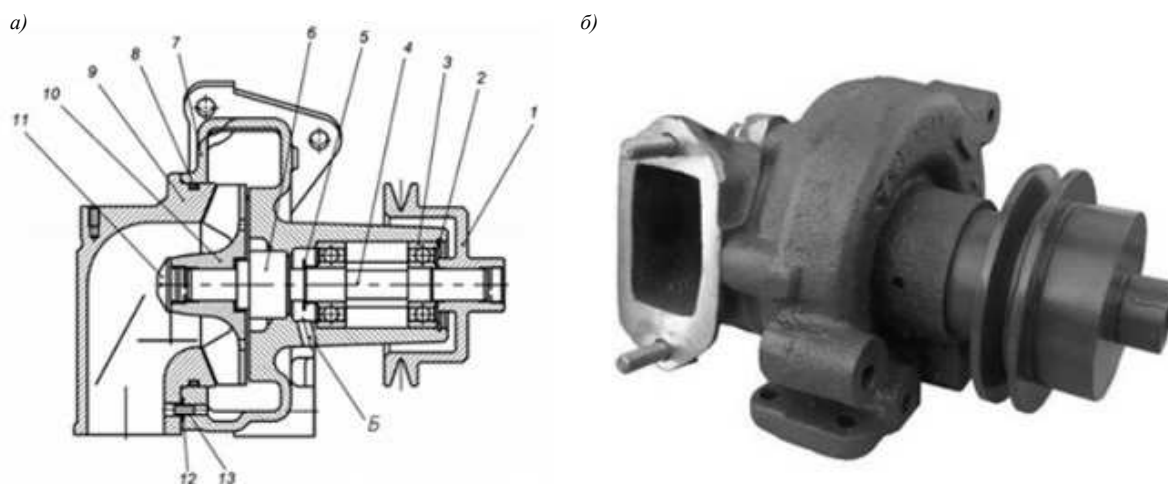


Рис. 5. а) элементы насоса пресной воды: 1 — шкив привода; 2 — стопорное кольцо; 3 — подшипники; 4 — валик; 5 — водосбрасыватель; 6 — уплотнение торцевое; 7 — корпус насоса; 8 — кольцо уплотнительное; 9 — патрубок водяного насоса; 10 — крыльчатка; 11 — заглушка крыльчатки; 12 — кольцо уплотнительное; 13 — втулка уплотнительного кольца; Б — дренажное отверстие; б) внешний вид насоса

Для вращения насоса на стенде установлен электродвигатель 5АИ 80В4У2. Мощность электродвигателя составляет 1,5 кВт, а частота вращения — 3000 об/мин. Если регулировать его частоту вращения частотным преобразователем, то он подходит для имитации вала отбора мощности двигателя

На вал электродвигателя установлена электромагнитная муфта от компрессора кондиционера. Марка компрессора ZexelDKV 08r 92600 AX020 (рис. 6).



Рис. 6. Компрессор ZexelDKV 08r 92600 и электромагнитная муфта

Принцип работы заключается в том, что в выключенном состоянии муфта компрессора разомкнута и ремень крутит ручейковый шкив вхолостую, отдельно от прижимного диска, который соединен с валом компрессора (рис. 7).

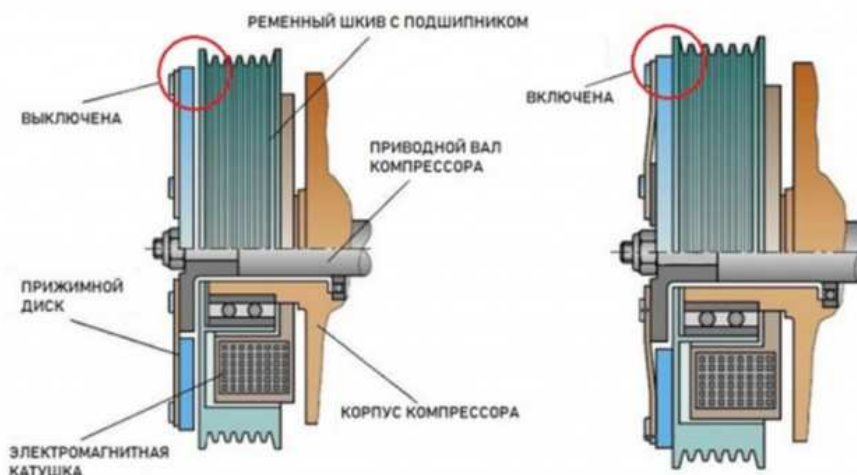


Рис. 7. Внутреннее устройство электромагнитной муфты

При включении на катушку подается питание 12 В, катушка создает магнитное поле и прижимает прижимной диск к шкиву. Шкив соединяется с прижимным диском (который соединен с валом насоса), и механизм насоса начинает работать, создавая циркуляцию в системе охлаждения.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

На стенде установлен частотный преобразователь, благодаря которому можно регулировать частоту вращения вала электродвигателя, как на СДВС в реальных условиях. На рис. 8 показан установленный на стенде частотный преобразователь.



Рис. 8. Частотный преобразователь

На стенде имеется счетчик «Энергомера» СЕ303 (рис. 9), который позволяет отслеживать потребляемую мощность электродвигателя.



Рис. 9. Счетчик «Энергомера» СЕ303

Для проведения испытаний также установлен ваттметр «Мегеон» 71002 для контроля мощности, потребляемой электромагнитной муфтой (рис. 10).



Рис. 10. Ваттметр «Мегеон» 71002

Питание электромагнитной муфты осуществляется от сети переменного тока 220 В через блок питания 12 В. На стенде так же установлен тахометр для измерения частоты вращения электродвигателя насоса (рис. 11).



Рис. 11. Тахометр «ОВЕН» TX01

Для автоматизации процесса включения и выключения электромагнитной муфты на стенде установлен модуль «ОВЕН» ПР200 (рис. 12), на интерфейс которого приходят данные с датчиков давления и датчиков температур.



Рис. 12. Программируемое реле «ОВЕН» ПР200

На рис. 13 показан электродвигатель, насос, электромагнитная муфта, теплообменный аппарат, а также система труб, по которым циркулирует вода горячего и холодного контура.



Рис. 13. Общий вид нижней части стенда

В качестве охладителя пресного контура использован теплообменник СБ 575-00-10-1, который применяется на двигателях 12ЧСП15/18 и 6ЧСП 15/18 (ЗД12 и ЗД6).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе проведения испытаний на стенде измерялась потребляемая электромагнитной муфтой электрическая мощность в зависимости от частоты вращения электродвигателя, имитирующего вал отбора мощности дизельного двигателя. График с результатами измерений показан на рис. 14.

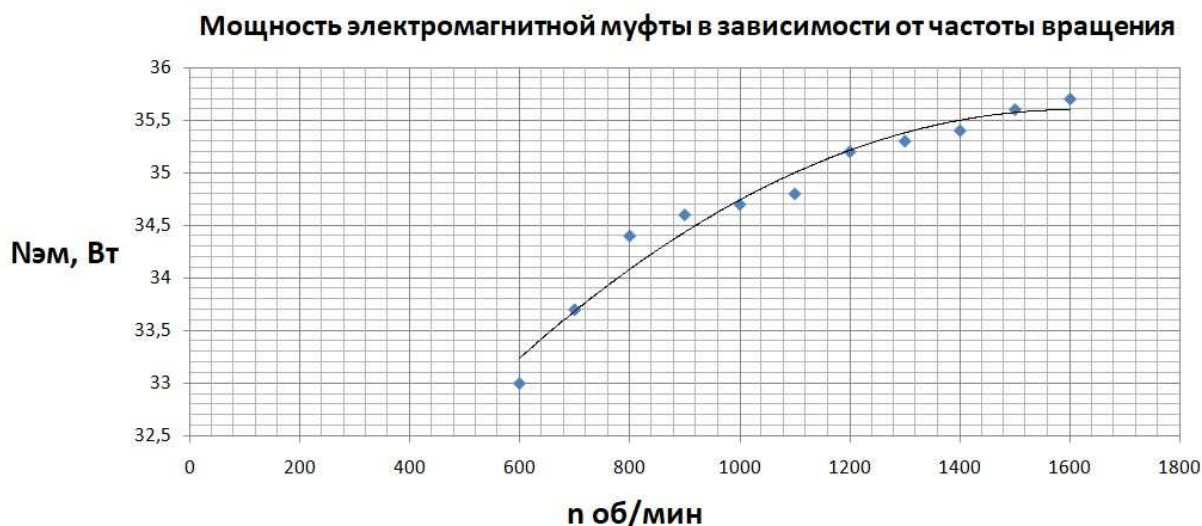


Рис. 14. Мощность электромагнитной муфты в зависимости от частоты вращения насоса

При изменении частоты вращения насоса от 500 до 1600 об/мин потребляемая электромагнитной муфтой мощность изменялась в диапазоне 33 — 36 Вт. Потребляемую электромагнитной муфтой мощность определяли с помощью цифрового ваттметра «Мегеон» 71002. Активная мощность, потребляемая электродвигателем, определялась при помощи трехфазного микропроцессорного счетчика электроэнергии «Энергомера» СЕ303. Чтобы определить мощность насоса, учитывался КПД электродвигателя. Частота вращения вала электродвигателя измерялась при помощи тахометра «ОВЕН» ТХ01.

При помощи датчика температуры контролировали степень нагревания воды в расширительном баке внутреннего контура. В зависимости от показаний этого датчика, система автоматики задавала время работы и выключения электромагнитной муфты по принципу, показанному в табл. 1.

Таблица 1

Принцип работы управления включением электромагнитной муфты

$t, ^\circ\text{C}$	work, c	stop, c	work, %	stop, %
< 30	10	50	17	83
> 40	20	40	33	67
> 50	30	30	50	50
> 60	40	20	67	33
> 70	60	0	100	0

Примечание: t — температура в $^\circ\text{C}$; work, c — время работы электромагнитной муфты в секундах; stop, c — время в секундах, когда электромагнитная муфта отключена; work и stop в % — доля работы и выключения от общего времени работы насоса.

Потребляемая насосом мощность в зависимости от частоты вращения показана на рис. 15.

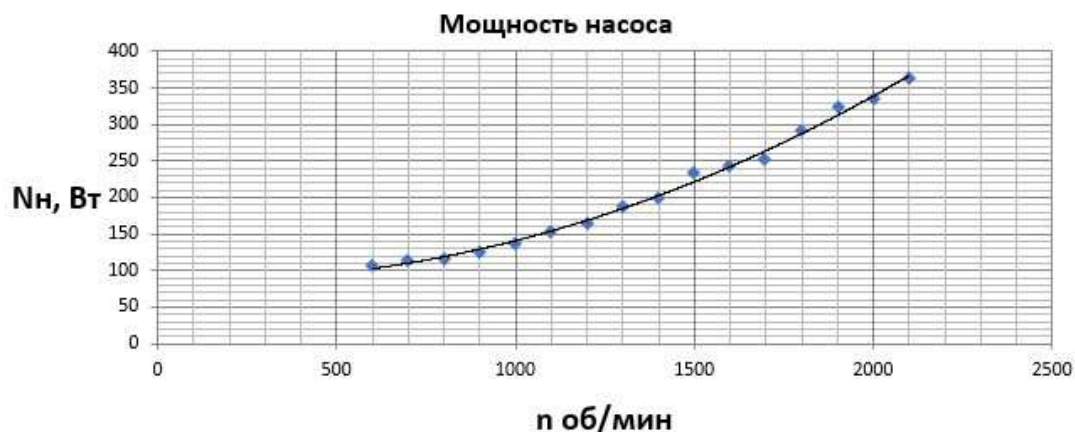


Рис. 15. Мощность насоса в зависимости от частоты вращения

На рис. 16 показана мощность, потребляемая приводом в базовом варианте, и мощность насоса с включенной электромагнитной муфтой. Учтена потребляемая муфтой мощность, а также КПД аккумулятора и генератора, как в случае, если бы муфта стояла на двигателе.

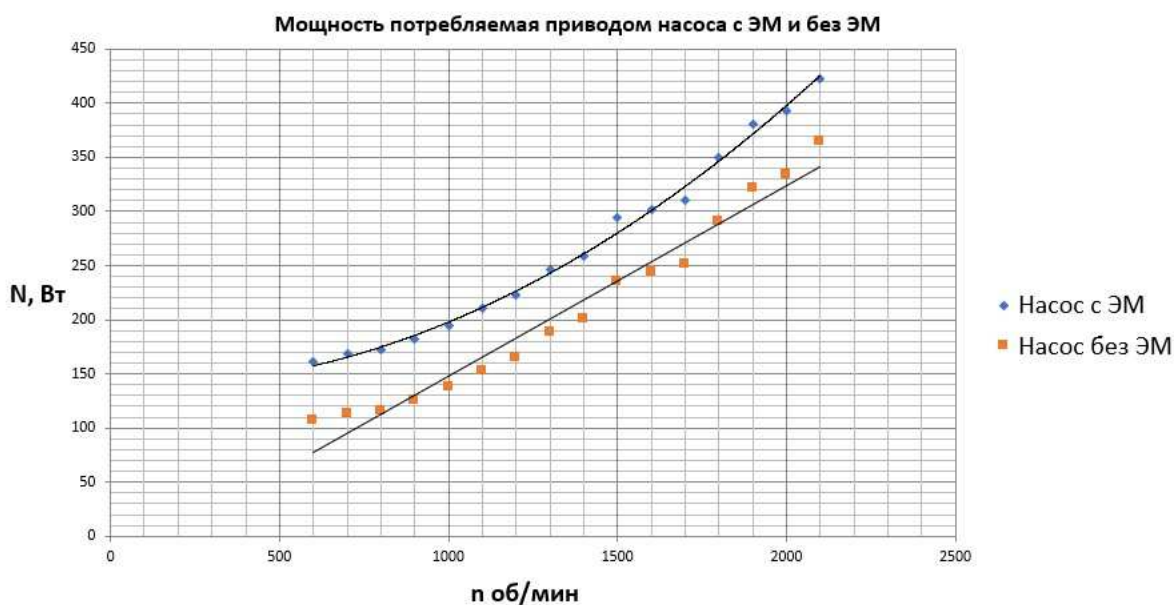


Рис. 16. Мощность насоса без электромагнитной муфты и сумма мощностей насоса и электромагнитной муфты

Насос с включенной электромагнитной муфтой постоянно потребляет немного больше мощности за счет работы электромагнитной муфты. Но такой привод позволяет полностью отключать насос, и в таком случае потребляемая мощность равна нулю.

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам испытаний расчетным путем определен эффект от предлагаемого технического решения. Ожидаемое изменение удельного эффективного расхода топлива при установке электромагнитной муфты в приводе насоса системы охлаждения судового двигателя 8ЧНСП13/14:

- электромагнитная муфта выключена — снижение на 0,5 г/кВт·ч;
- электромагнитная муфта включена — увеличение на 0,07 г/кВт·ч.

Перспективным направлением для дальнейших исследований является применение энергии отработавших газов для привода навешенных механизмов.

В лаборатории судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств АГТУ проектируется стенд с насосом системы охлаждения двигателя 4Ч 9/8,5 с приводом от турбины ТКР-7 (рис. 17).



Рис. 17. Стенд с турбонасосом системы охлаждения

Мощность устанавливаемых на двигатели для наддува турбин соответствует мощности навешенных механизмов, таких как насосы системы охлаждения, и их можно использовать для привода. Нерешенной проблемой является значительное несоответствие рабочих частот вращения механизмов [8 — 11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы:

- приведено описание безмоторного стенда, моделирующего систему охлаждения судового двигателя с приводом насоса через электромагнитную муфту;
- проведены испытания по определению потребляемой приводом мощности при изменении частоты вращения;
- определено, что установленная в приводе навешенного насоса электромагнитная муфта в выключенном состоянии обеспечивает снижение удельного эффективного расхода топлива на 0,5 г/кВт·ч, а во включенном увеличивает удельный эффективный расход топлива на 0,07 г/кВт·ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships (MEPC.377(80) adopted 7 July 2023). [Электронный ресурс] URL: <https://www.mardep.gov.hk/filemanager/en/share/msnote/pdf/msin2415anx1.pdf>.
2. 2016 Guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) (MEPC.282(70) adopted 28 October 2016). [Электронный ресурс] URL: [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282\(70\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282(70).pdf).
3. Kumarasubramanian R. Experimental investigation on the electromagnetic clutch water pump and pneumatic compressor for improving the efficiency of an engine / R. Kumarasubramanian, X. Goldwin, W.M. Nishanthi, R. Rajasekar // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2017. — Vol. 197. — P. 012072. — DOI 10.1088/1757-899X/197/1/012072.
4. Raja Subramanian V. A study of electromagnetic clutch water pump and compressor engine efficiency: An overview / V. Raja Subramanian, G.S. Nair // International Journal of Aquatic Science. — Vol 12, Issue 03 (Special Issue on Proceedings of International Conference on Materials Manufacturing and Nanotechnology, June 2021). — P. 536 — 540.
5. Krafft R. Electromagnetic water pump clutch: working principle, design strategies and applications for heavy-duty vehicles / R. Krafft, W. Faller, A. Wolf // SAE. Technical Paper No. 2007-01-4260, 2007. — DOI 10.4271/2007-01-4260.
6. Shin Y.H. Use of electromagnetic clutch water pumps in vehicle engine cooling systems to reduce fuel consumption / Y.H. Shin, S.Ch. Kim, M.S. Kim // Energy. — 2013. — Vol. 57. — P. 624 — 631. — DOI 10.1016/j.energy.2013.04.073.
7. Ханнанов М.Д. Расчетно-экспериментальная оценка механических потерь современного дизеля и исследование способов их снижения для обеспечения высокой топливной экономичности: дисс. ... канд. техн. наук / М.Д. Ханнанов; НАМИ. — М., 2023.
8. Жуков В.А. Перспективы совершенствования систем охлаждения судовых дизелей / В.А. Жуков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. — 2015. — № 4 (32). — С. 131 — 137.
9. Advanced thermal management of diesel engines. 2014. [Электронный ресурс] URL: https://www.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/2014_whitepaper_thermomanagement_en.pdf?sfvrsn=8 (дата обращения 21.05.2024).
10. Шурпяк В.К. Применение различных схем охлаждения забортных теплообменных аппаратов / В.К. Шурпяк, А.В. Рогозин, А.А. Михеева // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 78. — С. 155 — 171. EDN IHWAOE.
11. Королев В.И. Анализ применения естественной циркуляции охлаждающих сред в судовых реакторных установках / В.И. Королев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. — 2024. — Т. 16, № 4. — С. 538 — 552. — DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-4-538-552. — EDN AYBKJO.

REFERENCES

1. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships (MEPC.377(80) adopted 7 July 2023). URL: <https://www.mardep.gov.hk/filemanager/en/share/msnote/pdf/msin2415anx1.pdf>.
2. 2016 Guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) (MEPC.282(70) adopted 28 October 2016). URL: [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282\(70\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282(70).pdf).
3. Kumarasubramanian R., Goldwin X., Nishanthi W.M., Rajasekar R. Experimental investigation on the electromagnetic clutch water pump and pneumatic compressor for improving the efficiency of an engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 197. P. 012072. DOI 10.1088/1757-899X/197/1/012072.
4. Raja Subramanian V., Nair G.S. A study of electromagnetic clutch water pump and compressor engine efficiency: An overview. *International Journal of Aquatic Science*. Vol 12, Issue 03 (Special Issue on Proceedings of International Conference on Materials Manufacturing and Nanotechnology, June 2021). P. 536 — 540.
5. Krafft R., Faller W., Wolf A. Electromagnetic water pump clutch: working principle, design strategies and applications for heavy-duty vehicles. SAE. Technical Paper No. 2007-01-4260, 2007. DOI 10.4271/2007-01-4260.
6. Shin Y.H., Kim S.Ch., Kim M.S. Use of electromagnetic clutch water pumps in vehicle engine cooling systems to reduce fuel consumption. *Energy*. 2013. Vol. 57. P. 624 — 631. DOI 10.1016/j.energy.2013.04.073.
7. Khannanov M.D. Raschetno-eksperimental'naya otsenka mekhanicheskikh poter' sovremennogo dizelya i issledovanie sposobov ikh snizheniya dlya obespecheniya vysokoi toplivnoi ekonomichnosti [Computational-experimental assessment of mechanical losses of a modern diesel engine and study of methods for reducing them to ensure high fuel efficiency: PhD thesis] / Scientific Automotive Engines Institute (NAMI). Moscow, 2023.
8. Zhukov V.A. Outlook of improving of ship diesel engines cooling system. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2015. No. 4 (32). P. 131 — 137. (In Russ.)
9. Advanced thermal management of diesel engines. 2014. URL: https://www.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/2014_whitepaper_thermomanagement_en.pdf?sfvrsn=8 (accessed 21.05.2024).
10. Shurpyak V.K., Rogozin A.V., Mikheeva A.A. Application of various cooling schemes for outboard heat exchangers. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 78. P. 155 — 171. EDN IHWAOE. (In Russ.)
11. Korolev V.I. Analysis of the application of natural circulation of cooling media in shipboard reactor installations. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2024. Vol. 16. No. 4. P. 538 — 552. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-538-552. EDN AYBKJO. (In Russ.)

УДК 621.43.018.2
EDN OHQZNQ

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ПРИВОДАХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ДИЗЕЛЕЙ

А.В. Трифонов, канд. техн. наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1, e-mail: trifonov91@inbox.ru

А.А. Хмельницкая, канд. техн. наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1, e-mail: khmelnitskayaaa@mail.ru

Н.Е. Степанов, аспирант, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1, e-mail: nikita342.st@gmail.com

В статье проводится анализ современных методов снижения механических потерь в приводах вспомогательных механизмов дизельных двигателей, включая обзор российских и зарубежных исследований. Рассматриваются такие подходы, как использование электромагнитных муфт для регулирования работы насосов охлаждения, насосов с переменной производительностью и децентрализация приводов. Описаны разработки Астраханского государственного технического университета: экспериментальные стенды с вариаторами для плавного изменения частоты вращения насосов. Результаты испытаний демонстрируют снижение потребляемой мощности на 30 — 50 % (с 1000 Вт до 300 — 628 Вт), экономию топлива до 20 % и повышение термического КПД. Подчеркивается актуальность направления для повышения эффективности судовых двигателей и снижения выбросов.

Ключевые слова: механические потери, вспомогательные механизмы дизельного двигателя, дизельный двигатель, электромагнитная муфта.

Для цитирования: Трифонов А.В. Анализ методов снижения механических потерь в приводах вспомогательных механизмов дизелей / А.В. Трифонов, А.А. Хмельницкая, Н.Е. Степанов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 116 — 127. — EDN OHQZNQ.

ANALYSIS OF METHODS FOR REDUCING MECHANICAL LOSSES IN DRIVES OF AUXILIARY MECHANISMS OF DIESEL ENGINES

A.V. Trifonov, PhD, Associate Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: trifonov91@inbox.ru

A.A. Khmelnitskaya, PhD, Docent, Associate Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: khmelnitskayaaa@mail.ru

N.E. Stepanov, PhD student, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: nikita342.st@gmail.com

This article analyzes modern methods for reducing mechanical losses in auxiliary drives of diesel engines, including a review of Russian and international research. Approaches such as the use of electromagnetic clutches to regulate the operation of cooling pumps, variable-displacement pumps, and drive decentralization are considered. Developments at Astrakhan State Technical University are described, including experimental rigs with variators for smoothly changing the pump speed. Test results demonstrate a 30 — 50 % reduction in power consumption (from 1000 W to 300 — 628 W), fuel savings of up to 20 %, and an increase in thermal efficiency. The relevance of this approach for improving the efficiency of marine engines and reducing emissions is emphasized.

Keywords: mechanical losses, auxiliary mechanisms of a diesel engine, diesel engine, electromagnetic coupling.

For citation: Trifonov A.V., Khmelnitskaya A.A., Stepanov N.E. Analysis of methods for reducing mechanical losses in drives of auxiliary mechanisms of diesel engines. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 116 — 127. EDN OHQZNQ. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Снижение механических потерь во вспомогательных агрегатах — это прямой путь к повышению эффективности судовых двигателей внутреннего сгорания, снижению расхода топлива и выбросов парниковых газов.

Подходы к снижению механических потерь в приводе вспомогательных механизмов можно разделить на следующие группы:

- использование узлов с более низким трением в навешенных механизмах;
- использование механизмов с переменной производительностью в зависимости от потребностей двигателя (например, масляный насос с изменяемым рабочим объемом);
- отсоединение механизмов от коленчатого вала (децентрализация привода).

Проблемой снижения механических потерь на привод вспомогательных механизмов судовых двигателей внутреннего сгорания занимается большое количество исследователей. В данной работе приведен обзор зарубежных и российских исследований.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В работе [1] авторами представлено двухрежимное регулирование при помощи электромагнитной муфты. Обычно водяной насос в двигателе приводится в действие от коленчатого вала, что заставляет циркулировать воду для охлаждения. Циркуляция охлаждающей жидкости регулируется клапаном термостата. При этом водяной насос работает непрерывно, даже когда термостат закрыт. Использование электромагнитной муфты позволяет минимизировать работу водяного насоса вхолостую.

В работах [2, 3] были проведены испытания для оценки производительности водяного насоса и воздушного компрессора с электромагнитной муфтой при использовании на двигателе. На рис. 1 показана схема системы охлаждения на экспериментальном стенде.

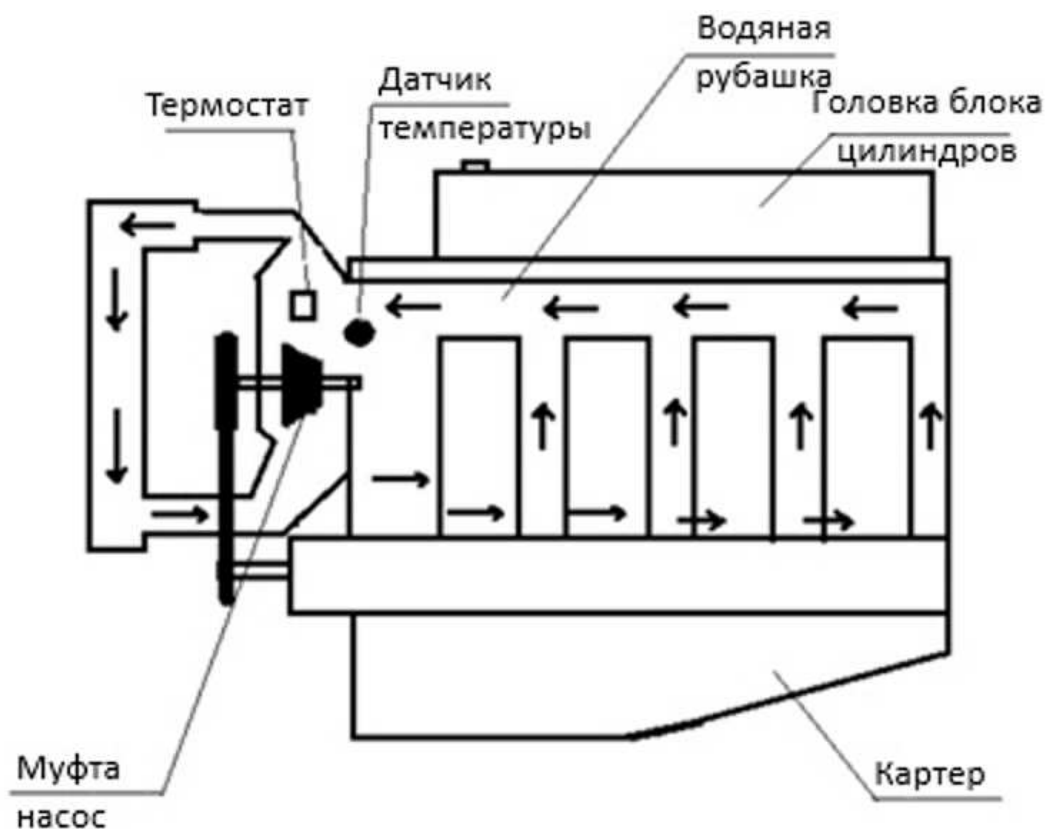


Рис. 1. Система охлаждения на экспериментальном стенде

Вместо закрытия и открытия термостата, авторы работы предлагают автоматическое включение и отключение электромагнитной муфты. На рис. 2 показана схема работы водяного насоса.



Рис. 2. Схема работы водяного насоса

Водяной насос и компрессор соединяются с коленчатым валом через ременную передачу. На всех режимах потребление электромагнитной муфты составило 20 Вт.

В работе [2] проводился эксперимент на бензиновом двигателе. Экспериментальная установка имеет в составе динамометр для определения нагрузки на двигателе. На рис. 3 на графике показана разница при работе между обычным и водяным насосом с электромагнитной муфтой на этапе холодного запуска.

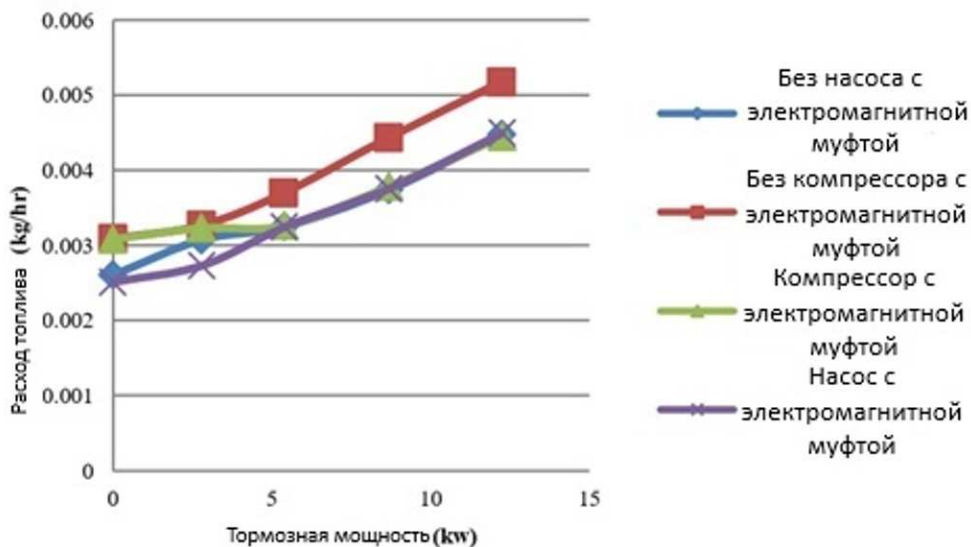


Рис. 3. Часовой расход топлива в зависимости от мощности

Из графика можно сделать вывод, что применение электромагнитной муфты снижает часовой расход топлива на режимах холостого хода и малой нагрузки на 20 %. На остальных режимах нет разницы по расходу топлива.

На рис. 4 показан полученный в результате испытаний график зависимости термического КПД от нагрузки на двигателе.

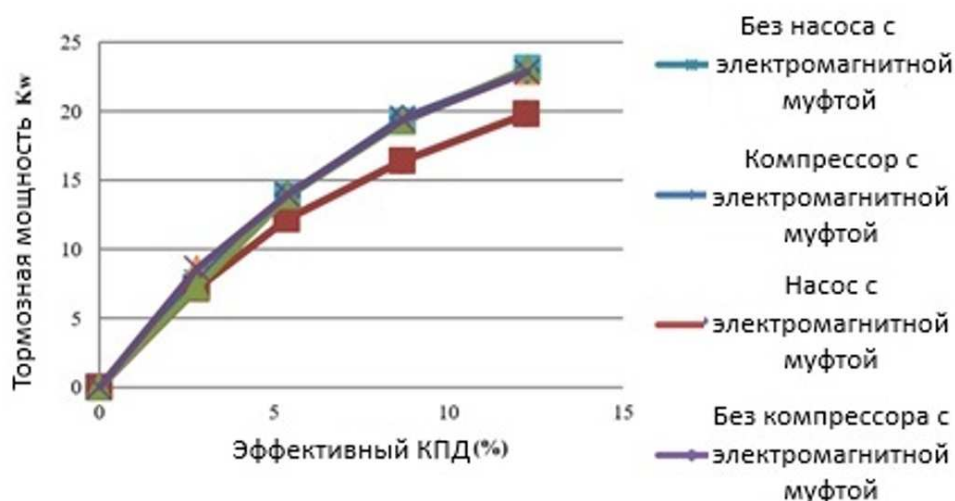


Рис. 4. Термический КПД в зависимости от мощности

Из рисунка видно, что термический КПД двигателя повысился в случае, когда была установлена электромагнитная муфта.

В работе [2] исследователи проводили испытания на моторном стенде. На рис. 5 представлен внешний вид моторного стенда, на котором в привод насоса забортной воды установлена электромагнитная муфта.

Стенд позволяет проводить снятие внешних скоростных характеристик. Жидкость в системе охлаждения проходит через радиатор.



Рис. 5. Моторный стенд

В работе [4] также предложен метод управления производительности насосов водяного охлаждения с электромагнитной муфтой. В работе приводилось сравнение двух типов насосов: с приводом через электромагнитную муфту и через двухскоростной планетарный редуктор (рис. 6).

а)



б)



Рис. 6. Насосы с электромагнитной муфтой (а) и насос с двухскоростным планетарным редуктором (б)

Испытания проводились на экспериментальном оборудовании, включая динамометрический стенд. Для данного исследования были изготовлены насосы водяного охлаждения для автомобильного дизельного двигателя среднего размера с рабочим объемом 2,9 л.

Для управления водяным насосом были установлены датчики температуры воды и масла, выбраны температуры для включения и выключения. Условия контроля были установлены, как показано в табл. 1, и разделены на два случая: А и В.

Таблица 1

Логика управления электромагнитной муфтой водяного насоса

Температура		Контролируемые величины		Состояние муфты	Состояние насоса
		Случай А (°C)	Случай В (°C)		
Охлаждающая жидкость на входе в двигатель	Высокая	> 94	> 110	Выкл	Вкл / максимальная частота вращения
	Низкая	< 89	< 105	Вкл	Выкл Off / минимальная частота вращения
Масло	Высокая	> 85	> 101	Выкл	Вкл / максимальная частота вращения
	Низкая	< 82	< 98	Вкл	Выкл / минимальная частота вращения

Значения температуры охлаждающей жидкости вблизи водяной рубашки цилиндра и температуры моторного масла вблизи масляной рубашки цилиндра были использованы в качестве управляющих переменных. Поскольку известно, что двигатель демонстрирует хорошую производительность при температуре около 105 — 110 °С, а при превышении этого температурного диапазона не работает должным образом из-за перегрева, эта температура была установлена как максимальная в случае В. Когда регулируемая температура достигает низкотемпературного режима и включается при подаче напряжения 12 В, скорость вращения крыльчатки снижается до минимального значения.

Двухскоростной водяной насос работает всегда, даже при отключении питания или неисправности сцепления, что обеспечивает стабильность работы системы охлаждения двигателя.

Логика управления задана в вариантах А и В для включения/выключения водяного насоса с электромагнитной муфтой. В случае с водяным насосом с двухскоростным редуктором контролировали только режим А, поскольку его максимальная управляющая температура была относительно низкой. На рис. 7 приведена схема, показывающая процесс управления в зависимости от температуры охлаждающей жидкости и моторного масла.

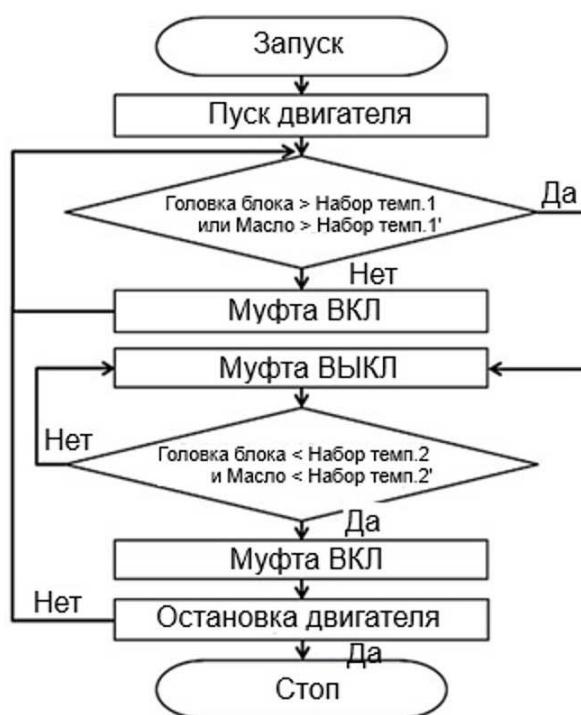


Рис. 7. Схема управления водяным насосом с электромагнитной муфтой

Чтобы использовать логику управления и контроллер, разработанный для оценки работы водяных насосов, были установлены датчики температуры в точках измерения температуры охлаждающей жидкости вблизи водяной рубашки цилиндра и температуры моторного масла вблизи масляного поддона. Использовались термопары типа К, имеющие диапазон измерений от 0 до 800 °С и погрешность 0,2 °С.

Испытания состояли из прогревочного теста и теста New European Driving Cycle (NEDC). Использовалось следующее оборудование: динамометр шасси (AVL, RPL1220) и газоанализатор (PIERBURG, AMA2000C) для оценки эффективности NEDC.

Для оценки эффективности испытываемое транспортное средство выдерживалось в камере с обычной температурой (25 °С) в течение более 6 часов. Испытание на прогрев проводилось путем измерения времени, необходимого для достижения температуры охлаждающей жидкости 80 °С после запуска двигателя. Тест NEDC состоит из циклов вождения ECE15 (часть 1) и EUDC (часть 2), которые используются в Корее для проверки топливной экономичности и выбросов выхлопных газов дизельными автомобилями. Общий пробег за весь цикл вождения составил 11,01 км, а время прохождения этого расстояния — 1180 секунд. Тест NEDC был повторен трижды для каждого из обычных и двух электромагнитных водяных насосов, чтобы определить надежность тестируемого транспортного средства, экономию топлива и выбросы CO₂.

Энергопотребление электромагнитной муфты в разработанном водяном насосе было проверено на двух образцах; испытания повторялись четыре раза для каждого образца. Результаты показали, что потребляемая мощность составила приблизительно 20 Вт практически при любых условиях эксплуатации, как показано в табл. 2.

Таблица 2

Потребляемая электромагнитной муфтой мощность

	Вариант 1				Вариант 2			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Входное напряжение (В)	12				12			
Потребляемый ток (А)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Потребляемая мощность (Вт)	19,9	20,1	20,0	20,0	20,1	19,9	20,1	20,2
Средняя мощность (Вт)	20,04				20,1			

Дополнительная мощность потреблялась в электромагнитном приводе электромагнитной муфты. Учитывая общую мощность двигателя внутреннего сгорания, дополнительное энергопотребление водяного насоса с электромагнитной муфтой сцепления составляет приемлемый метод повышения эффективности двигателя.

На рис. 8 показано сравнение изменений температуры охлаждающей жидкости в водяной рубашке цилиндра водяного насоса с двухскоростным редуктором и водяного насоса с электромагнитной муфтой. Эти два насоса также сравнивались с насосом обычного типа. Изменения температуры охлаждающей жидкости были определены с помощью тестов на прогрев двух насосов с муфтой сцепления. По этим результатам видно время срабатывания термостата для каждого водяного насоса и подтверждается сокращение времени прогрева.

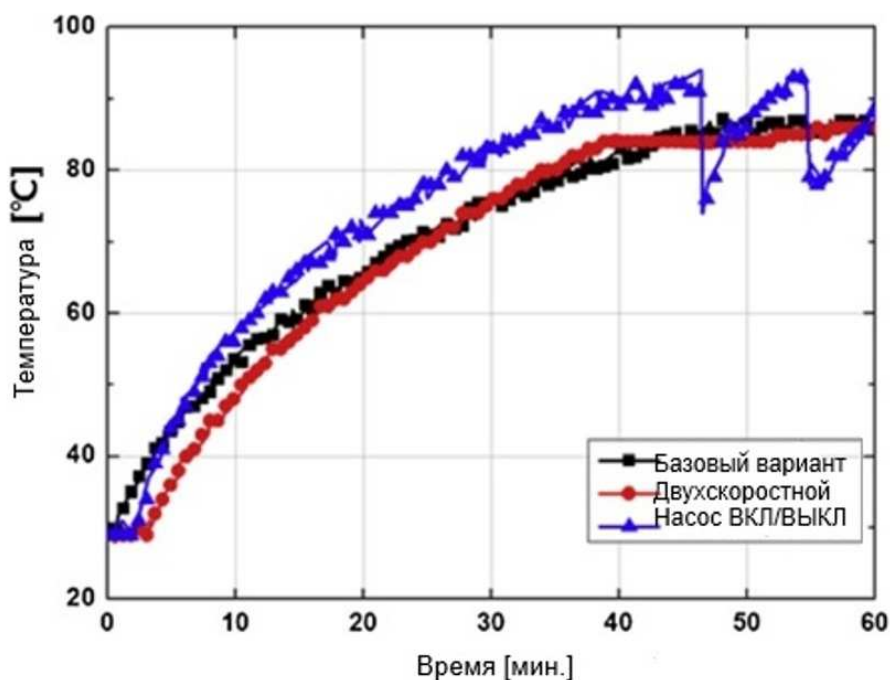


Рис. 8. Температура внутреннего контура при прогреве двигателя

Результаты испытаний на прогрев показывают, что время, затрачиваемое для нагрева воды насосами до температуры 80 °C было сокращено на 153 с и 516 с соответственно по сравнению с базовым водяным насосом. Это означает, что время прогрева насоса с двухскоростным редуктором и насоса с электромагнитной муфтой сократилось на 7,3 % и 24,7 % соответственно. Время, необходимое двигателю для прогрева до 80 °C, было пропорционально сокращено благодаря уменьшению скорости вращения рабочего колеса в зависимости от состояния его управления во время прогрева.

При запуске двигателя автомобиля можно снизить нагрузку на насос системы охлаждения, что приводит к снижению расхода топлива. Водяной насос с электромагнитной муфтой — это система охлаждения с высокой частотой вращения насоса и низким расходом охлаждающей жидкости, которая подходит для двигателей относительно малого и среднего размера, быстро изменяющих свою температуру. С другой стороны, водяной насос с двухскоростным редуктором подходит для двигателей большой мощности с высокой теплоемкостью благодаря системе охлаждения с низкой скоростью вращения насоса и высоким расходом охлаждающей жидкости.

На рис. 9 на графике представлена динамика изменения температуры охлаждающей жидкости в водяной рубашке цилиндра на протяжении испытательного цикла NEDC.

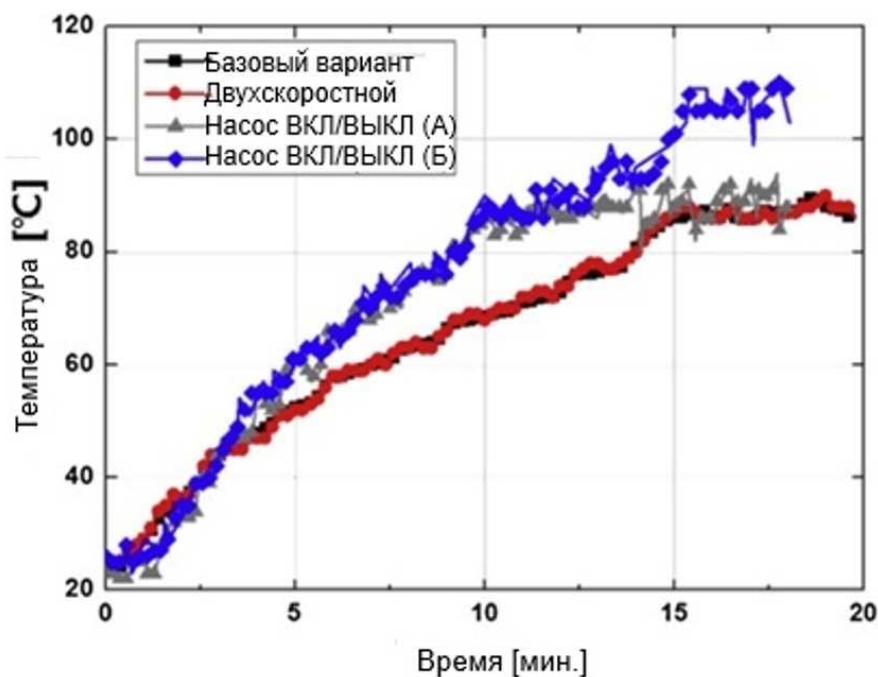


Рис. 9. Изменение температурных показателей в процессе испытаний

Насос с электромагнитной муфтой периодически включался и выключался, поддерживая температуру. Частота включений выше, чем была при испытании с прогревом.

Диапазон температур насоса с электромагнитной муфтой значительно шире, чем у базового водяного насоса, из-за эффекта прогрева на ранней стадии испытания.

В работе [5] приводятся результаты экспериментальных исследований дизельного двигателя КАМАЗ 910 (6ЧН13/15). На рис. 10 показана структура механических потерь исследуемого двигателя в процентном соотношении.

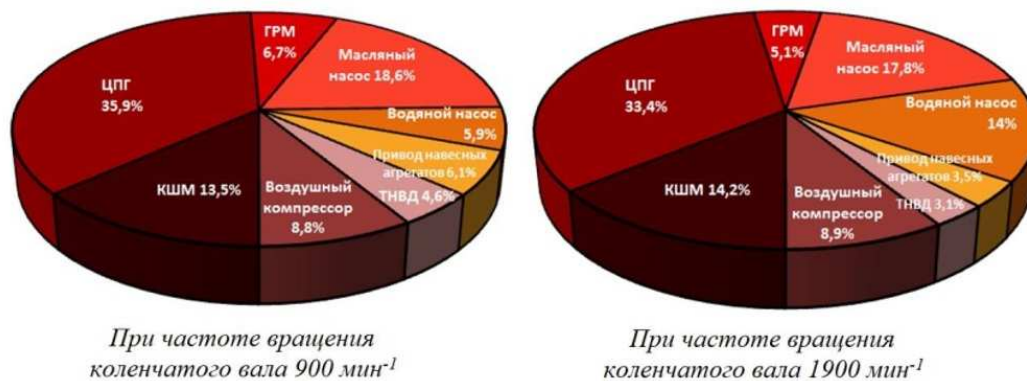


Рис. 10. Структура механических потерь в двигателе

Отмечается, что доля механических потерь на привод насоса системы охлаждения составляет 14 % при мощности 3,38 кВт, и на привод масляного насоса приходится 17,8 % при мощности 4,3 кВт.

В диссертации [5] предложена конструкция масляного насоса переменной производительности шиберного типа (рис. 11).

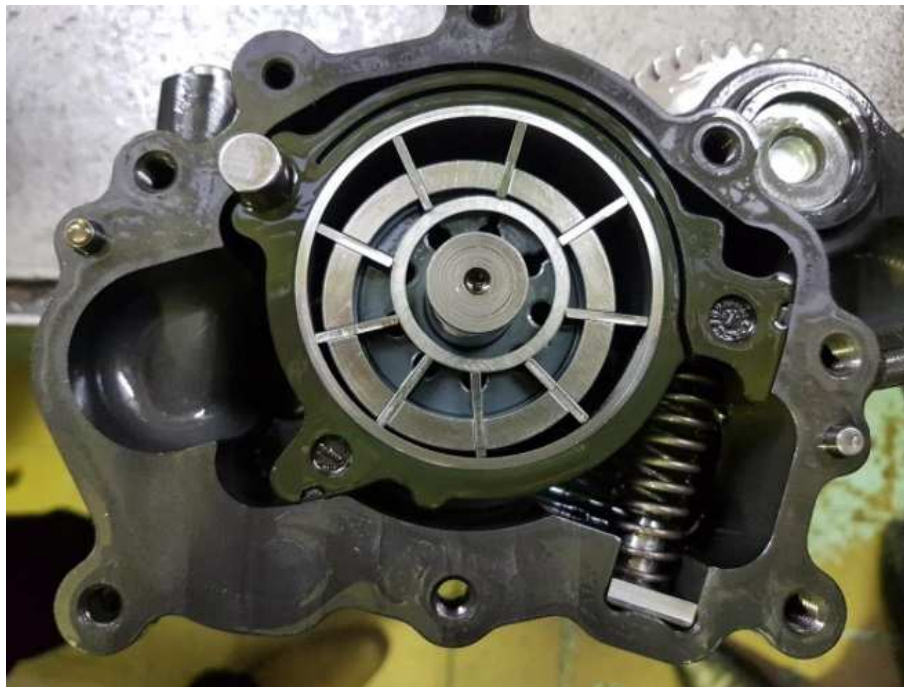


Рис. 11. Опытный образец насоса переменной производительности шиберного типа

Когда эксцентриситет (расстояние между центрами ротора и статора) максимален, разница в объеме между зоной всасывания и нагнетания наибольшая. Шиберы выдвигаются сильно, камеры имеют большой рабочий объем и насос перекачивает больше масла. Когда эксцентриситет равен нулю (центры ротора и статора совпадают), объем камер при вращении почти не меняется. Шиберы почти не выдвигаются, перекачки масла почти не происходит, производительность насоса стремится к нулю.

Проведенные на двигателе испытания показали, что мощность на привод насоса составила 3 кВт, что на 30 % ниже мощности на привод базового шестеренного насоса.

Внедрение всех предлагаемых в работе технических решений позволит добиться снижения мощности механических потерь двигателя 6ЧН13/15 на 2 кВт при частоте вращения коленчатого вала до 2000 об/мин, что даст снижение удельного эффективного расхода топлива 2,5 г/кВт·ч.

Развитием данного направления является применение на судах замкнутых систем охлаждения, в которых полностью исключается насос забортной воды [6 — 10]. При отказе от применения двухконтурных систем охлаждения вместо системы охлаждения забортной водой используются либо охладители пресной воды, расположенные в кингстонных ящиках, либо корпусные конструкции, охлаждаемые непосредственно забортной водой.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В лаборатории «Судовые вспомогательные механизмы систем и устройств» АГТУ разработан безмоторный экспериментальный стенд, моделирующий систему охлаждения судового двигателя 8ЧСП13/14, где для привода насоса применяется вариатор для возможности плавного регулирования частоты вращения [8, 9, 11] (рис. 12).



Рис. 12. Насос системы охлаждения с вариатором

Регулирование вариатором навесного насоса системы охлаждения судового дизеля обеспечивает поддержание постоянной температуры охлаждающей жидкости независимо от режима работы главного двигателя. Насос не совершает лишнюю работу по перекачке жидкости, снижая паразитную нагрузку на коленвал.

На основании экспериментальных исследований насоса построены зависимости его параметров от подачи (рис. 13).

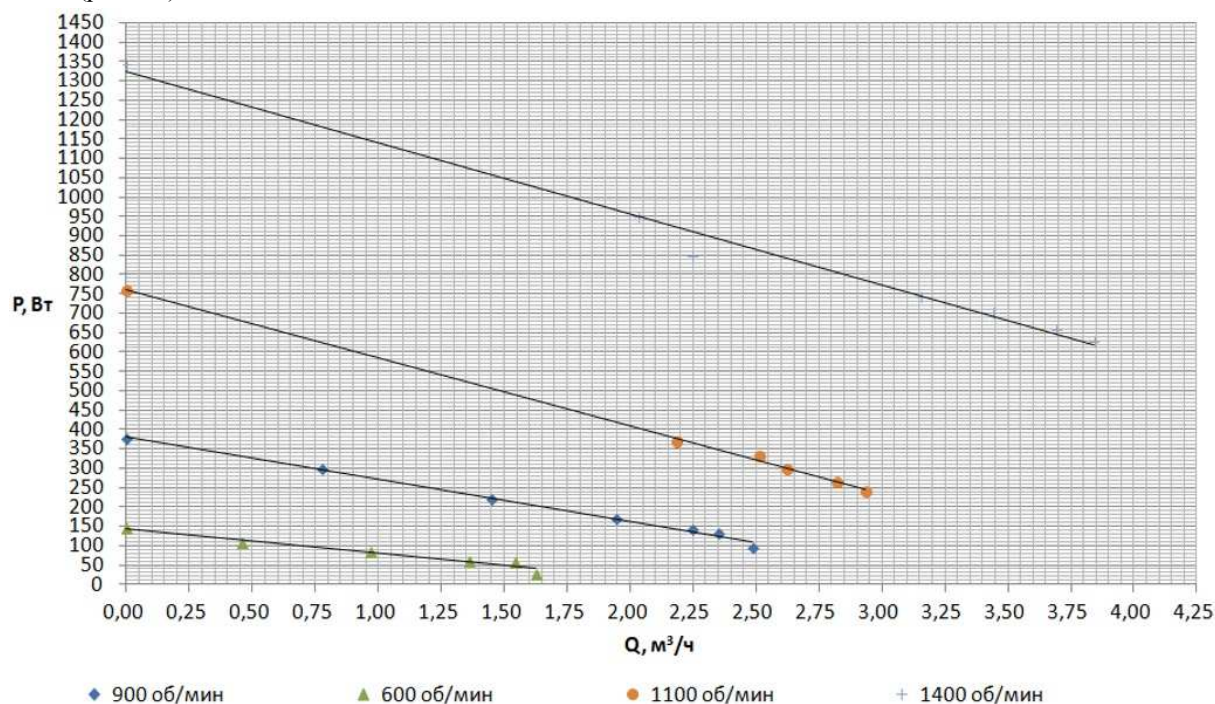


Рис. 13. Характеристика мощности насоса ВКС1/16

Потребляемая мощность насоса приблизительно пропорциональна частоте вращения в третьей степени. Насос работает не на полную мощность, а настолько, насколько это нужно в данный момент.

Работающий на номинальной частоте вращения 1500 об/мин насос ВКС1/16 потребляет 1000 Вт мощности. Из рисунка видно, что потребляемая мощность уменьшается до 300 Вт при частоте вращения 900 об/мин, что подтверждает энергоэффективность регулирования частоты вращения навешенных насосов забортной воды через вариатор.

В научной лаборатории «Судовые дизели» АГТУ для насоса системы охлаждения заборной воды двигателя Iveco 8041i06 также был установлен вариатор [6 — 8] (рис. 14).



Рис. 14. Привод насоса через вариатор

Проведены испытания прототипа установки с энергоэффективной системой охлаждения судового двигателя в лабораторных условиях. Частота вращения перед вариатором 1500 об/мин. Частота вращения после вариатора менялась в диапазоне 300 — 800 об/мин. Автоматическое изменение частоты вращения позволяет изменять расход теплоносителя и потребляемую приводом мощность. При испытаниях для охлаждения в заборном контуре использовалась вода с температурой 9 °С и 32 °С. Мощность, потребляемая приводом, определялась через крутящий момент и угловую скорость. Для измерения крутящего момента на валу перед вариатором были установлены тензорезисторы. При регулировании вариатором мощность изменялась в диапазоне 471 — 628 Вт.

Рассмотренные исследования показывают, что снижение механических потерь является актуальным направлением. Работа агрегатов системы охлаждения имеет достаточный резерв для улучшения. Учитывая наличие современных технологий, снижение потерь в данных узлах представляется возможным. Регулируемый привод навешенных механизмов дизелей позволяет подавать ровно столько охлаждающей среды, сколько нужно двигателю в данный момент, что сокращает паразитные потери.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы:

- произведен обзор российских и зарубежных исследований в области снижения механических потерь на навешенные механизмы дизелей (насосы пресной воды, насосы заборной воды, масляные насосы); в рассмотренных источниках авторами предлагается применение электромагнитных муфт для включения и выключения, насосов с регулируемой производительностью;
- определено, что полученные в исследованиях результаты подтверждают эффективность предлагаемых технических решений;
- приведено описание безмоторного стенда, моделирующего систему охлаждения судового двигателя с приводом насоса через вариатор;
- приведено описание моторного стенда с приводом насоса заборной воды через вариатор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kumarasubramanian R. Experimental investigation on the electromagnetic clutch water pump and pneumatic compressor for improving the efficiency of an engine / R. Kumarasubramanian, X. Goldwin, W.M. Nishanthi, R. Rajasekar // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — 2017. — Vol. 197. — P. 012072. — DOI 10.1088/1757-899X/197/1/012072.
2. Raja Subramanian V. A study of electromagnetic clutch water pump and compressor engine efficiency: An overview / V. Raja Subramanian, G.S. Nair // *International Journal of Aquatic Science*. — Vol 12, Issue 03 (Special Issue on Proceedings of International Conference on Materials Manufacturing and Nanotechnology, June 2021). — P. 536 — 540.
3. Krafft R. Electromagnetic water pump clutch: working principle, design strategies and applications for heavy-duty vehicles / R. Krafft, W. Faller, A. Wolf // *SAE. Technical Paper No. 2007-01-4260*, 2007. — DOI 10.4271/2007-01-4260.
4. Shin Y.H. Use of electromagnetic clutch water pumps in vehicle engine cooling systems to reduce fuel consumption / Y.H. Shin, S.Ch. Kim, M.S. Kim // *Energy*. — 2013. — Vol. 57. — P. 624 — 631. — DOI 10.1016/j.energy.2013.04.073.
5. Ханнанов М.Д. Расчетно-экспериментальная оценка механических потерь современного дизеля и исследование способов их снижения для обеспечения высокой топливной экономичности: дисс. ... канд. техн. наук / М.Д. Ханнанов; НАМИ. — М., 2023.
6. Макарьев Е.В. Стенд для теплосбалансных испытаний судовых ДВС / Е.В. Макарьев // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. — 2014. — № 5 (27). — С. 12 — 19.
7. Покусаев М.Н. Разработка системы охлаждения судовых малоразмерных дизелей, работающих при различных температурах забортной воды в условиях лаборатории / М.Н. Покусаев, А.В. Трифонов, В.А. Костыренко // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. — 2022. — № 2. — С. 51 — 57.
8. Патент на полезную модель RU 183697 U1. Система охлаждения судового двигателя: заявл. 10.11.2017, опубл. 01.10.2018, БИ № 28 / Покусаев М.Н., Трифонов А.В.; патентообладатель ФГБОУ ВО «АГТУ».
9. Покусаев М.Н. Ожидаемый экономический эффект при установке вариатора для насоса системы охлаждения главного двигателя / М.Н. Покусаев, А.В. Трифонов, Е.Г. Ильина // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. — 2020. — № 4. — С. 87 — 94.
10. Шурпяк В.К. Применение различных схем охлаждения забортных теплообменных аппаратов / В.К. Шурпяк, А.В. Рогозин, А.А. Михеева // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. — 2025. — № 78. — С. 155 — 171. EDN IHWAOE.
11. Кочергин В.И. Использование характеристик термодинамических процессов для оценки технического состояния дизельных энергетических установок / В.И. Кочергин, С.П. Глушков, Е.С. Зинченко // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. — 2024. — Т. 16, № 1. — С. 141 — 153. — DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-1-141-153. — EDN SNJEBX.

REFERENCES

1. Kumarasubramanian R., Goldwin X., Nishanthi W.M., Rajasekar R. Experimental investigation on the electromagnetic clutch water pump and pneumatic compressor for improving the efficiency of an engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 197. P. 012072. DOI 10.1088/1757-899X/197/1/012072.
2. Raja Subramanian V., Nair G.S. A study of electromagnetic clutch water pump and compressor engine efficiency: An overview. *International Journal of Aquatic Science*. Vol 12, Issue 03 (Special Issue on Proceedings of International Conference on Materials Manufacturing and Nanotechnology, June 2021). P. 536 — 540.
3. Krafft R., Faller W., Wolf A. Electromagnetic water pump clutch: working principle, design strategies and applications for heavy-duty vehicles. *SAE. Technical Paper No. 2007-01-4260*, 2007. DOI 10.4271/2007-01-4260.
4. Shin Y.H., Kim S.Ch., Kim M.S. Use of electromagnetic clutch water pumps in vehicle engine cooling systems to reduce fuel consumption. *Energy*. 2013. Vol. 57. P. 624 — 631. DOI 10.1016/j.energy.2013.04.073.
5. Khannanov M.D. Raschetno-eksperimental'naya otsenka mekhanicheskikh poter' sovremennogo dizelya i issledovanie sposobov ikh snizheniya dlya obespecheniya vysokoi toplivnoi ekonomichnosti [Computational-experimental assessment of mechanical losses of a modern diesel engine and study of methods for reducing them to ensure high fuel efficiency: PhD thesis] / Scientific Automotive Engines Institute (NAMI). Moscow, 2023.
6. Makar'ev E.V. Stand for thermal balance testing of ships internal combustion engines. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2014. No. 5 (27). P. 12 — 19. (In Russ.)
7. Pokusaev M.N., Trifonov A.V., Kostyrenko V.A. Developing cooling system for small-sized marine diesel engines operating at different seawater temperatures in laboratory conditions. *Vestnik of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2022. No. 2. P. 51 — 57. (In Russ.)
8. Patent for a utility model RU 183697 U1. Marine engine cooling system: appl. 10.11.2017, publ. 01.10.2018, bul. no. 28 / Pokusaev M.N., Trifonov A.V.; applicant Astrakhan State Technical University.
9. Pokusaev M.N., Trifonov A.V., Ilyina E.G. Expected economic effect after installing variator for main engine cooling system pump. *Vestnik of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. — 2020. — No. 4. — P. 87 — 94. (In Russ.)
10. Shurpyak V.K., Rogozin A.V., Mikheeva A.A. Application of various cooling schemes for outboard heat exchangers. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 78. P. 155 — 171. EDN IHWAOE. (In Russ.)
11. Kochergin V.I., Glushkov S.P., Zinchenko E.S. Using the thermodynamic processes features to assess the diesel power plants technical condition. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2024. Vol. 16, No. 1. P. 141 — 153. DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-1-141-153. EDN SNJEBX. (In Russ.)

УДК 629.12 + 628.16.06 + 681.5 + 681.12
EDN PFJRPR

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ГРУБОДИСПЕРСНЫХ ПРИМЕСЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ

М.Н. Покусаев, д-р техн. наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1, e-mail: pokusaevmn@mail.ru

А.Э. Харламова, аспирант, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1; ст. преп., Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 18, e-mail: annaharlamova.713@gmail.com

В.Г. Букин, д-р техн. наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1

И.Р. Муханов, вахтенный механик, ООО «Вимар Оффшор», 414000 Россия, Астрахань, ул. Урицкого, 20, офис 10, e-mail: ilmirmary2110@mail.ru

В статье описаны проблемы в работе внешнего контура системы охлаждения судовых энергетических установок и вспомогательного оборудования судов при навигации в условиях мелководных трасс Каспийской акватории и Волго-Каспийского судоходного морского канала. Разработана конструкция и выполнен монтаж лабораторного стенда очистки воды от механических взвесей гидроциклоном в лаборатории судовых котельных установок и автоматики кафедры эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства Астраханского государственного технического университета с решением задач автоматизации и контроля работы для обеспечения бесперебойного автоматического режима его работы. Выполнены лабораторные испытания разработанного стенда с использованием в качестве грубодисперсной примеси окатанного прокаленного кварцевого песка в исходной воде, подвергающейся очистке гидроциклоном. По результатам лабораторного исследования определена эффективность задержания шламособорником гидроциклона механических взвесей. Анализ экспериментальных и теоретических исследований научно-технической литературы позволил разработать начальную методику гидравлического и конструктивного расчета гидроциклонной камеры, позволяющая произвести расчеты гидроциклонов для судовой системы забортного контура системы охлаждения судна снабжения платформ «Атлантик Суппортер», а также составлена принципиальная схема модернизации забортного контура системы охлаждения данного судна.

Ключевые слова: система охлаждения, двухконтурная система охлаждения, гидроциклон, механические примеси, взвешенные вещества, центробежная сепарация.

Для цитирования: Покусаев М.Н. Разработка автоматизированного комплекса очистки воды от грубодисперсных примесей центробежной сепарацией / М.Н. Покусаев, А.Э. Харламова, В.Г. Букин, И.Р. Муханов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 128 — 142. — EDN PFJRPR.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED COMPLEX FOR WATER PURIFICATION FROM COARSE IMPURITIES BY CENTRIFUGAL SEPARATION

M.N. Pokusaev, DSc, Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: pokusaevmn@mail.ru

A.E. Kharlamova, PhD student, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1; Assistant Professor, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 18, e-mail: annaharlamova.713@gmail.com

V.G. Bukin, DSc, Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1

I.R. Mukhanov, Shift Mechanic, Vimar Offshore LLC, 414000 Russia, Astrakhan, Uriskogo ul., 20, room 10, e-mail: ilmirmary2110@mail.ru

In the work, the authors identified problems in the operation of the external circuit of the cooling system for marine power plants and auxiliary equipment for navigation in shallow-water routes of the Caspian Sea and the Volga-Caspian shipping Channel. The design and installation of a laboratory stand for water purification from mechanical suspensions by a hydrocyclone in the laboratory of shipboard boiler installations and automation of the Department of Operation of Water Transport and Industrial Fisheries of Astrakhan State Technical University was developed with the solution of automation and control tasks to ensure uninterrupted automatic operation. Laboratory tests of the developed stand were performed using rolled calcined quartz sand as a coarse impurity in the source water being treated with a hydrocyclone. According to the results of a laboratory study, the effectiveness of the sludge collector retention of a hydrocyclone of mechanical suspensions was determined. The analysis of experimental and theoretical studies of scientific and technical literature has allowed us to develop an initial methodology for the hydraulic and structural calculation of the hydrocyclone chamber, which makes it possible to calculate hydrocyclones for the ship's system of the outboard cooling circuit of the "Atlantic Supporter" platform supply vessel, as well as a schematic diagram of the modernization of the outboard cooling circuit of this vessel.

Keywords: cooling system, dual-circuit cooling system, hydrocyclone, mechanical impurities, suspended solids, centrifugal separation.

For citation: Pokusaev M.N., Kharlamova A.E., Bukin V.G., Mukhanov I.R. Development of an automated complex for water purification from coarse impurities by centrifugal separation. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 128 — 142. EDN PFJRPR. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Судовая система охлаждения предназначена для отвода теплоты от нагретых механизмов судовых энергетических установок (СЭУ), что позволяет поддерживать надежные эксплуатационные показатели СЭУ и обеспечивать их надежную работу [1 — 6]. Преимущественное распространение в судовой отрасли получила двухконтурная система охлаждения, рабочей средой внешнего контура которой является забортная вода [7]. В судостроительной промышленности в настоящее время эксплуатируется более 60 % морально устаревшего и физически изношенного водного транспорта, большинство устаревших капитальных сооружений нуждаются в реконструкции и глубокой модернизации [8]. К самым распространенным судам, осуществляющим навигацию в условиях мелководных трасс Волго-Каспийского морского судоходного канала и Каспийской акватории и имеющим двухконтурную систему охлаждения, во внешнем контуре которой прокачивается проточная забортная вода, относятся «Волгонепфть» (проекты 1577, 550А), «Волго-Балт» (проект 2-95), «Нефтерудовоз» (проект 1553, 1570), многофункциональный буксир «МБ» (проект ПЕ-65), толкач-буксир «ОТ» (проект 428-1, Н-3291) 1969 — 1984 гг. постройки [9]. Техническое устаревание основных фондов судов приведенных проектов, отсутствие современных систем очистки и утилизации отработанных вод, выбросов, низкий уровень организации рационального охлаждения СЭУ при навигации в условиях мелководья, выраженный в недостаточном количестве и качестве поступающей на охладитель забортной воды, и значительный риск человеческого фактора не обеспечивают высоких экономических, экологических и операционных показателей, о чем свидетельствуют аварийные случаи на море и внутренних водных путях [4, 10]. Проблемы эксплуатации судов смешанного района плавания река-море с двухконтурной системой охлаждения были выявлены в условиях мелководных трасс акватории [11] и связаны с быстрым и частым забиванием фильтрующих элементов кингстонов забортного контура системы охлаждения илом и нерастворимыми примесями (рис. 1, 2).



Рис. 1. Внешний вид фильтрующей ловушки дизель-генератора и главного двигателя судна снабжения платформ «Атлантик Суппортер» (фото из архива механика судна И.Р. Муханова)



Рис. 2. Состояние кожухотрубного теплообменного оборудования судна снабжения платформ «Атлантик Суппортер» при эксплуатации в акватории Северного Каспия (фото из архива механика судна И.Р. Муханова)

Со дна источника механические взвеси поступают в судовый теплообменник с забортной водой, минуя фильтрующие ловушки. Механическое воздействие грубодисперсной среды на пластинчатый теплообменник способствовало образованию на пластинах сквозных отверстий при навигации многофункционального аварийно-спасательного судна ледового класса «Mangystau» в северной части акватории Каспийского моря (рис. 3) [3].



Рис. 3. Повреждение пластин судового теплообменника Alfa Laval [3]

Применение бокскулеров в замкнутых контурах системы охлаждения получило широкое распространение в судовой практике [7]. Однако осуществление теплообмена при эксплуатации в мелководных трассах затрудняется в связи с обрастанием бокскулеров (рис. 4) [4, 12].



Рис. 4. Обрастание бокскулера системы охлаждения т/х «Петробалк 1» за период навигации судна в Азовском и Черном морях (фото из архива А.Э. Харламовой)

Улучшение качества используемой в системах охлаждения забортной воды очисткой ее от грубодисперсных примесей позволит решить указанные проблемы.

Фильтрация является самым распространенным методом механической очистки воды. Для его осуществления в настоящее время применяются разработки как отечественного, так и зарубежного исполнения: проекты промывных фильтров с механической загрузкой, самопромывных и дисковых фильтров конструкторского бюро АЦКБ, ООО «Гидра Фильтр», «РуссФильтр», фильтры-сепараторы производства ООО «Гидротермаль» (Н. Новгород) и многие другие, но лишь некоторые компании имеют положительный опыт внедрения своих разработок в судовые системы; фильтры тонкой очистки и самопромывные ведущих мировых производителей AlfaLaval, Schunemann, Dango & Diententhal, STF Filtros (представительства в РФ), ограничивших свою деятельность на неопределенный срок [13 — 21]. Стоит отметить, что, несмотря на низкую истираемость и высокий срок службы загрузочного материала фильтров, для их промывки после завершения фильтроцикла необходима очищенная вода, а в некоторых случаях и добавление обеззараживающих реагентов. В судовых условиях необходимо обеспечить аккумуляцию расчетных запасов промывных вод, объемы которых значительно возрастают при навигации водного транспорта по мелководным трассам. Применение большинства сетчатых и дисковых фильтров ограничено на исходные показатели взвешенных частиц в воде до 500 мг/л. В связи с этим предлагается рассмотреть возможность применения в контурах охлаждения СЭУ для очистки забортной воды гидроциклонов, не имеющих подвижных конструктивных элементов, загрузочного материала, подвергаемого периодической промывке или замене.

Целью исследования является разработка автоматизированного комплекса очистки воды от грубодисперсных примесей центробежной сепарацией.

Задачи исследования:

- разработка и монтаж основного и вспомогательного оборудования лабораторного стенда «Очистка воды от механических взвесей гидроциклоном»;
- выбор методики измерений, порядок проведения опытов;
- обработка результатов опытов;
- гидравлический и конструктивный расчет гидроциклонной камеры;
- перспективы применения гидроциклонов на судне ССП «Атлантик Суппортер» с целью модернизации заборного контура системы охлаждения на основе анализа полученных результатов лабораторных испытаний.

Объект исследования — заборный контур системы охлаждения СЭУ.

Предмет исследования — процесс удаления грубодисперсных взвесей из воды.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В лабораторном помещении АГТУ после выбора основного и вспомогательного оборудования был осуществлен монтаж лабораторного стенда по очистке заборной воды от механических примесей согласно разработанной технологической схеме (рис. 5).

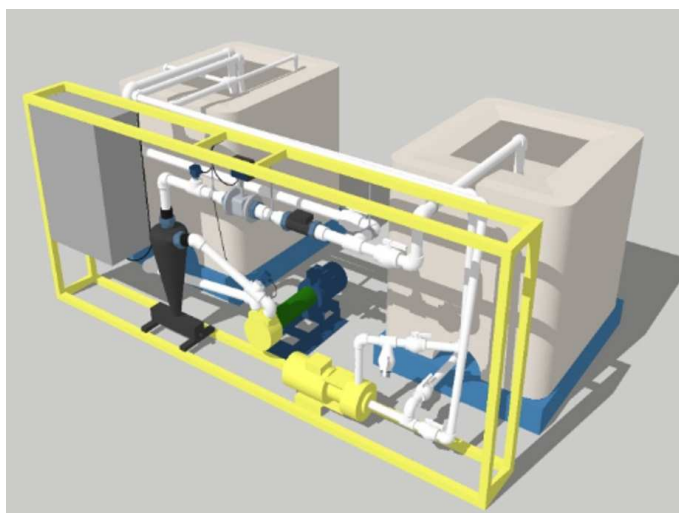


Рис. 5. Технологическая схема лабораторного стенда очистки воды от взвешенных частиц гидроциклоном

Составлена принципиальная схема разрабатываемого лабораторного стенда (рис. 6).

Для аккумуляции исходной и очищенной воды применены емкости полезным объемом 1000 л каждая. Подача воды в основной контур из емкости с исходной водой осуществлялась главным насосным агрегатом вихревого типа ВКС 1/16 с электродвигателем асинхронного типа фирмы «Уралэлектро» АДМ80В4У2. В контуре рециркуляции в качестве циркуляционного насоса использовался центробежный насос ЗЦН 25/11 для поддержания примесей в исходной воде во взвешенном состоянии. Водоочистным оборудованием от механических примесей принят гидроциклон, принцип работы которого основан на центробежной силе. Вода подается в гидроциклон по касательной к стенке циклона, тем самым создавая вихревой поток жидкости внутри аппарата. Из-за разности плотностей воды и взвеси, которая в ней содержится, последняя скапливается на стенках гидроциклона и стремится к основанию, где расположен дренажный клапан для очистки циклона и шламособорник для сбора задержанного осадка.

Для решения задач автоматизации и контроля работы лабораторного стенда использовался следующий комплекс средств и оборудования: датчик термосопротивления с коммутационной головкой «ОВЕН» ДТС515-50М.В3.60; датчик давления «ОВЕН» ПД100 ДИ 0,4-371-0,5; электромагнитный расходомер ВСЭ-М БИ ДУ32; счетчик электронный трехфазный «Энергомера» СЕ303 R33 543-JAZ; блок питания «ОВЕН» БП15Б-Д2; аналоговый модуль МВ110-224.8А; преобразователь интерфейса «ОВЕН» АС4; HF Elfin-EW11A последовательный порт RS485 для устройства Wi-Fi.

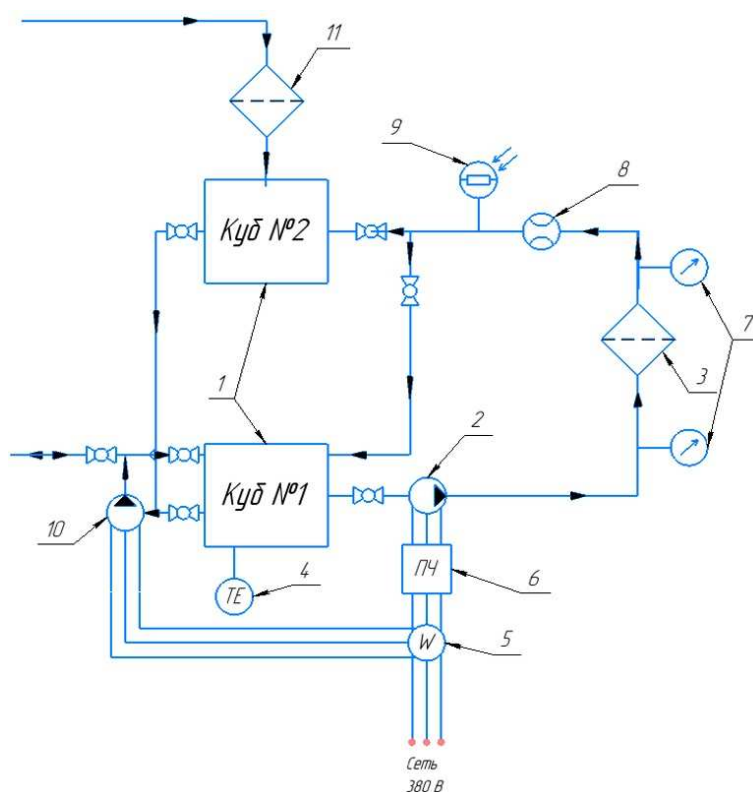


Рис. 6. Принципиальная схема лабораторного стенда очистки заборной воды от взвешенных частиц:
 1 — емкости исходной и очищенной воды; 2 — вихревой насос с электродвигателем асинхронного типа; 3 — гидрокiclон;
 4 — датчик температуры погружного типа; 5 — счетчик электронный трехфазный; 6 — частотный преобразователь;
 7 — датчик давления; 8 — электромагнитный расходомер; 9 — проточный мутномер; 10 — насос центробежный;
 11 — механический фильтр

Преобразователи давления установлены в магистральный трубопровод основного контура потока воды перед входным и после сливного патрубка гидрокiclона (рис. 7а, б).

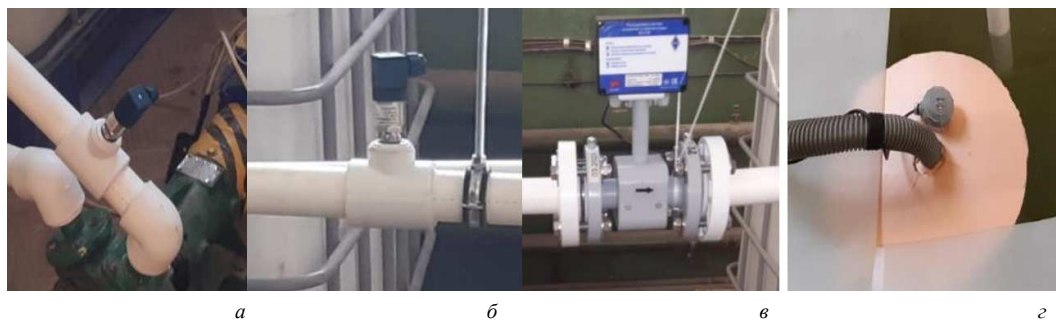


Рис. 7. Установка приборной измерительной базы в магистраль основного контура потока воды:
 а, б датчики давления «ОВЕН» ПД100 ДИ 0,4-371-0,5 до и после гидрокiclона; в — электромагнитный расходомер ВСЭ-М БИ ДУ32;
 г — преобразователь термосопротивления «ОВЕН» ДТС515-50М.В3.60

Фланцевым соединением на основной магистрали установлен электромагнитный расходомер (рис. 7в). Преобразователь термосопротивления с коммутационной головкой закреплен на поплавокковой части всасывающего гофрированного патрубка второго контура рециркуляции воды (рис. 7г). Выходы каждого датчика с четырехпарным LAN CABEL с медными витыми парами выведены в электрический щит установки (рис. 8).

Монтаж электрической части производился в следующем порядке. От автоматического выключателя ИЕК на 32 А и 400 В три фазы при помощи жил от кабеля ВВГнг-LS 5 × 4 отводятся к электронному счетчику Sinotimer RS485 Modbus по схеме, представленной на рис. 9.

От счетчика согласно схеме (рис. 9) производится запитывание последующих автоматических выключателей: ИЕК трехполюсный на 10 А; трехполюсный ЕКФ 10 А; два ЕКФ 6 А однополюсных с использованием однофазной соединительной шины (рис. 10).

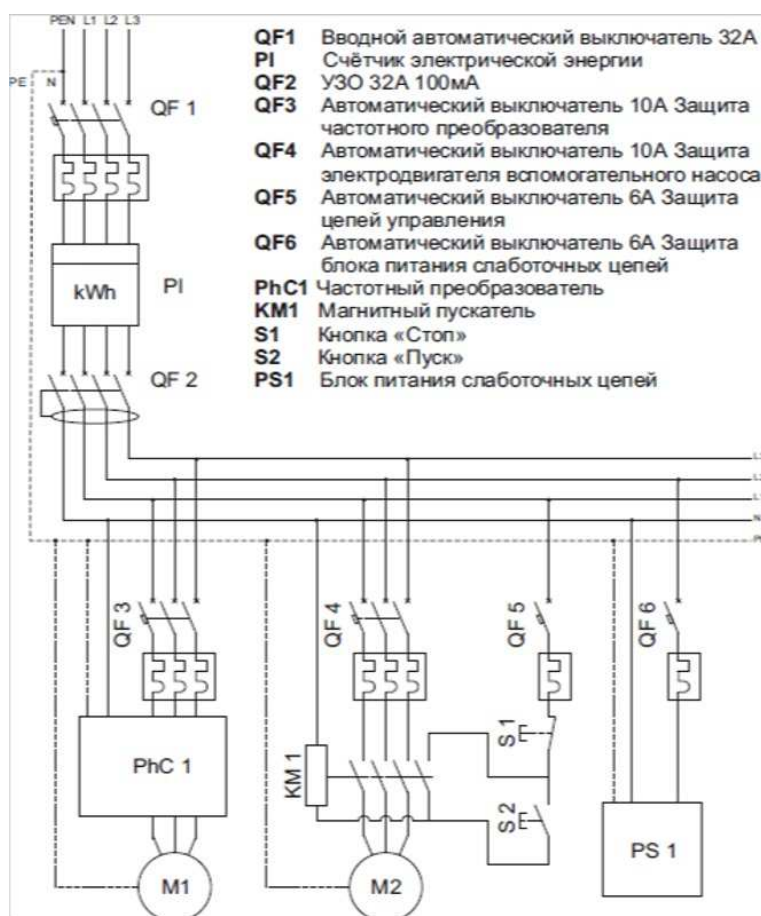


Рис. 8. Электрическая схема стенда

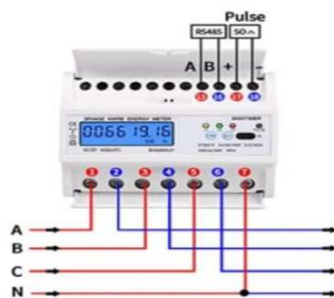


Рис. 9. Схема подключения счетчика «Sinotimer» RS485 Modbus



Рис. 10. Подключение электрического щита лабораторного стенда

От данных автоматических выключателей питание подается в следующем порядке:

- от автоматического выключателя IEK трехполюсного на 10 А питание подается на частотный трехфазный преобразователь Elhart EMD-MINI — 022Т, 2,2 кВт, 380 В с последующим запитыванием от него вихревого насоса ВКС 1/16 А;
- от автоматического выключателя ЕКФ 10 А питание подается на контактор IEK 12 А 230 В КМИ-11210 для дальнейшего запитывания от него центробежного насоса ЗЦН 25/11.

Далее произведено крепление кнопки управления IEK «пуск-стоп» АРВВ-22N и сигнальных ламп IEK желтого цвета AD22DS (рис. 11).

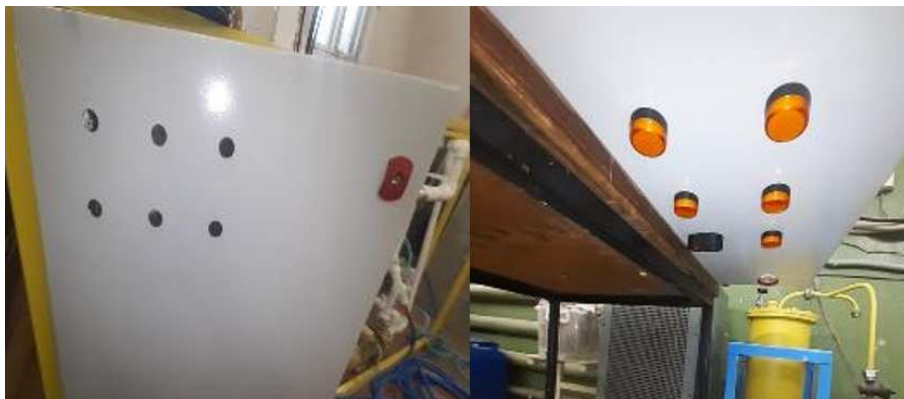


Рис. 11. Монтаж кнопки управления IEK «пуск-стоп» АРВВ-22N и сигнальных ламп IEK желтого цвета AD22DS

Параллельно с подключением индикации и кнопок управления производилась работа с прокладыванием проводов от центробежного и вихревого насоса в ПВХ-гофру диаметром 20 мм с последующим креплением к станине стенда и выводом в электрический щит. При подаче питания на автоматические выключатели загорается верхний ряд индикаторных ламп. Далее подключается к питанию центробежный насос. Во время пуска при помощи кнопки IEK «пуск-стоп» АРВВ-22N центробежного насоса загорается лампа индикации на нижнем ряду, как и при пуске вихревого насоса через частотный преобразователь (рис. 12).

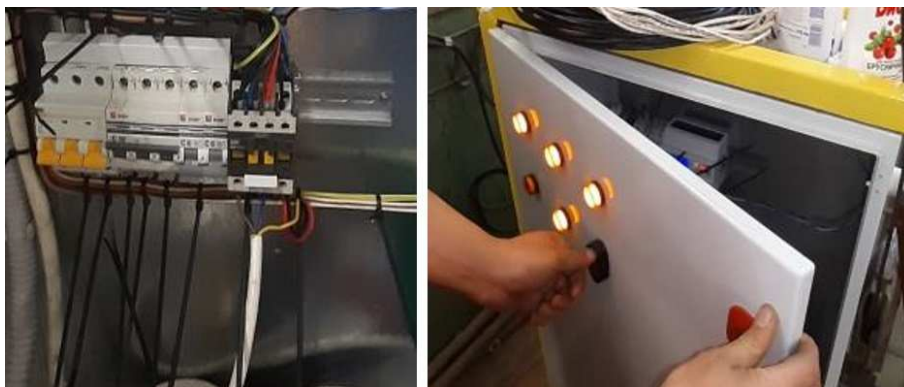


Рис. 12. Срабатывание индикации при пуске центробежного насоса

После настройки частотного преобразователя Elhart EMD-MINI — 022Т произведено подключение вихревого насоса и тестовые пуски лабораторного стенда для проверки работоспособности подключения (рис. 13).

Далее было смонтировано КЭАЗ УЗО без защиты от сверхтоков OptiDin DM63-4340-AC-4,5-УХЛ4 (4P, 40, 100 mA) и шина на DIN-рейку в корпусе (кросс-модуль) 4 × 7 3L+PEN 081-06-04/081-06-004 HLT (рис. 14a).

Для сбора данных и удаленного управления в электрический щит установлен блок питания «ОВЕН» БП15Б-Д2 (рис. 14б), питающий аналоговый модуль MB110-224.8A и Wi-Fi-модуль HF Elfin-EW11A. Аналоговый модуль, получая питание 24 В, измеряет сигналы, преобразует их в физические величины и передает по интерфейсу RS-485. Беспроводной модуль, подключенный к преобразователю «ОВЕН» AC4, обеспечивает передачу этих данных по Wi-Fi. Такая конфигурация позволяет использовать ПК для согласования измерительной базы со SCADA-системой [22] как по проводному USB-соединению, так и по беспроводному каналу.

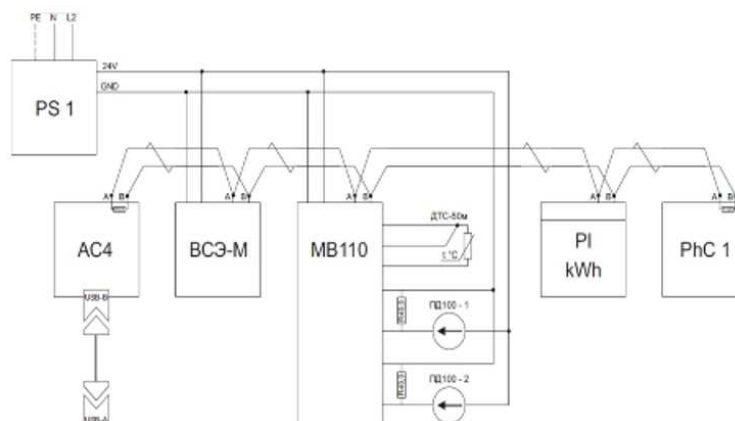


Рис. 13. Проверка работоспособности системы после электромонтажа



Рис. 14. Монтаж электрической части: а — УЗО и нулевой DIN-рейки; б — блока питания

После монтажа электрической части была разработана схема подключения средств автоматики (рис. 15) и осуществлена интеграция системы с программным обеспечением Simple-SCADA (рис. 16). Функционал программного обеспечения включает сбор, обработку и архивирование данных, а также циклическое управление основным и вспомогательным оборудованием стенда в режиме реального времени.



- | | |
|----------------|---|
| PS1 | Блок питания слаботочных цепей |
| AC4 | Преобразователь интерфейсов RS485-USB |
| BC3-M | Электромагнитный расходомер |
| MB110 | Модуль аналогового ввода |
| PI | Счётчик электрической энергии |
| PhC1 | Частотный преобразователь |
| ДТС-50м | Термосопротивление с медным ЧЭ |
| ПД100 | Преобразователь давления 0-0.4МПа, 4-20мА |

Рис. 15. Схема подключения средств автоматики стенда

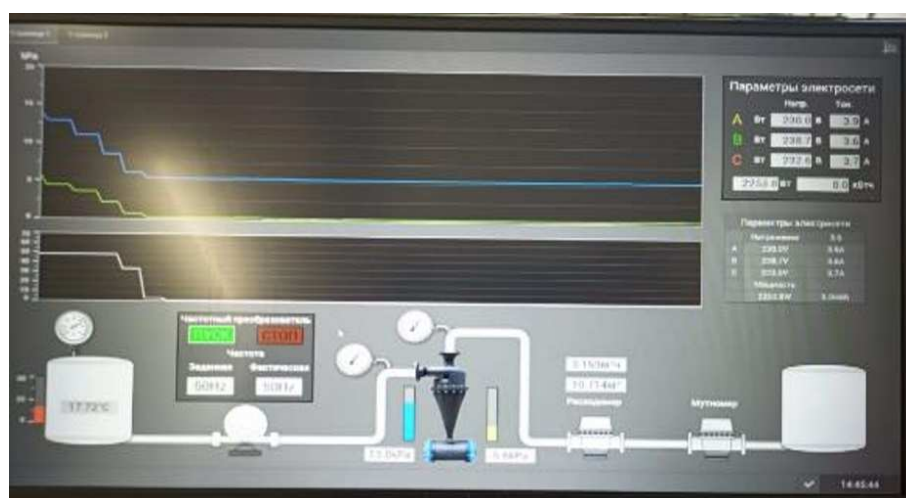


Рис. 16. Реализация проекта лабораторного стенда в системе Simple-SCADA

После завершения монтажа основного оборудования и систем автоматизации лабораторного стенда для очистки воды гидроциклоном был разработан порядок проведения эксперимента. В качестве рабочей среды используется водопроводная вода с добавлением механической взвеси. Состав и гранулометрический размер взвеси приняты на основе анализа технической документации по обследованию акватории Северного Каспия (месторождение Кашаган) и инженерно-геологических изысканий Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКСМК), выполненных лабораторией ООО «ПСФ «ГЕО экспресс» (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав грунтов ВКСМК

Точки отбора	км	Интервал опробования, м	Гранулометрический состав по фракциям, %							
			Песчаные							Глинистые
			1 — 0,5	0,5 — 0,25	0,25 — 0,1	0,1 — 0,05	0,05 — 0,01	0,01 — 0,005	Менее 0,005	
390	130 — 188	0 — 6,2	0,1 — 2,1	0,1 — 18,4	0,2 — 90,4	0,2 — 69,1	0,1 — 47,5	0,1 — 22,1	0,2 — 100	

На основании ведомостей определения физико-механических характеристик грунтовых пород крупно-дисперсной механической взвесью, добавляемой в исходную воду при выполнении лабораторных испытаний на разрабатываемом стенде, принят окатанный прокаленный кварцевый песок (ГОСТ Р 51641-2000) гранулометрическим размером взвеси 0,1 — 3 мм (табл. 2).

Таблица 2

Гранулометрический размер и концентрация взвеси

№ опыта	Гранулометрический размер, мм	Концентрация, мг/л
1	0,1 — 0,3	660
2	0,1 — 0,3	1500
3	0,5 — 1	1500
4	1 — 3	1500
5	0,1 — 0,3	4000

Принятая концентрация взвешенных веществ в исходных пробах воды при проведении опытов обоснована результатом оценки качества воды Каспийской акватории, полученным Государственным центром агрохимической службы «Астраханский», в ведомости которого концентрация взвешенных веществ в анализируемом образце составляла 658 мг/л. Верхний порог концентрации взвешенных веществ 4000 мг/л принят для исследования эффективности работы гидроциклона при максимальной нагрузке.

Определен порядок проведения опытов. Модельные объемы 1000 л водопроводной воды, предварительно очищенной от примесей одноступенчатым механическим фильтром АБФ-20ББ-ПР11, аккумулировались в емкости исходной воды, куда подавалась грубодисперсная взвесь заданной концентрации. Для снижения седиментации взвеси в емкости под действием силы тяжести центробежным насосом второго контура

непрерывно осуществлялась объемная рециркуляция воды через систему перфорированных трубопроводов, проложенных вдоль стенок по днищу емкости. С помощью кнопки «пуск» щита управления производился запуск вихревого насоса основного контура, и в программе Simple-SCADA с помощью частотного преобразователя задавался номинальный режим его работы при частоте 50 Гц. При движении потока жидкости по магистральному трубопроводу производился замер основных гидравлических параметров: расхода и давления в системе до и после гидроциклона. Очистка воды от механических примесей производилась с помощью гидроциклона, после чего очищенная вода направлялась в емкость очищенной воды. Контроль эффективности очистки проводился путем отбора проб исходной и очищенной воды и последующего анализа содержания взвешенных частиц в сертифицированной лаборатории ГЦАС «Астраханский».

По окончании каждого опыта производилась промывка шламовой емкости гидроциклона для определения количества сепарированной фракции методом сушки и контрольного взвешивания задержанной взвеси. Определялась эффективность работы гидроциклона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Интеграция автоматизированной системы с программным обеспечением Simple-SCADA позволила в режиме реального времени в процессе проведения всех этапов эксперимента осуществлять сбор, обработку, визуализацию и архивирование показаний преобразователей температуры и давления в системе до и после гидроциклона, а также расходомера, частотного преобразователя и счетчика потребляемой электроэнергии в период работы экспериментального стенда (рис. 17).

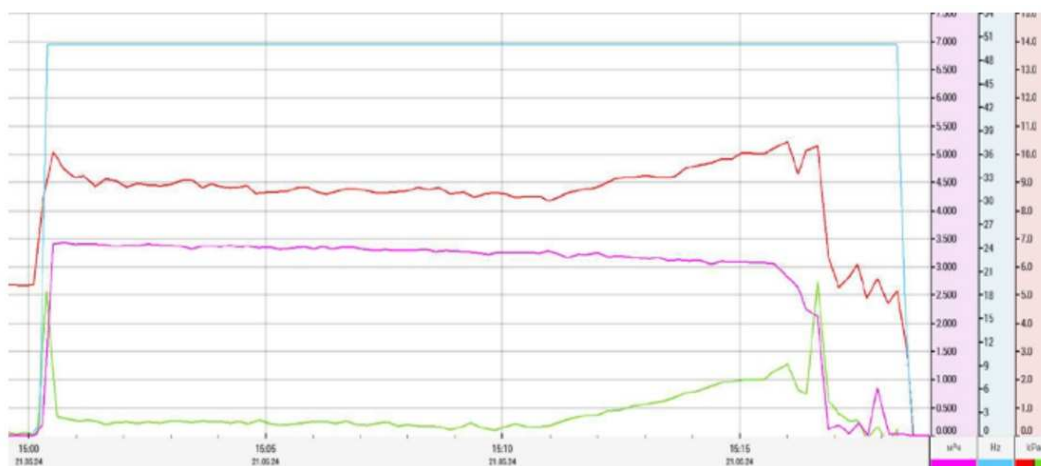


Рис. 17. Показания измерительных приборов при проведении опыта № 1 на фракции размерностью 0,1 — 0,3 мм концентрацией в исходной воде 660 мг/л: давления P (кПа) до и после гидроциклона, расхода Q (м³/ч), частоты нагнетания (Гц)

Показания физических параметров, определенных в процессе экспериментов, и необходимых для выполнения гидравлического расчета гидроциклонной камеры, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты показаний датчиков при проведении опытов

№ опыта	Время, мин	Частота, Гц	Давление до гидроциклона, КПа	Давление после гидроциклона, КПа	Расход воды, м³/ч	Температура воды, °С	Энергопотребление, кВт·ч
1	20	50	8,7	0,8	3,25	18,95	8,4
2	20	50	9,4	0,9	3,3	17,91	9,6
3	20	50	9,2	1	3,4	17,73	10,8
4	20	50	13,3	5,4	3,5	18,13	12,5
5	20	50	9,8	1,4	3,5	18,12	13,1

В табл. 4 представлены протоколы результатов лабораторного анализа, отражающие массовую концентрацию взвешенных частиц в пробах воды после каждого этапа центробежной сепарации.

Таблица 4

Результаты анализа воды после очистки на взвешенные вещества

№ опыта	Размер механической примеси (кварцевого песка), мм	Концентрация взвешенных веществ в исходной воде (до очистки), мг/л	Концентрация взвешенных веществ (после очистки), мг/л	Эффективность очистки (задержания взвеси), %
1	0,1 — 0,3	660	10,2	98,4
2	0,1 — 0,3	1500	3,2	99,8
3	0,5 — 1	1500	10,1	99,3
4	0,1 — 0,3	4000	22,1	99,4

Пять проб образцов шлама в химической лаборатории после просушивания в сушильном шкафу были взвешены для определения чистой массы задержанной гидроциклоном взвеси. Полученные результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Гравиметрическое определение взвешенных веществ

№ опыта	Размер взвеси (кварцевого песка), мм	Концентрация кварцевого песка в исходной воде, мг/л	Вес мокрой взвеси (задержанной шламособорником), г	Вес сухой взвеси, г	Эффективность очистки, %
1	0,1 — 0,3	660	612,92	529,75	80
2	0,1 — 0,3	1500	1538,32	1280,24	85
3	0,5 — 1	1500	1420,98	1192,1	79
4	1 — 3	1500	1694,37	1500	100
5	0,1 — 0,3	4000	3168	2585,16	65

Представленные в табл. 6 данные указывают на высокую эффективность сепарации кварцевого песка от воды гидроциклоном — более 80 %. По результатам проведения опыта № 4 эффективность, достигающая 100 %, объясняется прямой подачей образцов взвесей размерностью 1 — 3 мм непосредственно во всасывающую магистраль основного контура.

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обзора и анализа научно-технической литературы с целью выполнения гидравлического и конструктивного расчета гидроциклонной камеры приняты методики, изложенные в работе авторов [23, 24]. На основании рекомендаций правил классификации и постройки морских судов [25] была составлена принципиальная схема модернизации забортного контура ССП «Атлантик Суппортер» (рис. 18) и предложено место монтажа гидроциклонных установок для главного двигателя между 77-м и 82-м шпангоутом, вблизи насосов забортного контура главного двигателя (ГД), и для дизель-генераторов (ДГ) и вспомогательного оборудования между 86-м и 88-м шпангоутами, вблизи насосов забортного контура дизель-генераторов (рис. 19).

Установка гидроциклона (рис. 19а) возможна и на уровне сланей, и с возможностью углубления на 50 см в подсланевое пространство, так как именно в этом месте проложена только балластная труба диаметром 220 мм. Общая высота гидроциклонной установки с учетом монтажа с углублением в подсланевое пространство составит 1340 мм. Установка гидроциклона (рис. 19б) возможна только на уровне сланей, так как в этом месте проложена арматура пресного контура водоснабжения судна с выводом на два насоса гидрофора. Общая высота гидроциклона без штатного шламособорника составляет 1175 мм, что позволит произвести установку гидроциклонов с небольшой доработкой шламособорника по высоте.

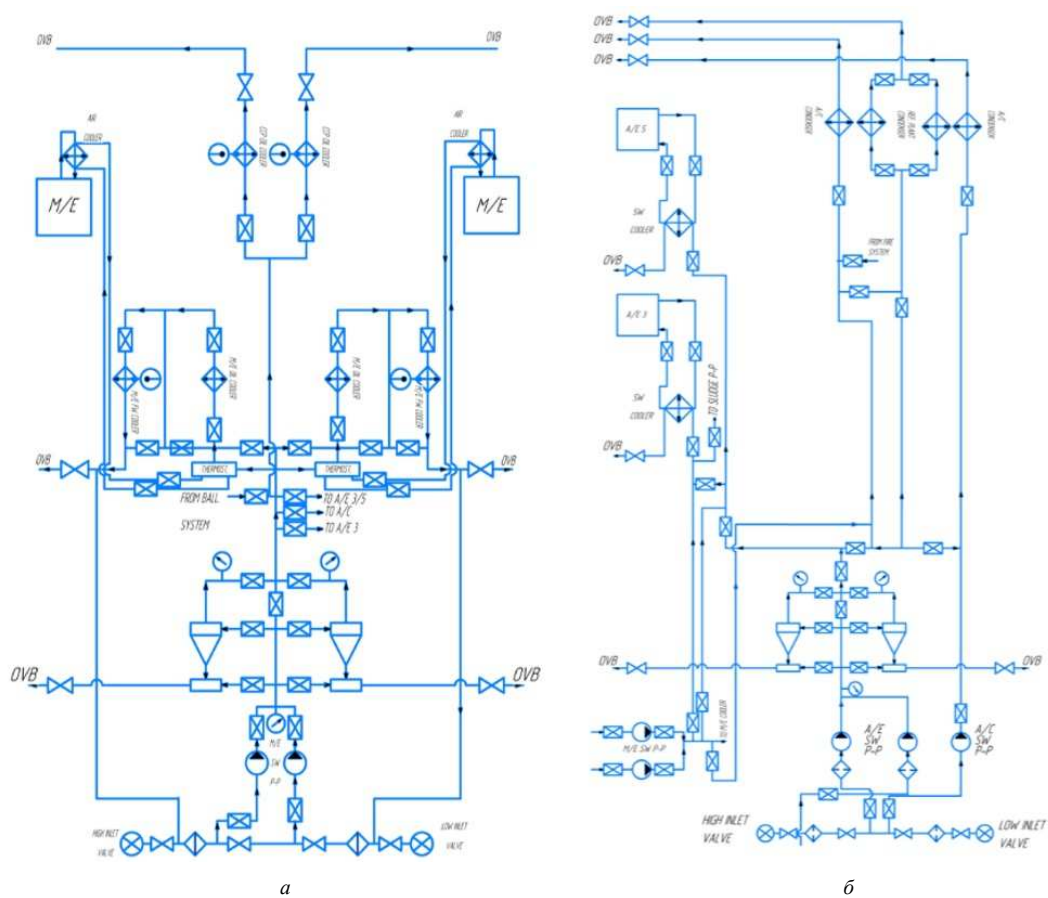


Рис. 18. Принципиальная схема модернизации заборного контура ССП «Атлантик Суппортер»: а — главного двигателя; б — дизель-генераторов и вспомогательного оборудования

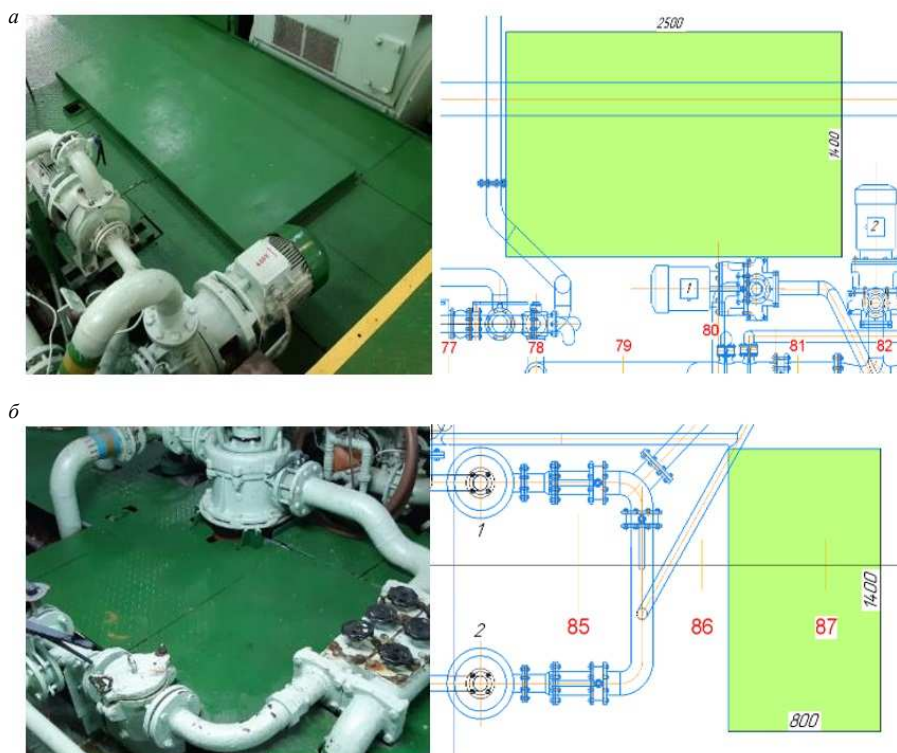


Рис. 19. Предполагаемое место установки гидроциклонов: а — для ГД; б — для ДГ; 1 — основной насос; 2 — резервный насос

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вместимость шламовой емкости гидроциклона составляет 2,5 л. При переполнении ее задержанной сепарированной взвесью размерностью 0,1 — 0,3 мм в период проведения опыта № 5 избыточное содержание механических примесей в воде поступает далее по системе в бак очищенной воды, минуя переполненный шламосборник, чем объясняется самая низкая эффективность по результатам проведения опыта. Соответственно, критическая концентрация исходной взвеси составляет не более 2000 мг/л при заданных лабораторных условиях. Для увеличения диапазона исследований предлагается увеличить объем шламовой емкости гидроциклона, выполнив ее разборной для простоты обслуживания и установив шаровые клапаны на входе и выходе для осуществления промывки в процессе непрерывной работы испытательного стенда.

Для повышения ремонтпригодности и удобства обслуживания предлагается модернизировать лабораторный гидроциклон. Модернизация включает установку фланцевых соединений в верхней (цилиндрической) и нижней (конической) частях его корпуса.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарность инженеру-инспектору Астраханского филиала Российского морского регистра судоходства Павлу Александровичу Дорохову за консультацию при разработке принципиальной схемы модернизации забортного контура судовой системы охлаждения согласно теме исследования и д.т.н., доценту кафедры эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства Максиму Михайловичу Горбачеву за критические замечания к статье и рекомендации на стадиях разработки стенда и обработки полученных экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усынина А.Э. Анализ систем забортной воды для обеспечения охлаждения судовых энергетических установок в условиях мелководья и битого льда / А.Э. Усынина, М.Н. Покусаев // Перспективы развития строительного комплекса: м-лы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 22 — 23 октября 2020 г. — Астрахань: АГАСУ, 2020. — С. 91 — 93.
2. Мышкина А.Н. Системы охлаждения судовых энергетических установок и проблемы их технической эксплуатации / А.Н. Мышкина, Г.А. Зеленков // Перспективы науки. — 2021. — № 12 (147). — С. 30 — 33.
3. Даутов А.М. Проблемы эксплуатации системы охлаждения судна «Mangystau» в условиях мелководья / А.М. Даутов, Ж.Е. Молдабаев // 73-я Междунар. студенческая науч.-техн. конф., Астрахань, 17 — 22 апреля 2023 г.: материалы. — Астрахань: АГТУ, 2023. — С. 1219 — 1221. — EDN CXPRDP.
4. Харламова А.Э. Анализ аварийности судов, вызванной ненадежной работой системы охлаждения судовых энергетических установок / А.Э. Харламова, М.Н. Покусаев, А.В. Трифонов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2023. — № 2. — С. 30 — 40. — DOI 10.24143/2073-1574-2023-2-30-40. — EDN QCWWRO.
5. Тихонов Н.Ф. Анализ существующих систем охлаждения судовых дизелей / Н.Ф. Тихонов // Тенденции развития науки и образования. — 2023. — № 102-5. — С. 151 — 154. — DOI 10.18411/trnio-10-2023-284. — EDN MUYXCM.
6. Мышкина А.Н. Системы охлаждения судовых энергетических установок и проблемы их технической эксплуатации / А.Н. Мышкина, Г.А. Зеленков // Перспективы науки. — 2021. — № 12 (147). — С. 30 — 33. — EDN OAH RUE.
7. Федоровский К.Ю. Замкнутые системы охлаждения судовых энергетических установок / К.Ю. Федоровский, Н.К. Федоровская. — М.: Вузовский учебник; Инфра-М, 2022. — 160 с.
8. Хаустов А.Н. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года / А.Н. Хаустов // Судостроение. — 2019. — № 6 (847). — С. 65 — 67. — EDN CZBSFS.
9. Безюков О.К. Состояние и перспективы судового двигателестроения в России / О.К. Безюков, В.А. Жуков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2017. — № 2. — С. 40 — 53. — DOI 10.24143/2073-1574-2017-2-40-53. — EDN YMVOEJ.
10. Сазонов К.Е., Рыжков А.В. Влияние мелководья на ледовые качества судна // Мир транспорта. — 2013. — Т. 11, № 4 (48). — С. 40 — 47. — EDN RTVZHP.
11. Слиман С. Пути совершенствования судовых систем охлаждения / С. Слиман, А. Саламех // Актуальные решения проблем водного транспорта: сб. м-лов I Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 28 апреля 2022 г. — Астрахань: ИП Сорокин Роман Васильевич, 2022. — С. 65 — 69. — EDN SPMWQQ.
12. Усынина А.Э. Анализ методов предотвращения загрязнения кингстонных ящиков судов в условиях мелководья и битого льда / А.Э. Усынина, М.Н. Покусаев, А.П. Астафуров // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : м-лы IV Нац. науч.-практ. конф., Астрахань, 8 февраля 2021 г. — Астрахань: АГАСУ, 2021. — С. 256 — 259. — EDN NMKPDH.

13. Schunemann. Automatic filters. [Электронный ресурс] URL: <https://www.greensynergy.my/schunemann> (дата обращения 20.12.2025).
14. НПЦ ПромВодОчистка. Производство систем водоподготовки. [Электронный ресурс] URL: <https://prom-water.ru> (дата обращения 20.12.2025).
15. Производственное предприятие «Тэко-Фильтр». Сетчатые самопромывные фильтры. [Электронный ресурс] URL: <https://www.teko-filter.ru/production/samopromyvnye-filtry/setchatye-filtry> (дата обращения 20.12.2025).
16. Сетчатые фильтры для воды AZUD HF LUXON серия LDB. [Электронный ресурс] URL: <https://www.hydra.ru/catalog/setchatye-filtry-azud-luxon/seria-ldb/> (дата обращения 20.12.2025).
17. Валиулин С.С. Разработка комбинированного фильтра-сепаратора для судовой энергетической установки и основ его проектирования: дисс. ... канд. техн. наук / С.С. Валиулин. — Н. Новгород, 2012. — 121 с. — EDN QFYZNB.
18. Драгомиров С.Г. Анализ современного уровня развития технологии и техники фильтрации охлаждающей жидкости в автомобильных и тракторных двигателях / С.Г. Драгомиров, М.С. Драгомиров, П.И. Эйдель, А.Ю. Гамаюнов // Тракторы и сельхозмашины. — 2020. — № 4. — С. 12 — 20. — DOI 10.31992/0321-4443-2020-4-12-20. — EDN EFRRZN.
19. Патент № RU 2552547 С1. Устройство для очистки потока жидкости от твердых частиц загрязнений: заявл. 15.04.2014, опубл. 10.06.2015, БИ № 16 / Драгомиров С.Г., Эйдель П.И., Журавлев С.А., Драгомиров М.С.; заявитель ФГБОУ ВПО ВлГУ. — EDN RVWHLI.
20. Dango & Diententhal. [Электронный ресурс] URL: <https://www.dango-diententhal.de/en/> (дата обращения 20.12.2025).
21. ALF — фильтр Альфа Лаваль. [Электронный ресурс] URL: <https://alaval.nt-rt.ru/images/manuals/filtr1.pdf> (дата обращения 20.12.2025).
22. Simple-SCADA — простая, современная SCADA-система. [Электронный ресурс] URL: <https://simple-scada.com/> (дата обращения 20.12.2025).
23. Абдураманов А. Гидравлика гидроциклонов и гидроциклонных насосных установок / А. Абдураманов. — М.: Академия естествознания, 2018. — 240 с.
24. Шестов Р.Н. Гидроциклоны. — Л.: Машиностроение, 1967. — 78 с.
25. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. VIII. Системы и трубопроводы / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2026.

REFERENCES

1. Usynina A.E., Pokusaev M.N. Analiz sistem zabornoj vody dlya obespecheniya okhlazhdeniya sudovykh energeticheskikh ustanovok v usloviyakh melkovod'ya i bitogo l'da [Analysis of seawater systems for cooling ship power plants in shallow water and brash ice conditions]. *Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa [Prospects for the development of the construction industry: Proc. of the XIV science and pract. conf., Astrakhan, October 22 — 23, 2020]*. Astrakhan: AGASU, 2020. P. 91 — 93.
2. Myshkina A.N., Zelenkov G.A. Sistemy okhlazhdeniya sudovykh energeticheskikh ustanovok i problemy ikh tekhnicheskoi ekspluatatsii [Cooling systems of ship power plants and problematics of their technical operation]. *Perspektivy nauki [Science Prospects]*. 2021. No. 12 (147). P. 30 — 33.
3. Dautov A.M., Moldabaev Zh.E. Problemy ekspluatatsii sistemy okhlazhdeniya sudna «Mangystau» v usloviyakh melkovod'ya [Problems of Mangystau cooling system operation in shallow waters]. *73-ya Mezhdunar. studencheskaya nauch.-tekhn. konf. [Proc. of the 73th International student science and tech. conf., Astrakhan, April 17 — 22, 2023]*. P. 1219 — 1221. — EDN CXPRDP.
4. Kharlamova A.E., Pokusaev M.N., Trifonov A.V. Analysis of ship accidents caused by unreliable operation of cooling systems of ship power plants. *Vestnik of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2023. No. 2. P. 30 — 40. DOI 10.24143/2073-1574-2023-2-30-40. EDN QCWWRO. (In Russ.)
5. Tikhonov N.F. Analiz sushchestvuyushchikh sistem okhlazhdeniya sudovykh dizelei [Analysis of existing cooling systems for ship diesel engines]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]*. 2023. No. 102-5. P. 151 — 154. DOI 10.18411/trnio-10-2023-284. EDN MUYXCM.
6. Myshkina A.N., Zelenkov G.A. Cooling systems of ship power plants and problems of their technical operation. *Science Prospects*. 2021. No. 12 (147). P. 30 — 33. EDN OAH RUE. (In Russ.)
7. Fedorovskii K.Yu., Fedorovskaya N.K. Zamknutyie sistemy okhlazhdeniya sudovykh energeticheskikh ustanovok [Closed-loop cooling systems for ship power plants]. Moscow: Vuzovskii uchebnik; Infra-M, 2022. 160. p.
8. Khaustov A.N. Strategiya razvitiya sudostroitel'noi promyshlennosti na period do 2035 goda [Development strategy for shipbuilding industry till 2035]. *Sudostroenie [Shipbuilding]*. 2019. No. 6 (847). P. 65 — 67. EDN CZBSFS.
9. Bezjukov O.K., Zhukov V.A. State and prospects of ship engine-building in Russia. *Vestnik of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2017. No. 2. P. 40 — 53. DOI 10.24143/2073-1574-2017-2-40-53. EDN YMVOEJ. (In Russ.)
10. Sazonov C.E., Ryzhkov A.V. Shallow water impact on ice performance of the ships. *World of Transport and Transportation*. 2013. — Vol. 11, No 4 (48). P. 40 — 47. EDN RTVZHP. (In Russ.)
11. Sliman S., Salameh A. Ways to improve ship cooling systems. *Aktual'nye resheniya problem vodnogo transporta [Current solutions to water transport problems: Proc. of the I International science and pract. conf., Astrakhan, April 28, 2022]*. Astrakhan: Sorokin Roman Vasil'evich, IE. P. 65 — 69. EDN SPMWQQ.
12. Usynina A.E., Pokusaev M.N., Astafurov A.P. Analiz metodov predotvrashcheniya zagryazneniya kingstonnykh yashchikov sudov v usloviyakh melkovod'ya i bitogo l'da [Analysis of methods for preventing pollution of sea chests of ships in shallow waters and brash ice]. *Innovatsionnoe razvitie regionov: potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya [Innovative regional development: the potential of science and modern education: Proc. of the IV National science and pract. conf., Astrakhan, February 8, 2021]*. Astrakhan: AGASU, 2021. P. 256 — 259. — EDN NMKPDH.
13. Schunemann. Automatic filters. URL: <https://www.greensynergy.my/schunemann> (accessed 20.12.2025).
14. NPTs PromVodOchistka: official website. Production of water treatment systems. URL: <https://prom-water.ru/>. (In Russ.; accessed 20.12.2025.)
15. Teko-Folter manufacturing company: official website. Mesh self-cleaning filters. URL: <https://www.teko-filter.com/production/samopromyvnye-filtry/setchatye-filtry> (accessed 20.12.2025).

16. Mesh water filters AZUD HF LUXON, LDB series. URL: <https://www.hydra.ru/catalog/setchatye-filtry-azud-luxon/seria-ldb/> (In Russ.; accessed 20.12.2025.)
17. Valiulin S.S. Razrabotka kombinirovannogo fil'tra-separatora dlya sudovoi energeticheskoi ustanovki i osnov ego proektirovaniya [Development of a combined filter separator for a ship power plant and of the principles of its design: PhD thesis]. Nizhny Novgorod, 2012. 121 p. EDN QFYZNB.
18. Dragomirov S.G., Dragomirov M.S., Eydel P.I., Gamayunov A.Y. Analysis of the current level of technology and engineering development of coolant filtration in automotive and tractor engines. *Traktory i sel'khoz mashiny [Tractors and agricultural machinery]*. 2020. No. 4. P. 12 — 20. DOI 10.31992/0321-4443-2020-4-12-20. EDN EFRRZN.
19. Patent for invention No. RU 2552547 C1. Device for liquid flow cleaning of solid contamination particles: appl. 15.04.2014, publ. 10.06.15, bul. no. 16 / Dragomirov S.G., Eidel' P.I., Zhuravlev S.A., Dragomirov M.S.; applicant Vladimir State University.
20. Dango & Diententhal. URL: <https://www.dango-diententhal.de/en/> (accessed 20.12.2025).
21. ALF-B — Alfa Laval Filter. URL: <https://alaval.nt-rt.ru/images/manuals/filtr1.pdf> (accessed 20.12.2025).
22. Simple-SCADA — a simple and modern SCADA. URL: <https://simple-scada.com/>. (In Russ.; accessed 20.12.2025.)
23. Abduramanov A. Gidravlika gidrotsiklonov i gidrotsiklonnykh nasosnykh ustanovok [Hydraulics of hydrocyclones and hydrocyclone pumps]. Moscow: Akademiya estestvoznaniya, 2018. 240 p.
24. Shestov R.N. Gidrotsiklony [Hydrocyclones]. Leningrad: Mashinostroenie, 1967. 78 p.
25. Rules for Classification and Construction of Sea-Going Ships. Pt. VIII. Systems and Piping / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2026.

УДК 621.43.019.8:629.5.03
EDN SIHACN

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ТОПЛИВА И ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗНОС ВЫПУСКНЫХ КЛАПАНОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

К.С. Мочалин, канд. техн. наук, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099 Россия, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: mochalin@nsawt.ru

Д.С. Тельцов, ассистент кафедры, Сибирский государственный университетского водного транспорта, 630099 Россия, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: telcov.dmitrii@mail.ru

А.А. Приваленко, доцент, Сибирский государственный университетского водного транспорта, 630099 Россия, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: a.a.privalenko@nsawt.ru

Е.О. Ольховик, д-р техн. наук, доцент, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035 Россия, Санкт-Петербург, Двинская ул., 5/7, e-mail: olhovikeo@gumrf.ru

Проведено комплексное экспериментальное исследование износа выпускных клапанов судовых дизельных двигателей при использовании различных видов топлива и защитных жаростойких покрытий. Работа сочетает натурные испытания на судах проекта ОТА-900 и лабораторные эксперименты на двигателе 6ЧН 18/22 в контролируемых условиях.

Методология включала сравнительный анализ дефектов клапанов после последовательных циклов эксплуатации на тяжелом мазуте (HFO), HFO с магниевыми присадками и легком дистиллятном топливе (MGO). Параллельно проводились лабораторные испытания по оригинальной схеме, исключающей влияние накопленных повреждений.

Результаты выявили существенную зависимость интенсивности износа от вида топлива. Наибольшая деградация наблюдалась при работе на HFO без присадок: язвенная коррозия, абразивный износ 120 — 150 мкм за 200 моточасов. Применение магниевых присадок снизило износ на 35 — 40 %, а переход на MGO — на 70 — 75 %. Защитные покрытия продемонстрировали стабильную эффективность, уменьшая износ приблизительно на 20 % независимо от типа топлива.

На основе экспериментальных данных разработаны концептуальные требования к методике ускоренных коррозионно-эрозийных испытаний, позволяющей количественно разделить вклад химической коррозии и механической эрозии. Показана перспективность комплексного подхода, сочетающего современные топлива, защитные покрытия и присадки для значительного увеличения ресурса выпускных клапанов.

Ключевые слова: выпускной клапан, судовой дизель, тяжелое топливо, защитные покрытия, коррозия, эрозия, статистическое планирование эксперимента.

Для цитирования: Мочалин К.С. Исследование влияния вида топлива и защитных покрытий на износ выпускных клапанов судовых дизелей / К.С. Мочалин, Д.С. Тельцов, А.А. Приваленко, Е.О. Ольховик // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 143 — 151. — EDN SIHACN.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF FUEL TYPE AND PROTECTIVE COATINGS ON THE WEAR OF MARINE DIESEL ENGINE EXHAUST VALVES

K.S. Mochalin, PhD, Siberian State University of Water Transport, 630099 Russia, Novosibirsk, Shchetinkina ul., 33, e-mail: mochalin@nsawt.ru

D.S. Teltsov, Assistant Professor, Siberian State University of Water Transport, 630099 Russia, Novosibirsk, Shchetinkina ul., 33, e-mail: telcov.dmitrii@mail.ru

A.A. Privalenko, Associate Professor, Siberian State University of Water Transport, 630099 Russia, Novosibirsk, Shchetinkina ul., 33, e-mail: a.a.privalenko@nsawt.ru

E.O. Olkhovik, DSc, Associate Professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 198035 Russia, St. Petersburg, Dvinskaya ul. 5/7, e-mail: olhovikeo@gumrf.ru

A comprehensive experimental study of the wear of marine diesel engine exhaust valves using various types of fuel and protective heat-resistant coatings has been conducted. The work combines field tests on OTA-900 project vessels and laboratory experiments on a 6ChN 18/22 engine under controlled conditions.

The methodology involved a comparative analysis of valve defects after successive operating cycles on heavy fuel oil (HFO), HFO with magnesium additives, and marine gas oil (MGO). Laboratory tests were conducted in parallel using an original scheme that eliminated the influence of accumulated damage.

The results revealed a significant dependence of wear intensity on the type of fuel. The greatest degradation was observed when operating on HFO without additives — pitting corrosion, abrasive wear of 120 — 150 µm over 200 operating hours. The use of magnesium additives reduced wear by 35 — 40 %, while switching to MGO reduced it by 70 — 75 %. Protective coatings demonstrated consistent effectiveness, reducing wear by approximately 20 % regardless of the fuel type.

Based on the experimental data, conceptual requirements for a methodology of accelerated corrosion-erosion testing have been developed, allowing for the quantitative separation of the contributions of chemical corrosion and mechanical erosion. The promise of an integrated approach combining modern fuels, protective coatings, and additives for significantly increasing the service life of exhaust valves is shown.

Keywords: *exhaust valve, marine diesel engine, heavy fuel oil, protective coatings, corrosion, erosion, design of experiments.*

For citation: Mochalin K.S., Teltsov D.S., Privalenko A.A., Olkhovik E.O. Investigation of the influence of fuel type and protective coatings on the wear of marine diesel engine exhaust valves. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 143 — 151. EDN SIHACN. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Выпускной клапан судового дизельного двигателя относится к числу наиболее нагруженных элементов газораспределительного механизма и в процессе эксплуатации подвергается совокупному воздействию высоких температур, переменных механических нагрузок и агрессивной химической среды продуктов сгорания топлива. Надежность и ресурс выпускного клапана в значительной степени определяют общую долговечность двигателя и безопасность эксплуатации судна, что обуславливает актуальность исследований механизмов его деградации и факторов, влияющих на интенсивность износа.

Современные судовые энергетические установки эксплуатируются на широком спектре топлив — от тяжелых высокосернистых мазутов до легких дистиллятных и альтернативных топлив. Тяжелые виды топлива содержат повышенные концентрации серы, ванадия, натрия и зольных компонентов, способствующих образованию кислотных конденсатов, ванадиевых шлаков и твердых частиц золы. Эти компоненты интенсифицируют коррозионное, эрозионное и абразивное разрушение поверхностей клапана, а также ускоряют развитие термоусталостных дефектов. В то же время переход на более экологичные и малосернистые топлива сопровождается ростом эксплуатационных затрат, что требует обоснованного выбора режима эксплуатации и применяемых защитных мер.

Одним из эффективных путей повышения ресурса выпускных клапанов является применение защитных жаростойких покрытий и присадок к топливу, направленных на нейтрализацию агрессивных компонентов и снижение интенсивности износа. Однако практическая эффективность таких решений зависит от конкретных условий работы двигателя, вида топлива и параметров теплового и нагрузочного режимов. Это обуславливает необходимость комплексных исследований, включающих как натурные испытания в реальных условиях эксплуатации судов, так и лабораторные эксперименты в контролируемых режимах.

С учетом изложенного, целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния вида судового топлива и защитных покрытий на износ выпускных клапанов судовых дизельных двигателей на основе сочетания натурных и лабораторных испытаний, а также формулирование требований к методике ускоренных коррозионно-эрозионных испытаний для дальнейших исследований.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

- 1) выполнить анализ основных эксплуатационных дефектов выпускных клапанов судовых дизелей и их связи с физико-химическими процессами при сгорании различных видов топлива;
- 2) провести натурные испытания на судах проекта ОТА-900 с последовательной эксплуатацией двигателя на тяжелом мазуте, мазуте с магниевыми присадками и легком дистиллятном топливе (MGO) с целью количественной оценки влияния вида топлива на характер и интенсивность износа выпускных клапанов, включая клапаны с защитными покрытиями и без них;
- 3) выполнить лабораторные исследования износа клапанов на дизеле 6ЧН 18/22 при параллельных испытаниях на различных видах топлива, обеспечивающих воспроизводимые условия нагружения, и сопоставить полученные результаты с данными натурных испытаний;
- 4) на основе анализа экспериментальных данных оценить эффективность защитных жаростойких покрытий и присадок к топливу в снижении износа выпускных клапанов и увеличении их ресурса;
- 5) сформулировать концептуальные требования и структуру подхода к методике ускоренных коррозионно-эрозионных испытаний выпускных клапанов в контролируемых условиях (с учетом разделения вкладов химической коррозии и механической эрозии), предназначенной для дальнейшего развития и валидации на базе полученных натурных и лабораторных данных.

ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДЕФЕКТЫ ВЫПУСКНОГО КЛАПАНА СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Эксплуатационная надежность выпускного клапана определяется комплексом взаимосвязанных дефектов, возникающих под воздействием экстремальных рабочих условий. Наиболее характерными из них являются коррозионное разрушение, вызванное воздействием агрессивных химических соединений (например, серной кислоты), образующихся при сгорании топлива. Эрозионный износ возникает вследствие воздействия высокоскоростного потока выхлопных газов, содержащих твердые частицы золы и сажи, в то время как абразивный износ является результатом прямого механического воздействия этих частиц на поверхность клапана. Значительную угрозу представляет термоусталостное разрушение, связанное с циклическими изменениями температуры, которое приводит к образованию и развитию микротрещин в материале, особенно при работе на топливах с низкой теплотворной способностью. Кроме того, локальный перегрев, вызванный неравномерным распределением температур или недостаточной эффективностью охлаждения, может привести к деформации и прогару седла клапана. Указанные дефекты носят кумулятивный характер, существенно сокращая ресурс данного критически важного элемента двигателя [1 — 3].

Влияние различных видов судовых топлив на дефекты выпускного клапана

Легкие дистиллятные топлива (Marine Gas Oil / Marine Diesel Oil) характеризуются низким содержанием серы, ванадия и других примесей. Использование таких топлив значительно снижает риск коррозионного и абразивного износа. Однако их применение связано с более высокими затратами.

Тяжелые мазуты (Heavy Fuel Oil) содержат значительное количество серы, ванадия, натрия и других металлов. При сгорании этих топлив образуются: серная кислота, вызывающая коррозию; ванадиевые шлаки, усиливающие термоусталостное разрушение; зольные отложения, вызывающие абразивный износ [4, 5].

Биодизель и синтетические топлива имеют низкое содержание серы и практически не содержат металлических примесей. Их использование позволяет существенно снизить коррозионный и абразивный износ. Однако такие топлива могут быть менее доступны для судовой индустрии.

Механизмы образования дефектов

Коррозионное разрушение начинается с химического взаимодействия материалов клапана с продуктами сгорания. Например, серная кислота вызывает точечную коррозию, которая распространяется по поверхности клапана. Ванадиевые шлаки, обладающие низкой температурой плавления, разрушают защитные оксидные слои на поверхности клапана [2].

Эрозионный износ происходит за счет механического воздействия высокоскоростного потока выхлопных газов. Твердые частицы, содержащиеся в газах, ускоряют процесс эрозии, особенно в зонах с повышенной температурой [6].

Абразивный износ вызывается трением твердых частиц о поверхность клапана. Этот процесс усиливается при использовании топлив с высоким содержанием золы и металлических примесей [3].

Термоусталостное разрушение связано с циклическими изменениями температуры клапана. Высокие термические нагрузки приводят к образованию микротрещин, которые со временем развиваются в крупные дефекты [7 — 9].

Для минимизации эксплуатационных дефектов выпускного клапана применяются следующие методы: улучшение материалов клапанов, применение присадок к топливу, оптимизация работы двигателя, переход на экологически чистые топлива.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения влияния различных типов топлива на образование дефектов на выпускных клапанах были проведены натурные испытания. Исследования осуществлялись на судах проекта ОТА-900, эксплуатирующихся в условиях Сибирского региона. Экспериментальный цикл проходил в июне 2025 г. с использованием судового среднеоборотного дизельного двигателя номинальной мощностью 225 кВт.

Параметры и процедура проведения экспериментов:

- объект исследования: выпускные клапаны судового дизельного двигателя;
- платформа для испытаний: суда проекта ОТА-900;
- географические и временные рамки: акватория Сибирского региона (реки Обь), навигационный период 2025 г.;
- мощность испытуемого двигателя: 225 кВт;
- типы испытуемых топлив:

тяжелый мазут (НФО) без каких-либо добавок;

НФО с добавлением магниевых присадок (цель: нейтрализация сернокислотной коррозии и связывание ванадиевых соединений);

легкое дистиллятное топливо (МГО).

Дополнительный аспект: часть клапанов была оборудована специальными жаростойкими покрытиями для оценки их защитных свойств.

Исследования проводились по следующему циклическому алгоритму:

1) начало навигации (базовый замер): перед началом испытаний был выполнен тщательный осмотр и замеры новых выпускных клапанов для фиксации исходного состояния;

2) первый эксплуатационный цикл (200 моточасов): двигатель работал на тяжелом мазуте (НФО) без присадок. По окончании цикла клапаны были демонтированы для проведения технического осмотра, фотографирования и измерения износа;

3) второй эксплуатационный цикл (200 моточасов): после профилактической обработки и установки клапанов двигатель эксплуатировался на тяжелом мазуте (НФО) с добавлением магниевых присадок. После цикла процедура осмотра и замера была повторена;

4) третий эксплуатационный цикл (200 моточасов): на заключительном этапе было использовано легкое дистиллятное топливо (МГО). Осмотр клапанов после этого цикла позволил получить данные для сравнения.

Для повышения достоверности результатов часть клапанов на всех этапах была оснащена защитными жаростойкими покрытиями.

Сравнительный анализ состояния выпускных клапанов, проводившийся после каждого цикла, наглядно показал зависимость интенсивности износа от вида используемого топлива. Количественные и качественные результаты представлены в табл. 1. Для визуальной оценки характера и степени деградации материалов на рис. 1 представлены фотографии клапанов, демонтированных после испытаний на различных видах топлива.



Цикл 1: НФО (Базовый)



Цикл 2: НФО с присадками



Цикл 3: МГО

Рис. 1. Внешний вид выпускных клапанов после эксплуатационных испытаний

Таблица 1

Результаты анализа износа выпускных клапанов при работе на различных видах топлива в течение навигационного периода

Параметр/цикл	Цикл 1: НФО (базовый)	Цикл 2: НФО с присадками	Цикл 3: МГО
Вид топлива	Тяжелый мазут без присадок	Тяжелый мазут с магниевыми присадками	Легкое дистиллятное топливо (МГО)
Пробег, моточасы	200	200 (суммарно 400)	200 (суммарно 600)
Наблюдаемые дефекты (качественная оценка)	Ярко выраженная язвенная коррозия, значительный абразивный износ тарелки и стержня, начало образования термоусталостных микротрещин	Умеренная равномерная коррозия, снижение абразивного износа, микротрещины не прогрессируют	Незначительные следы износа, поверхностное окисление, дефекты визуально не выявлены
Износ, мкм (количественная оценка)	120 — 150 (принят за 100 % для расчета)	75 — 90 (снижение на 35 — 40 %)	30 — 40 (снижение на 70 — 75 %)
Эффективность защитного покрытия	Замедлило износ на 15 — 20 % по сравнению с непокрытыми клапанами	Замедлило износ на 18 — 22 % по сравнению с непокрытыми клапанами на том же топливе	Замедлило износ на ~ 20 % по сравнению с непокрытыми клапанами на том же топливе

Проведенные натурные испытания в условиях реальной эксплуатации на судах проекта ОТА-900 позволили установить количественную зависимость износа выпускных клапанов судового дизеля от вида используемого топлива. Сравнительный анализ, выполненный после циклов работы на тяжелом мазуте (НФО), НФО с магниевыми присадками и легком дистиллятном топливе (МГО), показал, что применение присадок снижает износ на 35 — 40 % относительно чистого НФО благодаря нейтрализации сернистых соединений и связыванию ванадия. Наиболее значительный эффект достигнут при использовании МГО, где износ уменьшился на 70 — 80 % благодаря минимальному содержанию агрессивных примесей. Дополнительное нанесение защитных покрытий продемонстрировало независимый положительный эффект, стабильно снижая износ примерно на 20 % для всех видов топлива. Полученные результаты подтверждают целесообразность комплексного подхода, сочетающего переход на качественные топлива с применением защитных покрытий для значительного увеличения ресурса выпускных клапанов.

Экспериментальная часть: лабораторные исследования износа выпускных клапанов на двигателе 6ЧН 18/22

Лабораторные исследования износа выпускных клапанов проводились параллельно с натурными испытаниями на судне проекта ОТА-900 в целях верификации данных в строго контролируемых условиях. Эксперимент был выполнен на базе университетской лаборатории с использованием судового дизельного двигателя 6ЧН 18/22 номинальной мощностью 150 кВт. В отличие от последовательной схемы натурных испытаний, в лаборатории был реализован параллельный метод: три группы клапанов (включая образцы с защитным покрытием и без него, представленные на рис. 2) одновременно тестировались на разных видах топлива — тяжелом мазуте (НФО), НФО с магниевыми присадками и легком дистиллятном топливе (МГО) — в течение 500 моточасов при стабильной нагрузке 75 — 85 % от номинала (план эксперимента см. в табл. 2).



Рис. 2. Вид клапана с покрытием и без покрытия

Таблица 2

План проведения лабораторных испытаний

Группа клапанов	Этап 1 (150 ч)	Этап 2 (150 ч)	Этап 3 (200 ч)	Наличие покрытия
Группа А	HFO	HFO + присадка	MGO	нет
Группа Б	HFO	HFO + присадка	MGO	да
Группа В	HFO	HFO	HFO	нет

Такой подход позволил исключить влияние накопленного усталостного повреждения и объективно сравнить влияние каждого топлива и защитного покрытия. После каждого этапа клапаны подвергались комплексному анализу, включавшему координатные измерения, СЭМ и ЭДС-анализ для выявления механизмов износа. На рис. 3 представлены характерные фотографии выпускных клапанов, демонстрирующие различную степень и характер износа после лабораторных испытаний в контролируемых условиях. Параллельное проведение экспериментов позволило получить сопоставимые с эксплуатационными данными результаты при более высокой повторяемости и детализации процессов деградации.

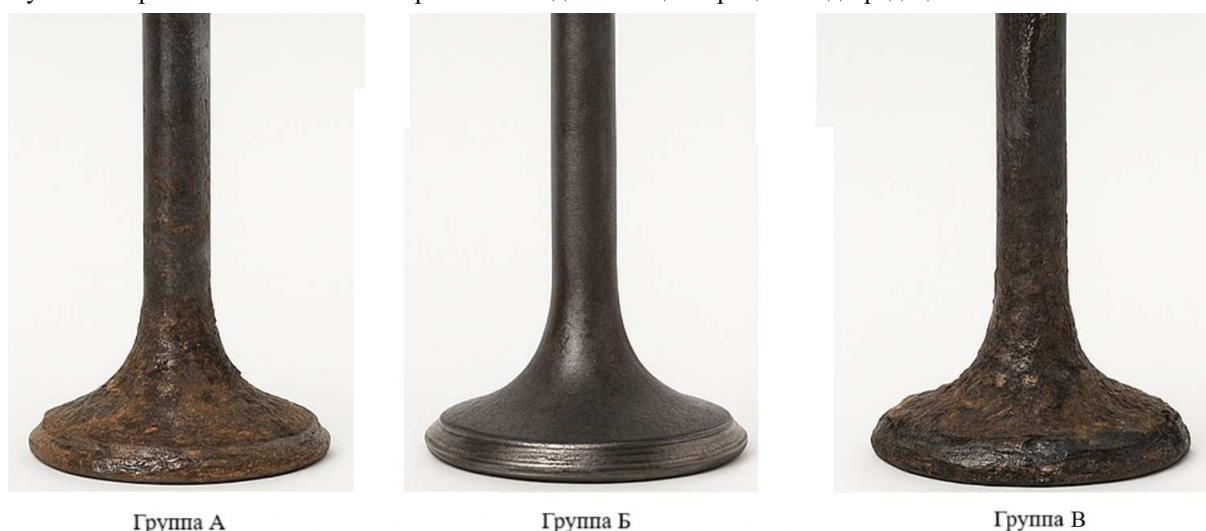


Рис. 3. Внешний вид выпускных клапанов после лабораторных испытаний

Результаты сравнения износа, приведенные на рис. 4, служат количественным подтверждением эффективности перехода на качественное топливо и применения защитных покрытий для снижения износа клапанов, причем действие этих мер является аддитивным.

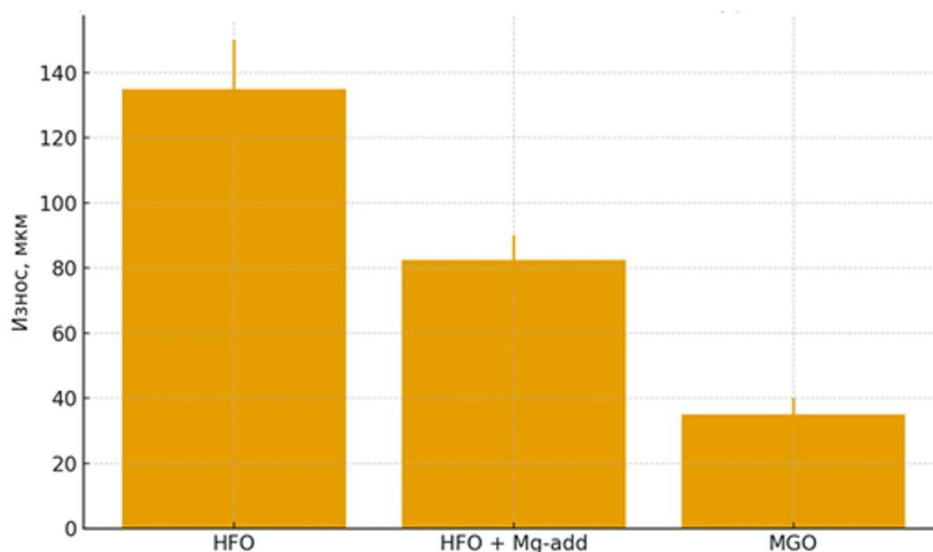


Рис. 4. Сравнение износа выпускных клапанов при натурных испытаниях для различных видов топлива

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенный сравнительный анализ износа выпускных клапанов основан на количественной оценке деградации после последовательных циклов работы на различных видах топлива. Для интерпретации результатов использовалось допущение о линейной зависимости износа от наработки в пределах каждого 200-часового цикла, что визуализировано на рис. 5.

Данное упрощение является практичным инструментом для сравнительной оценки влияния различных факторов (вид топлива, наличие присадки, защитное покрытие) в идентичных условиях, что и являлось основной целью работы, а не точное прогнозирование ресурса на весь срок службы. Правомерность такого подхода подтверждается тем, что испытания проводились в квазистационарной фазе износа, когда для таких механизмов, как абразивный износ и равномерная коррозия, характерна близкая к линейной зависимость от времени. Кроме того, качественное изменение картины износа (от язвенной коррозии и абразива для HFO до незначительного окисления для MGO, согласно табл. 1 и рис. 1) согласуется с количественными данными о его интенсивности для каждого установившегося режима.

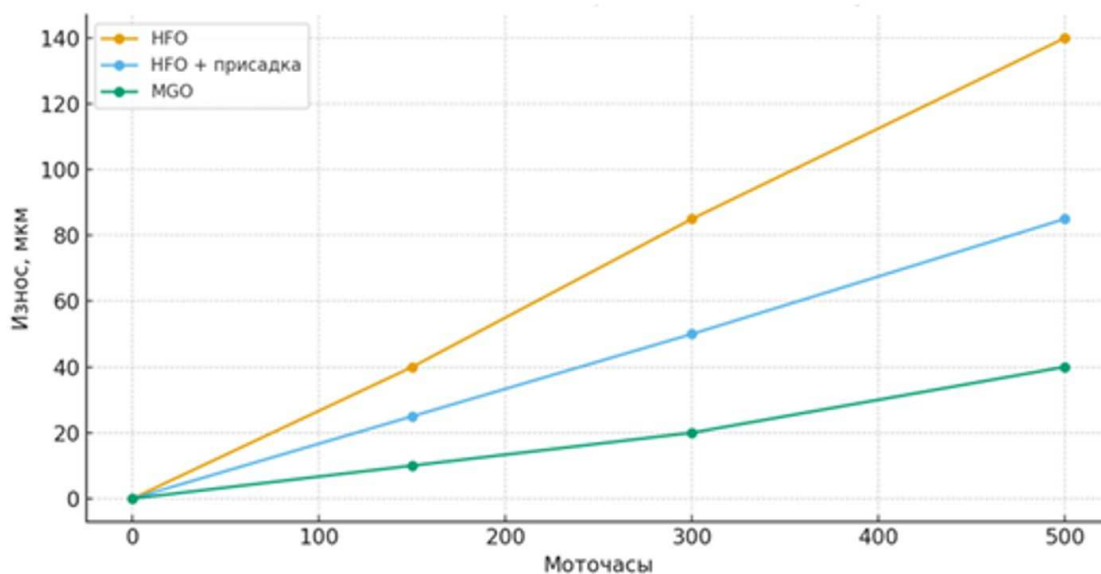


Рис. 5. Динамика износа выпускных клапанов в лабораторных испытаниях в зависимости от моточасов

Вместе с тем, нужно признать ограничения линейной модели. Реальный износ является результатом синергетического взаимодействия коррозии, эрозии и термоусталости, что может приводить к нелинейному, ускоряющемуся износу на больших интервалах из-за положительных обратных связей (например, коррозия ослабляет поверхность, ускоряя абразивный износ, который, в свою очередь, удаляет защитные оксидные пленки). Кроме того, развитие термоусталостных микротрещин (подчиняющееся, например, закону Пэриса) и инициирование язвенной коррозии носят принципиально нелинейный характер. Накопление повреждений в последовательной схеме испытаний также нарушает принцип аддитивности, заложенный в линейной модели.

Таким образом, принятая модель линейного износа является оправданным приближением для целей сравнительного анализа в рамках данного исследования, однако ее экстраполяция на весь срок службы клапана без учета нелинейных эффектов некорректна.

В качестве перспективного направления для более глубокого изучения механизмов износа и построения точных прогнозных моделей рекомендуется проведение ускоренных коррозионно-эрозионных испытаний в камере с контролем состава газов и твердых частиц в сочетании с методами статистического планирования эксперимента (DoE). Целью таких испытаний является количественное разделение вклада химической коррозии (кислотность, ванадий/натрий) и механической эрозии (пылевое воздействие, скорость потока) в совокупный износ, а также оценка эффективности присадок и покрытий (включая, например, комбинации интерметаллидных сплавов) в контролируемых условиях [10]. Метод предполагает использование камеры с нагревом до рабочих температур выпускного клапана (до 700 — 800 °C), пропуск контролируемых газовых смесей (SO₂, SO₃, водяной пар) и введение аэрозолей зольных частиц. Ключевыми факторами эксперимента являются температура поверхности, концентрация SO_x и твердых частиц, использование присадки и нанесение

защитного покрытия. Для сокращения числа испытаний рационально использовать дробный факторный план $2^5 - 1$ с последующей валидацией ключевых точек. Критериями отклика будут скорость износа, глубина микротрещин (по СЭМ), состав отложений (EDS/XRF), утрата массы и изменение твердости поверхности. Полученные зависимости между управляемыми факторами (температура, концентрация SO_x и твердых частиц, применение присадок и покрытий) и износом клапанов могут быть интегрированы в перспективную многоуровневую систему обеспечения надежности [11] судовых механических систем. Такой подход позволит управлять коррозионно-эрозионной стойкостью критических компонентов на всех этапах их жизненного цикла — от проектирования и производства до эксплуатации и технического обслуживания. Анализ результатов с помощью ANOVA позволит выявить статистически значимые факторы и их взаимодействия, а сопоставление ускоренных скоростей износа с натурными данными обеспечит возможность предсказания ресурса клапанов при различных условиях эксплуатации, в том числе при использовании различных видов судового топлива и его экологической нагрузки [12]. Данный метод ускоряет исследования, позволяет управляемо моделировать агрессивные среды и формировать рекомендации по применению присадок [13] и покрытий с высокой достоверностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксплуатационные дефекты выпускного клапана судового дизельного двигателя напрямую зависят от качества используемого топлива. Основными факторами, ускоряющими дефекты, являются высокие температуры, коррозия, эрозия и абразивный износ. Для предотвращения дефектов необходимо комплексное решение, включающее использование качественных материалов и покрытий, оптимизацию работы двигателя и переход на экологически чистые топлива. Применение присадок и легких дистиллятных топлив также позволяет существенно уменьшить износ и продлить срок службы выпускного клапана.

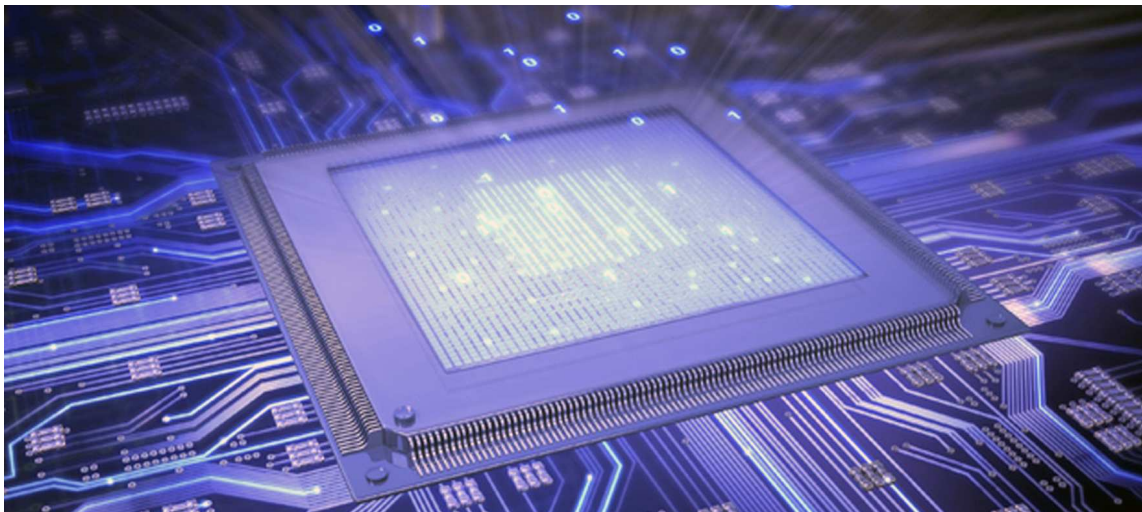
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gandhi Y. Investigation of valve tip end wear mechanism of a four-cylinder automotive engine under high-speed application / Y. Gandhi, N. Pawar, N. Zolal et al. // *Journal of Failure Analysis and Prevention*. — 2021. — Vol. 21. — P. 2098 — 2107. — DOI 10.1007/s11668-021-01256-x.
- Hadia M. Effect of coatings on the tribological performance of engine valve train: A review / M. Hadia, R.A. Mufti, R. Zahid, A. Raza // *International Journal of Engine Research*. — 2025. — Vol. 26, Issue 8. — P. 1171 — 1192. — DOI 10.1177/14680874241312566. URL <https://share.google/NTfTTxmHRAHVE4Hlq> (дата обращения 17.09.2025).
- Okokpujie I.P. Study of corrosion, wear, and thermal analysis of materials for internal combustion engines and their compatibility: A review / I.P. Okokpujie, A.O. Ojo, B. Adaramola, M. Oladimeji et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. — 2024. — DOI 10.1088/1755-1315/1322/1/012007.
- Liu Y. Corrosion behaviors of Ni80A alloy valve within ammonia-rich environment / Y. Liu, G. Quan, Y. Yu, W. Ran, W. Xiong // *Materials*. — 2025. — Vol. 18, Issue 13. — P. 3006. — DOI 10.3390/ma18133006. — URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/18/13/3006> (дата обращения 20.09.2025).
- Qu S. Investigate the impact wear failure behavior of CoMoCr engine valve and valve seat pairs under harsh conditions / S. Qu, D. Li, J. Li, P. Sun et al. // *Engineering Failure Analysis*. — 2025. — Vol. 167, Part B. — P. 109052. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630724010987> (дата обращения 20.09.2025).
- Wang H. Erosion wear of high-pressure throttle valves: A review / H. Wang, S. Cai, Z. Zhang // *Corrosion*. — 2025. — Vol. 81, Issue 9. — P. 826 — 847. — DOI 10.5006/4756. — URL: <https://content.ampp.org/corrosion/article/81/9/826/106023/Erosion-Wear-of-High-Pressure-Throttle-Valves-A> (дата обращения 17.09.2025).
- Тимохова О.М. Анализ воздействия коррозионного износа на работоспособность деталей лесных машин / О.М. Тимохова, О.Н. Бурмистрова // *Лесотехнический журнал*. — 2016. — № 3. — С. 183 — 188. — URL: http://lestchjournal.ru/sites/default/files/journal_pdf/183-188_0.pdf (дата обращения 17.09.2025).
- Ali M.K.A. Effect of lubricant contaminants on tribological characteristics during boundary lubrication reciprocating sliding / M.K.A. Ali, F. M.H. Ezzat, K.A. Abd El-Gawwad, M.M.M. Salem. — 2017. — [Электронный ресурс] URL: <https://arxiv.org/abs/1710.04448> (дата обращения 17.09.2025).
- Галиев И.Р. Влияние формы впускного клапана на характеристики воздушного вихря в цилиндре судового двигателя / И.Р. Галиев, Д.С. Максимов // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. — 2024. — № 76. — С. 96 — 105. — EDN IFYSSY.
- Kuznetsov R. Investigation of the causes of inlet valve destruction of forced marine engines / R. Kuznetsov, E. Ol'khovik, B. Palagushkin // *Proceedings of the II International scientific conf. on advances in science, engineering and digital education (ASEDU-II 2021)*, Krasnoyarsk, 28 October 2021. Vol. 2647 A. — Krasnoyarsk: AIP Publishing, 2022. — P. 60014. — DOI 10.1063/5.0104203. — EDN ZGACEE.
- Мосейко Е.С. Многоуровневая система обеспечения надежности судовых механических систем на этапах жизненного цикла / Е.С. Мосейко, Е.О. Ольховик, В.Ю. Рудь // *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. — 2024. — Т. 16, № 5. — С. 775 — 783. — DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-5-775-783.

12. Реуцкий А.С. Оценка влияния типа используемого судового топлива на величину углеродного следа транспортной услуги // А.С. Реуцкий, В.В. Якимов, А.А. Буцанец // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2024. — № 76. — С. 87 — 95. — EDN ICJSDQ.
13. Петров В.М. Особенности износа ответственных пар трения шарового крана судовой запорной арматуры, выполненных из полимерных композиционных материалов / В.М. Петров, А.В. Федосов, К.Н. Шония, Г.Я. Кремлёв, А.А. Буцанец // Транспортное дело России. — 2023. — № 3. — С. 243 — 248. — DOI 10.52375/20728689_2023_3_243. — EDN JWYAUUK.

REFERENCES

1. Gandhi Y., Pawar N., Zolal N. et al. Investigation of Valve Tip End Wear Mechanism of a Four-Cylinder Automotive Engine Under High-Speed Application. *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 2021. Vol. 21. P. 2098 — 2107. DOI: 10.1007/s11668-021-01256-x.
2. Hadia M., Mufti R.A., Zahid R., Raza A. Effect of coatings on the tribological performance of engine valve train: A review. *International Journal of Engine Research*. 2025. Vol. 26, Issue 8. P. 1171 — 1192. DOI 10.1177/14680874241312566. URL <https://share.google/NTfTTxmhRAHVE4Hlq> (accessed 17.09.2025).
3. Okokpujie I.P., Ojo A.O., Adaramola B., Oladimeji M. et al. Study of corrosion, wear, and thermal analysis of materials for internal combustion engines and their compatibility: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. DOI: 10.1088/1755-1315/1322/1/012007.
4. Liu Y., Quan G., Yu Y., Ran W., Xiong W. Corrosion behaviors of Ni80A alloy valve within ammonia-rich environment. *Materials*. 2025. Vol. 18, Issue 13. P. 3006. DOI 10.3390/ma18133006. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/18/13/3006> (accessed 20.09.2025).
5. Qu S., Li D., Li J., Sun P. et al. Investigate the impact wear failure behavior of CoMoCr engine valve and valve seat pairs under harsh conditions. *Engineering Failure Analysis*. 2025. Vol. 167, Part B. P. 109052. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630724010987> (accessed 20.09.2025).
6. Wang H., Cai S., Zhang Z. Erosion wear of high-pressure throttle valves: A review. *Corrosion*. 2025. Vol. 81, Issue 9. P. 826 — 847. DOI 10.5006/4756. URL: <https://content.amp.org/corrosion/article/81/9/826/106023/Erosion-Wear-of-High-Pressure-Throttle-Valves-A> (accessed 17.09.2025).
7. Timokhova O.M., Burmistrova O.N. Analysis of corrosive wear impact on performance of parts for forestry machinery. *Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering Journal]*. 2016. No. 3. P. 183 — 188. URL: http://lestehjournal.ru/sites/default/files/journal_pdf/183-188_0.pdf (accessed 17.09.2025).
8. Ali M.K.A., Ezzat F.M.H., Abd El-Gawwad K.A., Salem M.M.M. Effect of lubricant contaminants on tribological characteristics during boundary lubrication reciprocating sliding. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1710.04448> (accessed 17.09.2025).
9. Galiev I.R., Maksimov D.S. Influence of the inlet valve shape on the air vortex characteristics in a marine engine cylinder. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2024. No. 76. P. 96 — 105. EDN IFYSSY. (In Russ.)
10. Kuznetsov R., Ol'khovik E., Palagushkin B. Investigation of the causes of inlet valve destruction of forced marine engines. *Proceedings of the II International scientific conf. on advances in science, engineering and digital education (ASEDU-II 2021)*. Krasnoyarsk, 28 October 2021. Vol. 2647 A. Krasnoyarsk: AIP Publishing, 2022. P. 60014. DOI 10.1063/5.0104203. EDN ZGACEE.
11. Moseyko E.S., Olkhovik E.O., Rud V.Yu. A multilevel system for ensuring the reliability of marine mechanical systems at the stages of the life cycle. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2024. Vol. 16, No. 5. P. 775 — 783. DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-5-775-783. (In Russ.)
12. Reutskii A.S., Yakimov V.V., Butsanets A.A. Assessment of the impact of the type of marine fuel used on the carbon footprint of a transport service. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2024. No. 76. P. 87 — 95. EDN ICJSDQ. (In Russ.)
13. Petrov V., Fedosov A., Shonia K., Kremlev G., Butsanets A. Features of wear of responsible friction couples of the ball valve of the shutoff valves made of polymer composite materials. *Transport Business in Russia*. 2023. No. 3. P. 243 — 248. DOI 10.52375/20728689_2023_3_243. EDN JWYAUUK. (In Russ.)



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 656.6
EDN SHGFTB

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЯХТЕННЫХ СТОЯНОК ДЛЯ МАЛОМЕРНОГО ФЛОТА ПЕРМСКОГО КРАЯ

А.А. Буцанец, канд. техн. наук, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035 Россия, Санкт-Петербург, Двинская ул., 5/7, e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru; Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: butsanets.aa@rs-class.org

Е.Е. Марушкина, студент, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035 Россия, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: marushkina_ee@mail.ru; ведущий инженер-технолог ООО «СПКБ», 198035 Россия, Санкт-Петербург, Межевой канал, 4, офис 321, e-mail: marushkina-ee@spkb-waterways.ru

В статье представлен анализ современного состояния инфраструктуры 17 яхтенных стоянок и лодочных баз Пермского края в бассейне реки Кама. На основе разработанного авторами подхода выполнен анализ объектов инфраструктуры по 25 критериям (доступность и оборудованность причальных сооружений, сервис, транспортная и туристская доступность, безопасность и др.). Выявлены лидеры («Кабельщик», «Волна», «Пирс», «Фаворит», «ПОЛЯНА») и основные ограничения: дефицит санитарно-бытовых удобств, отсутствие доступа к сети Интернет, отсутствие качественного общественного питания, наличие навигационных препятствий и отсутствие информации в открытых источниках. Предложены меры развития: создание единого цифрового портала, модернизация сервиса услуг, разработка яхтенных маршрутов к природным достопримечательностям, что позволит реализовать рекреационный потенциал региона и увеличить вклад туризма в Валовой региональный продукт (ВРП).

Ключевые слова: яхтенный туризм, маломерный флот, Пермский край, река Кама, инфраструктура яхтенных стоянок, туристская привлекательность, водный туризм.

Для цитирования: Марушкина Е.Е. Современное состояние инфраструктуры яхтенных стоянок для маломерного флота Пермского края / Е.Е. Марушкина, А.А. Буцанец // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 152 — 162. — EDN SHGFTB.

THE CURRENT STATE OF THE INFRASTRUCTURE OF YACHT MOORINGS FOR SMALL FLEET IN THE PERM KRAI

A.A. Butsanets, PhD, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 198035 Russia, St. Petersburg, Dvinskaya ul. 5/7, e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru; Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: butsanets.aa@rs-class.org

E.E. Marushkina, student, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 198035 Russia, St. Petersburg, Dvinskaya ul. 5/7, e-mail: marushkina_ee@mail.ru; Leading Process Engineer, SPKB LLC, 198035 Russia, St. Petersburg, Mezhevoy Canal, 4, office 321, e-mail: marushkina-ee@spkb-waterways.ru

This article presents an analysis of the current infrastructure of 17 yacht marinas and boat bases in the Perm Krai within the Kama River basin. Using the authors' own approach, the infrastructure was analyzed across 25 criteria (accessibility and equipment of berthing facilities, service, transport and tourist accessibility, safety, etc.). The authors identified the leaders (Kabelshchik, Volna, Pirs, Favorit, and Polyana) and key limitations: navigational obstacles and a lack of sanitary and household amenities, Internet access, quality food service, and information in open sources. Priority development measures are proposed: the creation of a unified digital portal, modernization of service offerings, and the development of yacht routes to natural attractions. This will help realize the region's recreational potential and increase tourism's contribution to the gross regional product.

Key words: yacht tourism, small boats, Perm Krai, Kama River, yacht marina infrastructure, tourist appeal, water tourism.

For citation: Marushkina E.E., Butsanets A.A. The current state of the infrastructure of yacht moorings for small fleet in the Perm Krai. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 152 — 162. EDN SHGFTB. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

В условиях необходимости ускоренного социально-экономического развития регионов Российской Федерации [1], где туризм является одним из факторов повышения уровня качества жизни местного населения, особое значение приобретает развитие внутреннего туристического потенциала. Согласно данным Министерства по туризму и молодежной политике Пермского края, в 2025 г. регион получил из федерального бюджета более 363 млн рублей на создание номерного фонда, развитие инфраструктуры и туристических объектов в рамках национального проекта «Туризм и индустрия гостеприимства» [2]. Пермский край обладает уникальными природно-ресурсными характеристиками, отличающими его от соседних регионов: протяженной сетью водоемов общей площадью свыше 20 тыс. км², включая реку Кама как крупный водный путь Волго-Камского бассейна, — и обладает значительным, но недостаточно реализованным потенциалом водного туризма. В 2025 г. в крае планируется обустройство новых мест отдыха у воды в 16 административных центрах и 11 дополнительных зон на традиционно неорганизованных пляжах, на которое выделено 137 млн рублей, что свидетельствует о растущем интересе к акваториям как к объекту рекреационной деятельности [3].

Яхтенный туризм обладает большим потенциалом для туризма в малодоступных местах. По оценкам Ростуризма, в России зарегистрировано более 1,5 млн маломерных судов, однако их использование в организованном туризме остается низким, особенно во внутренних регионах, где доля яхтенных маршрутов не превышает 5 — 7 % от общего объема водных перевозок [4]. При этом стоит отметить, что в статистику ГИМС включаются только те суда, которые подлежат обязательной регистрации, и не учитываются, например, надувные лодки или другие плавсредства, не требующие регистрации. Ежегодно количество зарегистрированных маломерных судов увеличивается на 18 — 20 тыс. [5], при этом часть судов выбывает из регистрации. Более 2500 судоводителей каждый год получают удостоверения на право управления маломерным судном.

В Пермском крае река Кама способна обеспечивать доступ к некоторым объектам культурного наследия (например, Чердынскому историческому центру) и природным памятникам (Кунгурская ледяная пещера, Кваркушское плато), то есть развитие маломерного флота позволит создать новые маршруты для экотуризма, промышленного туризма (включая экскурсии к объектам судостроения, таким как Пермская судостроительная верфь) и оздоровительного отдыха. Проект развития водного туризма из Прикамья, признанный лучшим в России на федеральном конкурсе «Мастера гостеприимства» в 2024 г. [6], демонстрирует успешные практики локальных инициатив, ориентированных на речные круизы и активный отдых, с потенциалом масштабирования на яхтенный сегмент.

В целом, по данным регионального правительства [7], вклад туризма в ВРП Пермского края в 2024 г. составил около 3 — 4 %, и к 2030 г. прогнозируется рост до 6 % за счет развития водных направлений, что

позволит создать до 5 тыс. новых рабочих мест и привлечь инвестиции в инфраструктуру (причалы, марины, сервисы обслуживания флота).

В постпандемийный период спрос на внутренний туризм вырос на 25 %; осенью 2025 г. Пермский край вошел в ТОП-10 регионов для оздоровительного отдыха [8], где различные виды активности способствуют популяризации здорового образа жизни. Развитие современного яхтенного туризма на маломерных судах снижает экологическую нагрузку на акватории, способствуя сохранению биоразнообразия реки Камы и реализации федеральной программы по созданию национальных туристических маршрутов.

Научная литература по развитию яхтенного туризма в России остается крайне ограниченной, что подчеркивает значительный пробел в изучении этой перспективной отрасли. Системных монографий и крупномасштабных исследований практически нет; большинство публикаций — статьи в сборниках конференций и региональных журналах, а эти работы носят преимущественно описательный характер и сосредоточены на локальных кейсах. Например, потенциал яхтенного туризма в Архангельске рассматривается через призму сезонности, слабой инфраструктуры марин и необходимости государственной поддержки [2], в Краснодарском крае и новых регионах авторы акцентируют внимание на тех же проблемах, добавляя вопросы безопасности и интеграции присоединенных территорий [3]. Проект яхт-клуба в Хабаровске представлен как инновационный для Дальнего Востока, но без данных о его реализации и экономическом эффекте [4]. Отмечается общая нехватка количественных моделей и сравнительных исследований, что тормозит формирование единой стратегии развития отрасли.

Значительная часть публикаций фокусируется на рекреационной и оздоровительной функции яхтенного туризма. Яхтинг позиционируется как эффективное средство физического и психологического оздоровления молодежи [6], а также как элемент здорового образа жизни жителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области [8]. Авторы предлагают интегрировать парусный спорт и яхтенные практики в образовательные программы, однако подчеркивают барьер в виде недостатка доступных марин и квалифицированных инструкторов. Инфраструктурные вопросы поднимаются в работах, посвященных речному туризму в Ханты-Мансийском автономном округе [9], техническому обследованию плавучих причалов [10] и разработке инструментов оценки состояния водной инфраструктуры [11]. Особое внимание уделяется рискам коррозии и неравномерной нагрузки на причалы в условиях роста числа маломерных судов за последние 20 лет [10]. Перспективы цифровизации освещаются с точки зрения внедрения онлайн-платформ бронирования и мониторинга маршрутов [12], а также создания гибридных оздоровительных туров (например, йога на яхтах) [13].

Более ранние исследования Санкт-Петербурга 2019 г. фиксируют рост интереса к яхтенному туризму в Невской агломерации, но прогнозируют стагнацию без системной господдержки и развития марин [14]. В целом, несмотря на очевидный энтузиазм авторов и выявленный потенциал отрасли как драйвера региональной экономики и здорового образа жизни, крайне малое количество публикаций (десятки статей за десятилетие) и их локальный характер свидетельствуют о необходимости значительного расширения академических исследований яхтенного туризма в России.

С учетом сказанного выше целью анализа является оценка современного состояния инфраструктуры с помощью разработанного авторами подхода для эксплуатации маломерного флота на территории Пермского края с разработкой предложений по ее развитию.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для анализа яхтенных стоянок Пермского края был разработан подход, основанный на многокритериальной оценке инфраструктуры, в том числе доступности и туристской привлекательности объектов. Критерии выбраны с учетом их значимости для развития яхтенного туризма и соответствия стандартам обслуживания маломерного флота.

1. Этапы исследования.

● Сбор данных:

Источники: официальные сайты объектов, данные ГИМС МЧС России, Яндекс.Карты (отзывы и рейтинги), региональные туристические порталы, опросы туроператоров.

Период: 2024 — 2025 гг.

Объекты: 17 яхтенных стоянок и лодочных баз в бассейне реки Кама.

● Классификация объектов и сравнительный анализ:

По типу: яхт-клубы, лодочные станции, туристическая деревня.

По назначению: отдых, спорт, детский спорт, хранение, ремонт, другое.

Оценка каждого объекта по наличию/отсутствию характеристик, количественным показателям (например, длина причалов, габариты судов) и качественным данным (рейтинг, отзывы).

- Синтез данных:

Сравнительный анализ объектов по ключевым группам критериев (инфраструктура, доступность, сервис).

2. Ожидаемые результаты.

- Выявление объектов с наибольшим потенциалом для яхтенного туризма.
- Определение узких мест (например, отсутствие душевых, Wi-Fi, удаленность от больниц).
- Формирование рекомендаций по модернизации инфраструктуры и включению объектов в региональные туристические маршруты.

Такой подход позволит системно оценить яхтенные стоянки Пермского края, выявить их сильные и слабые стороны и предложить мероприятия для развития водного туризма.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Информационная обеспеченность проанализированных объектов критически низкая: лишь единицы имеют функционирующие сайты (яхт-клубы «Кабельщик», «Волна», «Пирс», «Фаворит»), в основном — страницы в социальных сетях. Сайт яхт-клуба «Бриз» не информативен. Отсутствует централизованный информационный портал. Данные о наличии средств навигационного оборудования на подходах к стоянкам в открытом доступе отсутствуют. Картографическое обеспечение для внутренних акваторий развито слабо. А по спутниковым снимкам и отрывочным данным невозможно оценить реальное состояние причалов, наличие гостевых мест, электричества, воды, слипов и ремонтных зон.

Большинство объектов («Максимовский», «Азот», «Лядовка» и др.) не публикуют информации, что указывает на их закрытый, клубный или некоммерческий характер. Это является главным барьером для развития въездного и внутреннего туризма. В открытых источниках не найдено информации о наличии заправочных станций на воде, пунктов сбора отходов, сервисов по зимнему хранению и ремонту, доступных для широкого круга пользователей. Технические ограничения, вероятно, значительны, но не могут быть оценены без выездного обследования. Природный потенциал при этом высок.

Ниже в табл. 1 представлены данные для комплексной оценки современного состояния инфраструктуры маломерного флота в Пермском крае.

Таблица 1

Сводные данные объектов инфраструктуры, используемых для эксплуатации маломерного флота

№	Наименование критерия	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Название									
		Яхт-клуб «Кабель- щик»	Яхт-клуб «Юлия»	Яхт-клуб «Волна»	Яхт-клуб «Пирс»	Яхт-клуб «Фаворит»	Лодо- чная станция «Волна»	Лодо- чная база «Норд»	Лодо- чная база «Лядо- вка»	Лодо- чная база «Мотор»	Лодо- чная база «Строи- тель»
Общие характеристики											
1	Назначение: отдых (О); спорт (С); детский спорт (ДС); хранение (Х); ремонт (Р)	О, С, ДС, Р	О	О, Х	О, Х, Р	О, С, ДС	Х	Х	О, Х, Р	О, Х	О, Х
2	Количество причалов / общая длина, м	15/139	10/125	20/155	30/356	24/217	37/282	13/483	23/168	28/230,3	24/317
Гидрографическое обеспечение и средства навигационного оборудования											
3	Расстояние до безопасной изобаты, м	6	6	6	6	6	4	4	2,2	3,3	3,7
4	Мосты при подходах к месту стоянки (препятствия / ограничения к внешнему рейду)	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть	нет	нет	нет

Продолжение табл. 1

№	Наименование критерия	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Название									
		Яхт-клуб «Кабельщик»	Яхт-клуб «Юлия»	Яхт-клуб «Волна»	Яхт-клуб «Пирс»	Яхт-клуб «Фаворит»	Лодочная станция «Волна»	Лодочная база «Норд»	Лодочная база «Лядовка»	Лодочная база «Мотор»	Лодочная база «Строитель»
Инфраструктура											
5	Максимальные габариты плавсредств, м	$L = 15$ $B = 5$ $T = 3,8$	$L = 20$ $B = 7$ $T = 3,8$	$L = 24$ $B = 10$ $T = 5,8$	$L = 20$ $B = 7$ $T = 5,8$	$L = 25$ $B = 10$ $T = 3,8$	$L = 14$ $B = 5$ $T = 3,8$	$L = 28$ $B = 9$ $T = 3,8$	$L = 10$ $B = 5$ $T = 2$	$L = 8$ $B = 6$ $T = 3,1$	$L = 15$ $B = 5$ $T = 3,5$
6	Вместимость	менее 50	менее 50	менее 50	более 50	более 50	более 50	менее 50	менее 50	более 50	более 50
7	Зимнее хранение яхт / судоремонт	нет/есть	нет	есть/нет	есть/есть	нет	возможно, есть	есть/нет	есть/нет	есть/нет	есть/нет
8	Наличие магазина яхтенных товаров	возможно, есть	нет	нет	есть	нет	нет	нет	нет	нет	нет
9	Наличие гостиницы в пешей доступности (до 1000 м)	есть	есть	есть	нет	есть	нет	нет	нет	нет	нет
10	Удаленность от ближайшей ж/д ст., км	Левшино, более 10	Левшино, более 10	Левшино, более 10	Левшино, более 10	Голованово и КамГЭС, менее 10	Голованово и КамГЭС, менее 10	Голованово и КамГЭС, менее 10	Новые Ляды, менее 10	Голованово, менее 15	Березники, менее 15
11	Наличие автомобильной стоянки	есть	есть	есть	есть	есть	есть	нет	есть	есть	нет
12	Расстояние до ближайшей больницы/поликлиники, км	до 10	до 10	до 5	до 5	до 10	до 10	до 10	до 5	до 15	до 15
Сервис											
13	Питание: самостоятельное (С), общественное (О)	С	С	С, О	С	С, О	С	С	С	С	С
14	Связь (наличие Wi-Fi)	возможно, есть	возможно, есть	есть	возможно, есть	есть	нет	нет	нет	нет	нет
15	Наличие питьевой воды на расстоянии не более 20 м от каждого стояночного места	есть	есть	есть	возможно, есть	возможно, есть	нет	нет	нет	возможно, есть	нет
16	Наличие достаточного количества туалетов и душевых	есть	нет	есть	нет	есть	нет	нет	нет	нет	нет
17	Безопасность (охрана)	есть	есть	есть	есть	есть	возможно, есть	возможно, есть	есть	есть	возможно, есть
18	Рейтинг (отзывы в СМК): от 5 (отлично) до 2 (плохо)	4,9 Яндекс	4,5 Яндекс	5,0 Яндекс	4,3 Яндекс	4,4 Яндекс	нет	нет	4,3 Яндекс	4,2 Яндекс	4,6 Яндекс
Туристская привлекательность											
19	Удаленность от центра Перми (Эспланада), км	24	23,5	25	24	21	20,7	21	35	31	200

Продолжение табл. 1

№	Наименование критерия	11	12	13	14	15	16	17
		Название марины, яхтенной стоянки						
		Лодочная база «Энергетик»	Лодочная станция «Вихрь»	Лодочная станция «Водник»	Лодочная станция «Мореман»	Лодочная станция «Нептун»	Лодочная станция «Рубин»	Туристическая деревня «Поляна»
Общие характеристики								
1.	Назначение: отдых (О); спорт (С); детский спорт (ДС); хранение (Х); ремонт (Р)	О, Х	О, С, Р	—	О, Х, Р	О, Х	Х	О, ДС
2.	Количество причалов / общая длина, м	40/179	55/512	—	5/354	10/365	2/40	7/98
Гидрографическое обеспечение и средства навигационного оборудования								
3.	Расстояние до безопасной изобаты, м	4	2,2	4,9	4,9	7,2	14,6	3,3
4.	Мосты при подходах к месту стоянки (препятствия / ограничения к внешнему рейду)	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
Инфраструктура								
5.	Максимальные габариты плавсредств, м	$L=20$ $B=9$ $T=3,8$	$L=13$ $B=4,3$ $T=2$	$L=20$ $B=15$ $T=4,5$	$L=20$ $B=15$ $T=4,5$	$L=20$ $B=15$ $T=7$	$L=20$ $B=8$ $T=5$	$L=10$ $B=4$ $T=3$
6.	Вместимость	менее 50	более 50	менее 50	менее 50	менее 50	менее 50	менее 50
7.	Зимнее хранение яхт / судоремонт	есть/нет	нет/есть	нет	есть	нет	нет	возможно, есть
8.	Наличие магазина яхтенных товаров	нет	возможно, есть	нет	нет	нет	нет	нет
9.	Наличие гостиницы в пешей доступности (до 1000 м)	нет	нет	есть	есть	нет	есть	да
10.	Удаленность от ближайшей ж/д ст., км	Левшино, менее 10	Лесная Поляна, менее 3	Курья, менее 3	Курья, менее 3	КамГЭС, менее 0,4	Пальники, менее 2	Пасечный хутор, менее 11
11.	Наличие автомобильной стоянки	есть	есть	есть	есть	нет	есть	есть
12.	Расстояние до ближайшей больницы/поликлиники, км	до 5	до 10	до 3	до 3	до 4	до 4	до 30
Сервис								
13.	Питание: самостоятельное (С), общественное (О)	С	С	С	С	С	С	О
14.	Связь (наличие Wi-Fi)	нет	возможно, есть	есть	есть	возможно, есть	есть	есть
15.	Наличие питьевой воды на расстоянии не более 20 м от каждого стояночного места	нет	есть	есть	есть	есть	нет	есть
16.	Наличие достаточного количества туалетов и душевых	есть	есть	есть	есть	нет	нет	есть
17.	Безопасность (охрана)	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
18.	Рейтинг (отзывы в СМК): от 5 (отлично) до 2 (плохо)	4,6 Яндекс	4,6 Яндекс	4,3 Яндекс	4,7 Яндекс	3,9 Яндекс	5,0 Яндекс	5,0 Яндекс
Туристская привлекательность								
19.	Удаленность от центра Перми (Эспланада), км	20	25,3	11,4	11,4	15	21,3	50

На основе данных из табл. 1 проведена оценка состояния инфраструктуры для эксплуатации маломерного флота в Пермском крае. Оценка учитывает ключевые аспекты: доступность, вместимость, сервис, безопасность и туристскую привлекательность 17 объектов (яхт-клубов, лодочных станций и туристической деревни). Далее представлены результаты анализа, сильные и слабые стороны инфраструктуры, а также предложения по ее развитию, включая интеграцию с достопримечательностями, такими как Красновишерский район.

Описание современного состояния инфраструктуры. В Пермском крае функционируют 17 объектов: 5 яхт-клубов («Кабельщик», «Юлия», «Волна», «Пирс», «Фаворит»), 11 лодочных станций и 1 туристическая деревня («ПОЛЯНА»). Большинство объектов (15 из 17) ориентированы на отдых, 14 предоставляют услуги хранения, а 6 предлагают судоремонт, что создает базу для яхтенного туризма и обслуживания маломерного флота. Туристическая деревня «ПОЛЯНА» выделяется уникальными форматами, такими как экотуризм и культурные мероприятия.

Яхт-клубы «Кабельщик» и «Фаворит» поддерживают спортивные программы, включая детский спорт, что способствует популяризации водных видов спорта.

Вместимость и причальная инфраструктура. Такие объекты, как «Вихрь» (55 причалов, 512 м), «Энергетик» (40 причалов, 179 м) и «Волна» (37 причалов, 282 м), имеют высокую вместимость (более 50 судов), что позволяет принимать значительное количество маломерных судов. Число причалов варьируется от 2 («Рубин») до 55 («Вихрь»). Максимальная длина у «Вихрь» (512 м) и «Норд» (483 м), минимальная — у «Рубин» (40 м). Это определяет вместимость и тип судов, которые могут обслуживаться.

Максимальные габариты судов варьируются: от небольших (8 м, «Мотор») до крупных (до 120 м, «Водник» и «Мореман», хотя эти данные требуют проверки). Ширина (В) составляет от 4 м («ПОЛЯНА») до 15 м («Водник», «Мореман», «Нептун»). Глубина акватории (Т) — от 2 м («Вихрь», «Лядовка») до 7 м («Нептун»). Это обеспечивает гибкость для разных типов судов, однако необычно большие значения длины для маломерного флота требуют дополнительного уточнения.

Транспортная доступность. Большинство объектов расположены в радиусе 11 — 35 км от центра Перми (Эспланада), что делает их доступными для жителей и туристов. Например, «Водник» и «Мореман» находятся в 11,4 км, а «Нептун» — в 400 м от ж/д станции КамГЭС. 13 объектов имеют автомобильные стоянки, что упрощает подъезд для автотуристов.

Инфраструктура для туристов. Гостиницы в пешей доступности (до 1000 м) есть у 7 объектов («Кабельщик», «Юлия», «Волна», «Фаворит», «Водник», «Мореман», «ПОЛЯНА»), что повышает их привлекательность для туристов.

Высокие рейтинги (4,6 — 5,0 на Яндекс.Картах) у объектов «Кабельщик» (4,9), «Волна» (5,0), «Рубин» (5,0), «ПОЛЯНА» (5,0) свидетельствуют о хорошем качестве услуг.

Водоснабжение, обеспечивающее доступ к питьевой воде, доступно на 9 объектах, туалеты и душевые — на 7, Wi-Fi — на 7 (и возможно, еще на 4).

Безопасность. Охрана присутствует на 15 объектах, что обеспечивает комфорт и безопасность для туристов и яхтсменов.

Навигационная доступность. Удаленность от основного судового хода (фарватера) составляет 2,2 — 14,6 м (средняя изобата — 4 — 6 м), что является достаточным для маломерных судов. Объекты «Лядовка» и «Вихрь» (2,2 м) наиболее удобны для подхода. Наиболее удаленная — «Рубин» (14,6 м), что ограничивает ее доступность для крупных судов. Отсутствие мостов-препятствий у «Лядовка», «Мотор» и «Строитель» упрощает навигацию, в то время как у 14 объектов мосты присутствуют как ограничение для подхода к внешнему рейду, что требует учета габаритов судов и высоты мостов.

Инфраструктура и сервис. Туалеты и душевые отсутствуют на 10 объектах (например, «Юлия», «Пирс», «Волна» (лодочная станция), «Норд», «Мотор»), что снижает комфорт для туристов. Питьевая вода недоступна на 5 объектах («Норд», «Мотор», «Энергетик», «Рубин»), что критично для длительных стоянок. Wi-Fi отсутствует на 6 объектах («Норд», «Мотор», «Строитель», «Энергетик», «Лядовка»), что ограничивает привлекательность для современных туристов. Магазины яхтенных товаров есть только на объектах «Пирс» (и возможно, «Кабельщик», «Вихрь», «ПОЛЯНА»), что ограничивает сервис для яхтсменов.

Навигационные ограничения. 14 объектов имеют мосты как препятствия при подходе к внешнему рейду, что ограничивает доступ для судов с высокими мачтами или крупными габаритами. Объект «Рубин» имеет максимальную удаленность от фарватера (14,6 м), что затрудняет подход крупных судов.

Недостаточная вместимость у ряда объектов. Объекты «Кабельщик», «Юлия», «Волна» (яхт-клуб), «Норд», «Лядовка», «Энергетик», «Водник», «Мореман», «Нептун», «Рубин», «ПОЛЯНА» имеют вместимость менее 50 судов, что ограничивает их потенциал для массового туризма.

Ограниченная доступность медицинских услуг. Удаленность от больниц/поликлиник для «ПОЛЯНА» (30 км) и «Мотор», «Строитель» (15 км) снижает безопасность в случае ЧС.

Отсутствие организованного питания. Общественное питание доступно только на 3 объектах («Волна» (яхт-клуб), «Фаворит», «ПОЛЯНА»). Остальные предлагают только самостоятельное питание, что неудобно для туристов.

Общий вывод.

Инфраструктура для эксплуатации маломерного флота в Пермском крае имеет значительный потенциал благодаря наличию 17 объектов с разнообразными функциями, хорошей транспортной доступностью и базовой безопасностью. Однако развитие туризма сдерживается неравномерным уровнем сервиса (отсутствие душевых, Wi-Fi, общественного питания), ограничениями навигации (мосты, удаленность от фарватера) и недостаточной вместимостью ряда объектов. Большинство яхтенных портов сосредоточены на Камском или Воткинском водохранилищах, которые обладают достаточными глубинами и шириной. Большая часть бассейна реки Камы и ее притоков обладает глубинами, обеспечивающими безопасное судоходство маломерных судов. Короткий навигационный период является одним из препятствий для развития туризма на маломерных судах, поскольку комфортный период для путешествий водным транспортом длится с мая по сентябрь.

Одним из ключевых факторов развития яхтенного туризма выступает стратегическое планирование. Частью его может быть создание единого краевого навигационно-туристического портала с актуальной информацией обо всех объектах базирования (координаты, контакты, услуги, цены, фото), мотивирование владельцев стоянок к созданию и поддержке информационных ресурсов, проведение мероприятий по продвижению яхтинга и водного туризма в регионе, разработка туристических маршрутов (создание и публикация готовых маршрутов по Каме с указанием стоянок, достопримечательностей и сервисов). Развитие инфраструктуры, включая организацию большего числа гостевых мест на стоянках, создание сети стационарных заправочных станций, внедрение экологических сервисов (например, сбор отходов), также является необходимым условием для реализации потенциала региона.

Устранение информационных и организационных барьеров является малозатратным и высокоэффективным первым шагом. Это позволит привлечь туристов из других регионов России, а также создать основу для притока инвестиций в инфраструктуру. Развитие сервисов и инфраструктуры повысит комфорт и безопасность, что в среднесрочной перспективе может привести к росту количества зарегистрированных маломерных судов и увеличению туристического потока.

Лидеры по туристской привлекательности — «Кабельщик», «Волна» (яхт-клуб), «Пирс», «Фаворит», «ПОЛЯНА» — могут стать основой для развития яхтенного туризма, но требуют модернизации.

Предложения по развитию.

На основе выявленных слабых и сильных сторон предлагаются следующие мероприятия.

1. Согласно информации, размещенной на официальном сайте Всероссийской федерации парусного спорта¹, в 2025 г. в Пермском крае проведены 3 спортивных мероприятия. Для сравнения, в Санкт-Петербурге их около 90, что соответствует 3 — 4 мероприятиям каждый выходной день в период летней навигации. По данным на этом сайте, в Пермском крае всего две школы парусного спорта (ВФПС 59 Пермь и Пермская краевая федерация парусного спорта (ПКФПС)). Также найдена информация о школах яхтенного спорта: ПКФПС, Парусная школа Пермского яхтенного центра, Школа парусного спорта «Темп» (яхт-клуб «Кабельщик»). Предлагается развивать данное направление, выделять финансирование для организации соревнований на водных видах транспорта.

2. Оснастить стоянки «Юлия», «Пирс», «Волна» (лодочная ст.), «Норд», «Мотор», «Строитель», «Нептун», «Рубин» санитарными модулями (мобильные душевые и туалеты). Ориентировочная стоимость одного модуля — 300 — 500 тыс. руб. Установка туалетов и душевых кабин. Пример: «ПОЛЯНА» имеет душевые и туалеты, что обеспечивает ей высокий рейтинг (5,0) на Яндекс.Картах.

3. Установить системы подачи питьевой воды на объектах «Норд», «Мотор», «Энергетик», «Рубин» (например, автономные резервуары с насосами, стоимость — 200 — 400 тыс. руб. на объект).

4. Подключить к Wi-Fi объекты «Норд», «Мотор», «Строитель», «Энергетик», «Лядовка» через локальные 4G-роутеры или спутниковую связь (стоимость — 50 — 100 тыс. руб. на объект).

5. Организовать мини-магазины яхтенных товаров (водного спорта) или пункты проката оборудования на объектах «Юлия», «Волна» (лодочная ст.), «Норд», «Мотор», «Строитель», «Энергетик», «Водник», «Мореман», «Нептун», «Рубин». Это повысит сервис для яхтсменов.

6. Открыть зоны общественного питания на объектах «Кабельщик», «Юлия», «Норд», «Лядовка»,

¹ Всероссийская федерация парусного спорта: <https://vfps.ru/competitions/>

«Мотор», «Строитель», «Энергетик», «Вихрь», «Водник», «Мореман», «Нептун», «Рубин». Модель: мобильные фудтраки или стационарные кафе (инвестиции — 1 — 2 млн руб. на объект).

7. Улучшить навигационно-гидрографическое обеспечение:

для обеспечения безопасности провести дноуглубительные работы у лодочной ст. «Рубин». Установить дополнительные навигационные знаки и буи у объектов с мостами-препятствиями (14 объектов) для упрощения подхода (стоимость — 100 — 200 тыс. руб. на объект);

оснастить все объекты средствами навигационного оборудования (буи, световые знаки, карты глубин), особенно там, где данные отсутствуют. Актуализировать карты, поддерживая для этого сотрудничество с ГИМС МЧС России и администрацией Камского бассейна.

8. Разработать яхтенные маршруты от объектов, расположенных близ рек. Использовать маломерные суда (катера, яхты длиной до 20 м) для экскурсий. Сезон: май — сентябрь. Разработать туристические пакеты «Кама — Вишера» с посещением Ветлана и Полудова камня, включая аренду маломерных судов, например на базах «Пирс», «Фаворит», «Вихрь» (вместимость более 50 судов), и проживание в гостиницах («Кабельщик», «ПОЛЯНА»).

9. Организовать трансфер. Включить объекты «Водник», «Мореман», «Нептун» (ближайшие к ж/д станциям) в качестве стартовых точек для комбинированных маршрутов (авто + водный транспорт) до Красновишерска. Пример: ж/д до станции Курья (3 км от «Водника» и «Моремана») + сплав по Вишере.

10. Повышение вместимости и функциональности:

увеличить количество причалов на объектах с низкой вместимостью («Юлия» — 10 причалов, «Норд» — 13, «Рубин» — 2) до 20 — 30 единиц;

организовать зимнее хранение на объектах «Юлия», «Фаворит», «Вихрь», «Нептун», «Рубин» (ангары или эллинги, стоимость — 2 — 3 млн руб. на объект);

расширить судоремонтные мощности на объектах «Волна» (яхт-клуб), «Норд», «Мотор», «Строитель», «Энергетик» для обслуживания туристских судов.

11. Открыть как минимум две плавучие АЗС — выше и ниже по течению от Камской ГЭС.

12. Внедрить круглосуточную охрану с видеонаблюдением.

13. Создать пункты первой помощи на объектах «ПОЛЯНА», «Мотор», «Строитель» (удалены от больниц на 15 — 30 км). Сотрудничать с местными поликлиниками, чтобы организовать дежурство медиков в сезон.

14. Маркетинг и интеграция в региональные программы:

рассмотреть возможность создания единого бренда «Яхтенный Пермский край» с сайтом и приложением, где будут представлены все 17 объектов, их услуги и маршруты к достопримечательностям (например, Вишерскому заповеднику). Добавить отзывы и рейтинги с Яндекс.Карт;

провести рекламные кампании через соцсети и туроператоров;

включить объекты в программу «Развитие туризма в Пермском крае на 2025–2030 годы». Сотрудничать с туристическими компаниями для продвижения маршрутов по Каме и Вишере на маломерном флоте как части национальных туристических маршрутов.

15. В целях экологической безопасности:

внедрить системы утилизации льяльных вод, например на объектах «Лядовка», «Мотор», «Строитель»; использовать экологичные маломерные суда (например, с электродвигателями) для маршрутов к заповедникам, чтобы минимизировать воздействие на экосистему.

Ожидаемые результаты:

- экономические: увеличение вклада туризма в ВРП Пермского края к 2030 г., создание новых рабочих мест;
- туристические: рост турпотока за счет новых маршрутов, в том числе к Красновишерскому району, и повышения комфорта на яхтенных стоянках;
- социальные: популяризация водных видов спорта и активного отдыха, особенно среди молодежи.

ВЫВОДЫ

Выполненный анализ показывает, что Пермский край обладает значительным потенциалом для развития яхтенного туризма и эксплуатации маломерного флота. Ключевым условием для реализации этого потенциала является переход к комплексной программе развития. Устранение информационных барьеров, масштабная модернизация сервисной инфраструктуры и интеграция разрозненных объектов в единую логистическую и туристическую сеть позволят не только повысить комфорт и безопасность для существующих пользователей, но и привлечь новый поток туристов. Стратегическая цель заключается в том, чтобы превратить акваторию Камы и ее притоков в хорошо обустроенную и узнаваемую рекреационную зону, где развитая инфраструктура маломерного флота станет связующим звеном между туристами и уникальными природными и культурными достопримечательностями Пермского края, обеспечивая тем самым устойчивый вклад в социально-экономическое развитие региона.

Авторы обращают внимание, что сбор и обобщение информации выполнялось из открытых интернет-источников, социальных сетей и иных онлайн-платформ или веб-сайтов для общения, поскольку официальные сайты были выявлены не у всех организаций. Данные собирали вручную, с применением геоинформационных систем, анализом кадастровых, навигационных и географических карт, и расчеты также выполнялись вручную, поэтому возможны расхождения с фактическим состоянием инфраструктуры яхтенных портов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие туризма в Пермском крае. [Электронный ресурс] URL: <https://www.business-class.ru/news/2025/07/18/permskii-krai-poluchit-bolee-363-mln-rublei-na-razvitiie-turisticheskoi-infrastruktury?ysclid=mgm308o6x3786406986>
2. Преминина Я.К. Яхтенный туризм в городе Архангельске: возможности, проблемы и перспективы развития / Я.К. Преминина // LXXVI Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: м-лы Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 19 — 21 апреля 2023 г.: в 2 т. — СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2023. — Т. II. — С. 342 — 345. — EDN CIRKHK.
3. Овчаренко Л.А. Яхтенный туризм в Краснодарском крае и новых российских регионах: проблемы и перспективы / Л.А. Овчаренко, Е.А. Панина, Е.С. Франченко // Регионология. — 2025. — Т. 33, № 2 (131). — С. 221 — 238. — DOI 10.15507/2413-1407.129.033.202502.221-238. — EDN LKMDBF.
4. Ван Н.Ч. Яхт-клуб в городе Хабаровске / Н.Ч. Ван, Т.А. Смольянинова // Новые идеи нового века: м-лы Междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. — 2023. — Т. 1. — С. 64 — 67. — EDN KRUXBJ.
5. Регистрация маломерных судов увеличивается на 18 — 20 тыс. [Электронный ресурс] URL: <https://moscow.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/intervyu/3766609>
6. Поддубная Т.Н. Яхтенный туризм как средство рекреации и оздоровления молодежи / Т.Н. Поддубная // Актуальные проблемы реализации здоровьесберегающих технологий в образовательной среде: м-лы V Всерос. науч.-практ. конф., Ростов-на-Дону, 7 — 8 апреля 2022 г. — Ростов-н/Д.: АкадемЛит (Издатель ИП Ковтун С.А.), 2022. — С. 91 — 94. — EDN AMDSCX.
7. Вклад туризма в ВРП Пермского края в 2024 году составил около 3–4%. [Электронный ресурс] URL: https://permnews.ru/novosti/tourism/2025/03/20/_ermskom_krae_aktivno_razvivayut_turizm_itozi_realizacii_nasproekta_za_2024_god/
8. Мозокина С.Л. Популяризация яхтинга как составляющей здорового образа жизни в Санкт-Петербурге и Ленинградской области / С.Л. Мозокина, С.Н. Ковалев // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. — 2021. — № 5 (131). — С. 165 — 170.
9. Мисюра В.А. Развитие речного туризма в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре / В.А. Мисюра // Общество. — 2024. — № 2-2 (33). — С. 66 — 71. — EDN TTVSPV.
10. Гарибин П.А. Некоторые проблемы обследования плавучих причалов яхтенных марин / П.А. Гарибин, С.В. Егоров, А.А. Буцанец // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 783 — 797. DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-5-783-797.
11. Буцанец А.А. Опросный лист для предварительной оценки технического состояния инфраструктуры и разработки регионального стандарта транспортного обслуживания населения водным транспортом / А.А. Буцанец, Е.О. Ольховик, А.М. Жидкова // Сб. науч. ст. Нац. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», Санкт-Петербург, 30 сентября — 20 октября 2024 года. СПб.: ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2025. — Т. 1. — С. 69 — 73. — EDN QXMLPJ.
12. Цатурова А.Р. Перспективы яхтенного туризма в условиях цифровизации и развития инфраструктуры / А.Р. Цатурова, Т.В. Кириллова // Цифровая экономика, умные инновации и технологии. — СПб.: Политех-пресс, 2021. — С. 417 — 420. — EDN PBGOEV.
13. Уварова М.В. Йога-тур по Камскому Устью «Крылья Совершенства» / М.В. Уварова, Е.В. Семенова // Грани гостеприимства: м-лы I Всерос. науч.-практ. конф., Казань, 1 января — 31 2023 года. — Казань: Познание, 2023. — С. 103 — 106. — EDN ALKKNH.
14. Алексанков А.М. Современное состояние и перспективы развития яхтенного туризма в Санкт-Петербурге / А.М. Алексанков, С.Н. Ковалев, С.Л. Мозокина // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. — 2019. — № 2 (116). — С. 90 — 96. — EDN RHIBDQ.

REFERENCES

1. Razvitie turizma v Permskom krae [Tourism development in the Perm Krai]. URL: <https://www.business-class.su/news/2025/07/18/permskii-krai-poluchit-bolee-363-mln-rublei-na-razvitie-turisticheskoi-infrastruktury?ysclid=mgm308o6x3786406986>
2. Preminina Ya.K. Yacht tourism in the city of Arkhangelsk: Opportunities, challenges and development prospects. *LXXVI Gertsenovskie chteniya. Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya [Herzen Readings. Geography: The development of science and education: Proc. of the International science and pract. conf., St. Petersburg, April 19 — 21, 2023: in 2 vols]*. St. Petersburg: RGPU im. A.I. Gertsena, 2023. Vol. II. P. 342 — 345. EDN CIRKHK. (In Russ.)
3. Ovcharenko L.A., Panina E.A., Franchenko E.S. Yakhthenyi turizm v Krasnodarskom krae i novykh rossiiskikh regionakh: problemy i perspektivy [Yacht tourism in the Krasnodar Krai and new Russian regions: problems and prospects]. *Regionologiya [Regional studies]*. 2025. Vol. 33, No. 2 (131). P. 221 — 238. DOI 10.15507/2413-1407.129.033.202502.221-238. EDN LKMDBF.
4. Van N.Ch., Smol'yaninova T.A. Yacht-klub v gorode Khabarovske [Yacht club in the city of Khabarovsk]. *Novye idei novogo veka [New ideas in the new age: Proc. of the International science conf. at the Dep. of Architecture and Design of the Pacific National University]*. 2023. Vol. 1. P. 64 — 67. EDN KRUXBJ.
5. Registratsiya malomernykh sudov uvelichivaetsya na 18 — 20 tys. [Registration of small vessels increases by 18 — 20 thousand]. URL: <https://moscow.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/intervyu/3766609>
6. Poddubnaya T.N. Yacht tourism as a means of recreation and youth health improvement. *Aktual'nye problemy realizatsii zdorov'esberegayushchikh tekhnologii v obrazovatel'noi srede [Current issues of implementing health-saving technologies in the educational environment: Proc. of the 5th All-Russia science conf., Rostov-on-Don, April 7 — 8, 2022]*. Rostov-na-Donu: AkademLit, 2022. P. 91 — 94. EDN AMDSCX. (In Russ.)
7. Vklad turizma v VRP Permskogo kraya v 2024 godu sostavil okolo 3–4% [The contribution of tourism to the Perm Krai' GRP in 2024 amounted to approximately 3–4%]. URL: https://permnews.ru/novosti/tourism/2025/03/20/_permskom_krae_aktivno_razvivayut_turizm_ito-gi_realizatsii_nacproekta_za_2024_god/
8. Mozokina S.L., Kovalev S.N. Popularization of yachting as a healthy lifestyle component in St. Petersburg and Leningrad region. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Bulletin of St. Petersburg State University of Economics]*. 2021. No. 5 (131). P. 165 — 170.
9. Misyura V.A. Development of river tourism in Khanty-Mansi autonomous okrug — Ugra. *Obshchestvo [Society]*. 2024. № 2-2 (33). P. 66 — 71. EDN TTVSPV.
10. Garibin P.A., Egorov S.V., Butsanets A.A. Some issues of surveying floating berths of yacht marinas. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. 2023. Vol. 15, No. 5. P. 783 — 797. DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-5-783-797. (In Russ.)
11. Butsanets A.A., Ol'khovik E.O., Zhidkova A.M. Checklist for preliminary assessment of the technical condition and development of a regional standard of water transport service for the population. *Sbornik nauchnykh statei Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii professosko-prepodavatel'skogo sostava FGBOU VO "GUMRF imeni admirala S.O. Makarova [A collection of articles of the National science and pract. conf., by the teaching staff of Admiral S.O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, September 30 — October 20, 2024]*. St. Petersburg: GUMRF imeni admirala S.O. Makarova, 2025. Vol. 1. P. 69 — 73. EDN QXMLPJ.
12. Tsaturova A.R., Kirillova T.V. Prospects for yacht tourism in the context of digitalization and infrastructure development. *Tsifrovaya ekonomika, umnye innovatsii i tekhnologii [Digital economy, smart innovation and technology]*. St. Petersburg: Politekh-press, 2021. P. 417 — 420. EDN PBGOEV.
13. Uvarova M.V., Semenova E.V. Yoga tour of the Kamskoe ustye "Wings of Perfection". *Grani gostepriimstva [Aspects of Hospitality: Proc. of the 1st All-Russia science and pract. conf., Kazan, January 1 — 31, 2023]*. Kazan: Poznanie, 2023. P. 103 — 106. EDN ALKKHH.
14. Aleksankov A.M., Kovalev S.N., Mozokina S.L. Current state and prospects of development of yacht tourism in St. Petersburg. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Bulletin of St. Petersburg State University of Economics]*. 2019. No. 2 (116). P. 90 — 96. EDN RHIBDQ.

ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЕЙ

1.1 Материал статьи должен являться оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, соответствовать профилю журнала. Он должен содержать информацию, подтверждающую актуальность и практическую значимость исследования, а также информацию о внедрении его результатов.

1.2 Авторы несут личную ответственность за то, что текст статьи не содержит материалов:

- рекламного характера;
- содержащих государственную тайну;
- публикация которых приведет к нарушению действующего законодательства РФ в сфере защиты информации и интеллектуальной собственности.

1.3 В тексте статьи может быть указан источник финансирования выполненных исследований.

1.4 Материалы для публикации в журнале предоставляются авторами на безвозмездной основе.

1.5 Общие требования к оформлению материалов.

1.5.1 Объем материалов в электронном виде должен составлять не более 20000 печатных знаков. В этот объем включаются таблицы, схемы, диаграммы и т. д., а также изображения в виде иллюстраций.

1.5.2 Статья должна содержать следующую информацию:

- заглавие на русском и английском языках, точно отражающее содержание статьи (не более 120 печатных знаков);
- фамилия, имя, отчество авторов приводятся полностью. Количество указанных авторов статьи не должно превышать 4 чел.;
- сведения об авторах: по каждому из авторов должны быть приложены на русском и английском языках подробные сведения — ученые степень и звание, должность, место работы (принятое в уставе организации официальное название), город, телефон и адрес электронной почты автора;
- индекс УДК;
- аннотацию, в которой четко определены основные цели, задачи, содержание и результаты проведенного исследования, возможности его практического применения. Приводится на русском и английском языках. Объем от 100 до 250 слов;
- ключевые слова: 8 — 10 слов/словосочетаний, наиболее полно отражающих тему статьи. Недопустимо использование слов общего характера (например, — проблема, решение). Предоставляются на русском и английском языках (Key words). Ключевые слова по возможности не должны повторять термины заглавия и аннотации, а должны использовать термины из текста статьи и термины, определяющие предметную область, а также включать другие важные понятия, позволяющие облегчить и расширить возможности нахождения статьи средствами информационно-поисковой системы;
- основной текст статьи: общие принципы построения статьи могут варьироваться в зависимости от тематики и особенностей проведенного исследования. Рекомендуется выделять в тексте статьи постановку задачи, описание методов решения, анализ результатов и выводы. Если имеется перевод статьи на английский язык, желательно его представить;
- список литературы.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДОСТАВЛЕНИЮ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

2.1 Список литературы обязательно оформляется в двух вариантах: на кириллице и на латинице. Список литературы на кириллице приводится в конце статьи, оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003. Библиографические ссылки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

2.2 Кириллические названия в списке литературы транслитерируются на латиницу. Для автоматизации процесса транслитерации можно воспользоваться программным обеспечением, которое доступно по адресу www.translit.ru (в раскрывающемся списке «Варианты» выбрать вариант BGN).

2.3 Основные стандарты для предоставления ссылок в латинице на статьи из журналов.

2.3.1 Для русскоязычных статей рекомендуются следующие схемы библиографической ссылки:

.1 полное описание статьи:

- авторы (транслитерация);
- заглавие статьи (транслитерация);
- [перевод заглавия статьи на английский язык в квадратных скобках];
- название русскоязычного источника (транслитерация);
- [перевод названия источника на английский язык];
- выходные данные с обозначениями на английском языке, либо только цифровые;

.2 описание статьи только с переводом заглавия статьи на английский язык:

- авторы (транслитерация);
- перевод заглавия статьи на английский язык;
- название русскоязычного источника (транслитерация и курсив);
- [перевод названия источника на английский язык];
- выходные данные с обозначениями на английском языке, либо только цифровые;
- указание на языке статьи (In Russ.) после описания статьи.

Предлагаемая схема:

Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. Title of Journal, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49 — 53.

Пример:

Byzov A.L., Utina I.A. The centrifugal effects on amacrine cells in the retina of frog. *Neirofiziolgia [Neurophysiology]*. 1971; (3): 293 — 300. (In Russ.)

2.3.2 Число авторов не ограничивается тремя, а указывается, по возможности, все или в разумных пределах.

2.3.3 Заглавие статьи не берется в кавычки.

2.3.4 Год ставится за заглавием журнала.

2.3.5 Название источника выделяется курсивом. Применение курсива для названия источника очень важно, т. к. исполнение одним шрифтом заглавия статей и источника в русскоязычных ссылках часто приводит к ошибочному их представлению в системах цитирования.

2.4 Основные стандарты для предоставления ссылок в латинице на другие виды изданий.

2.4.1 Рекомендуется следующая схема описания монографии (книги, сборника):

- автор(ы) монографии;
- название монографии (транслитерация и курсив);
- [перевод названия монографии в квадратных скобках];
- выходные данные: место издания на английском языке — Moscow, St. Petersburg; издательство на английском языке, если это организация (Moscow St. Univ. Publ.), и транслитерация, если издательство имеет собственное название с указанием на английском, что это издательство: GEOTAR-Media Publ., Nauka Publ.;
- количество страниц в издании.

Пример: Nigmatulin R.I. *Dinamika mnogofaznykh sred* [Dynamics of multiphase media]. Moscow, Nauka Publ., 1987. Pt. 1, 464 p.

2.5 Примеры описаний литературных источников в латинице.

2.5.1 Описание статьи из электронного журнала:

Kontorovich A.E., Korzhubaev A.G., Eder L.V. [Forecast of global energy supply: Techniques, quantitative assessments, and practical conclusions]. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2006, no. 5. (In Russ.) Available at: <http://www.vipstd.ru/gim/content/view/90/278/>. (accessed on 22.05.2012).

2.5.2 Описание статьи из продолжающегося издания (сборника трудов):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. [Experimental study of the strength of joints "steelcomposite"]. *Trudy MGTU "Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh system"* [Proc. of the Bauman MSTU "Mathematical Modeling of Complex Technical Systems"], 2006, no. 593, pp. 125 — 130. (In Russian).

2.5.3 Описание материалов конференций:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Symp. "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"]. Moscow, 2007, pp. 267 — 272. (In Russian).

Нежелательно включать только переводное название конференции, так как оно при попытке найти эти материалы идентифицируется с большим трудом.

2.5.4 Описание переводной книги:

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. Kolebaniia v inzhenernom dele. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

2.5.5 Описание Интернет-ресурса:

Kondrat'ev V.B. Global'naya farmatsevticheskaya promyshlennost' [The global pharmaceutical industry]. Available at: http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmacevticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html. (accessed 23.06.2013).

2.5.6 Описание диссертации или автореферата диссертации:

Semenov V.I. Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. And math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

2.5.7 Описание ГОСТ:

GOST 8.586.5-2005. Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichstva zhidkosti i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroystv [State Standard 8.586.5 – 2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

3. ТРЕБОВАНИЯ К АННОТАЦИЯМ

3.1 Основные цели и задачи аннотации.

Аннотация является кратким резюме большой по объему работы, имеющей научный характер. Аннотация может публиковаться самостоятельно, в отрыве от основного текста и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации.

По аннотации к статье читателю должна быть понятна суть исследования.

По аннотации читатель должен определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации.

Аннотации к статьям доступны на сайте журнала <https://rs-class.org/ru/register/about/scientific/ntsb.php>.

Аннотация на русском языке является основой для подготовки авторского резюме на английском языке, но не должна переводиться дословно (калькой), при этом должны соблюдаться основные правила и стилистика английского языка. Использование автоматизированных программ для перевода категорически запрещено. При обнаружении низкого качества перевода аннотации статья будет отклонена.

3.2 Структура, содержание и объем аннотации.

Аннотация должна излагать существенные факты работы, не должна преувеличивать или содержать материал, который отсутствует в основной части публикации.

Приветствуется структура аннотации, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты/обсуждение, заключение/выводы.

Аннотация включает:

- цель работы в сжатой форме. Предыстория (история вопроса) может быть приведена только в том случае, если она связана контекстом с целью;

- краткое изложение основных фактов работы, при этом необходимо:

- следовать хронологии статьи и использовать ее заголовки в качестве руководства;

- не включать несущественные детали;

- обеспечивать, чтобы текст был связным — с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т.д. («consequently», «moreover», «for example», «the benefits of this study», «as a result» etc.);

- использовать активный, а не пассивный залог, т.е. «The study tested», но не «It was tested in this study»;

- выводы, сопровождаемые рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье.

Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся.

В тексте аннотации следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.

Текст аннотации должен быть лаконичен и четок, свободен от второстепенной информации, лишних вводных слов, общих и незначащих формулировок.

Сокращенные и условные обозначения, кроме общеупотребительных, применяют в исключительных случаях или дают их расшифровку и определения при первом употреблении в авторском резюме.

В аннотации не делаются ссылки на номер публикации в списке литературы к статье.

Объем текста аннотации определяется содержанием публикации (объемом сведений, их научной ценностью и/или практическим значением), должен быть от 100 до 250 слов.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТА

4.1 Редактор — MS Word.

4.2 Шрифт: Times New Roman, размер шрифта — 14, цвет — черный, начертание — обычное. Интервал между строками — 1,5; абзацный отступ — 1,25; ориентация — книжная; поля — 2 см со всех сторон. Текст должен быть выровнен по ширине. Красные строки обязательны.

4.3 Разделы статьи (кроме «Введение» и «Выводы») нумеруются арабскими цифрами. Допускается не нумеровать разделы (заголовки), служащие лишь для акцентирования тем в небольшом тексте.

4.4 Нумерация пунктов и в списках — арабскими цифрами.

4.5 Ссылки на источник в списке литературы нумеруются арабскими цифрами и приводятся в тексте в квадратных скобках.

4.6 Подстрочные примечания (вынесенные из основного текста в конец полосы) связываются с текстом сносками в виде арабских цифр и нумеруются в пределах каждой отдельной полосы (страницы). Цифры набираются на верхнюю линию шрифта.

4.7 Кавычки оформляются символами «...» для наименований, набранных кириллицей, и символами "..." для наименований, набранных латиницей.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ФОРМУЛ, ТАБЛИЦ И ИЛЛЮСТРАЦИЙ

5.1 Формулы должны быть набраны в редакторе формул MS Word или символьным шрифтом. Вставки формул в виде картинок любого формата не допускаются. Размер кегля для формул — 12. Формулы, если их больше одной и если на них есть ссылки, нумеруются арабскими цифрами в круглых скобках по правому краю полосы.

5.2 Таблицы, если их больше одной, должны быть пронумерованы. Таблицы должны иметь заголовки, если только они не следуют сразу за текстом, однозначно определяющим их содержание. Номер таблицы и заголовок размещаются над таблицей. Таблицы должны быть выполнены в MS Excel или MS Word и встроены в текст статьи. Вставка таблиц в виде картинок любого формата не допускается. Размер кегля для таблиц — 11.

5.3 Иллюстрации (рисунки), если их больше одной (одного), должны быть пронумерованы и иметь подпись (если только содержание иллюстрации не понятно однозначно из предшествующего текста). Графические и фотоматериалы должны быть представлены в форматах JPEG, TIFF, быть качественными и иметь разрешение не менее 300 dpi.

5.4 Публикация фотографий/изображений в журнале «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства» осуществляется в соответствии с требованиями статьи 1274 части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации от 18 декабря 2006 г. N 230-ФЗ. Свободное использование материалов в информационных и научных целях осуществляется с обязательным соблюдением следующих условий:

- указание автора или иного лица, являющегося правообладателем;
- указание источника заимствования;
- использование материалов в объеме, оправданном целью цитирования.

6. РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ СТАТЕЙ

6.1 Текст статьи в электронном виде следует направлять непосредственно в адрес главного редактора журнала (kuteynikov.ma@rs-class.org).

6.2 Статьи, направляемые в журнал «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства», проходят процедуру двойного слепого рецензирования. Компетентные рецензенты имеют все возможности свободно высказать мотивированные критические замечания относительно уровня и ясности изложения представленного материала, его соответствия профилю журнала, новизны и достоверности результатов. Решение о публикации статьи принимается главным редактором и редакционной коллегией журнала с учетом всех имеющихся материалов и рецензий.

6.3 По результатам рецензирования статья может быть принята, отклонена или направлена автору на доработку.

6.4 Материалы, не утвержденные Редакционной коллегией к размещению в журнале, возвращаются автору с объяснением причины отказа в публикации.

6.5 Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих его тематике, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Рецензии хранятся в издательстве и в редакции издания в течение 5 лет.

6.6 Редакция издания обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.

В оформлении издания использовались графические материалы
из открытых источников сети интернет:

<http://gibka-rezka-svarka.ru/>
<http://ns.abunda.ru/84637-ogromnye-vinty-bolshix-korablej-27-foto.html>
<http://www.cloveritservices.com/Home.aspx>
www.fonstola.ru/
www.wallpapers.ru/
<http://www.ye42oester.nl/>
<http://miraziz.uz/>
<http://www.radioscanner.ru/>
<http://xn--24-dlcyxgbyj.xn--80asehdb/?p=4257>
<http://www.russiapost.su/archives/12268>
<http://utimenews.org/ru/>
<http://kmtip.ru/>
<http://www.efg-berlin.de/>
<http://maritimeforum.net/>
<http://korabley.net/>
<http://demoweb.hermosoft.com/efos/>
<https://cdo.smolgu.ru>

Фото для обложки журнала предоставлено Мажириным Ильей Аркадьевичем,
инженером-инспектором Дальневосточного филиала РС

Научное издание

**Научно-технический сборник
Российского морского регистра судоходства
№ 81**

Редактор *Е.П. Чебучева*
Компьютерная верстка *В.Ю. Пирогов*
Дизайн концепции *М.В. Ведмеденко*

Подписано в печать 28.12.2025. Дата выхода в свет 28.12.2025. Формат 60 × 84/8
Усл. печ. л.: 12,3. Уч.-изд.л.: 12,1. Тираж 200. Свободная цена. Заказ № 374

Учредитель и издатель: Российский морской регистр судоходства
191186, г. Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д. 7, литера А
www.rs-class.org/ru/

Отпечатано на полиграфической базе Российского морского регистра судоходства
191186, г. Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д. 7, литера А