

# Морской



# Вестник

№2(78)

И Ю Н Ъ

2 0 2 1

ISSN 1812-3694

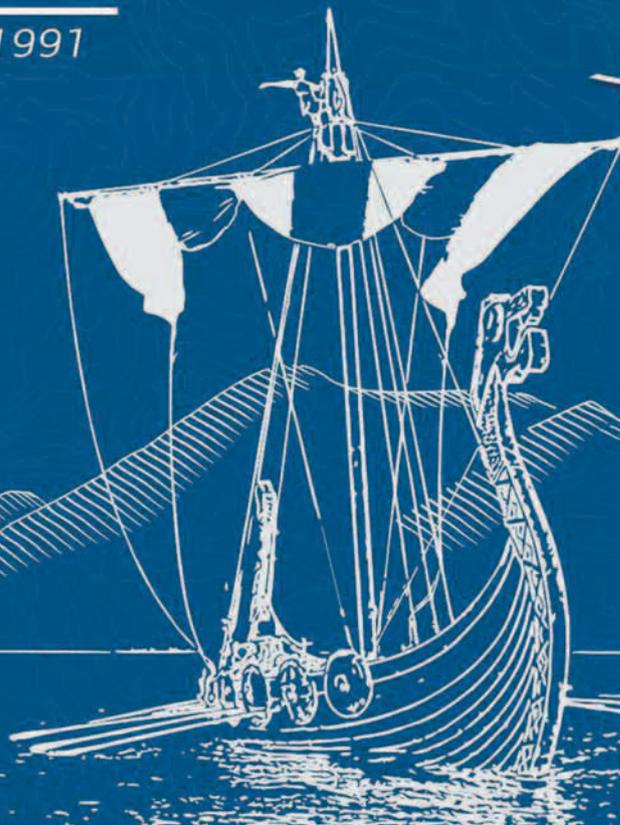
*Morskoy Vestnik*

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

# МНС

Основано в 1991

# 30 ЛЕТ



## Делаем недоступное возможным!



АО «МОРСКИЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»

198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Промышленная, 19

+7 (812) 320-3840 • факс: +7 (812) 320-3848 • e-mail: [mns@mnsspb.ru](mailto:mns@mnsspb.ru)

[www.mnsspb.ru](http://www.mnsspb.ru)

**28** апреля на Средне-Невском судостроительном заводе (входит в Объединенную судостроительную корпорацию) состоялась церемония спуска на воду корабля противоминной обороны (ПМО) «Пётр Ильичёв» пр.12700.

В праздничном мероприятии участвовали главнокомандующий ВМФ РФ адмирал Николай Евменов, председатель Совета директоров АО «ОСК» Георгий Полтавченко, генеральный директор АО «Средне-Невский судостроительный завод» Владимир Середохо, генеральный директор Центрального морского конструкторского бюро «Алмаз» Александр Шляхтенко, а также работники и ветераны завода. Право разбить бутылку шампанского о борт тральщика предоставили заслуженному сотруднику завода – начальнику отдела систем автоматизированного проектирования Александре Кирюшкиной.

В январе текущего года, после завершения работ по формированию корпуса корабля, насыщению его системами и механизмами, специалисты верфи вывели тральщик из эллинга. Кораблями СНСЗ выполнена установка надстройки, осуществлен монтаж башенно-мачтового устройства, антенного оборудования и общекорабельных систем. После спуска на воду корабль встал к причалу завода, где продолжатся работы по его достройке. В ближайшее время заводская сдаточная команда начнет подготовку к первому этапу швартовых испытаний. Передача корабля «Петр Ильичёв» ВМФ РФ ожидается в конце 2021 г.

Проект 12700 разработан ЦМКБ «Алмаз» для ВМФ РФ. Эти корабли относятся к новому поколению минно-тральных сил и предназначены для борьбы с морскими минами, которые новые корабли противоминной обороны могут обнаруживать как в воде морских акваторий, так и в морском грунте, не входя в опасную зону. Для борьбы с минами корабли могут применять различные виды тралов, а также телеуправляемые и автономные необитаемые подводные аппараты.

При строительстве таких кораблей на СНСЗ применяются новейшие российские технологии, не имеющие аналогов в мировом судостроении. Корабли этого проекта имеют уникальный, самый большой в мире корпус из монолитного стеклопластика, сформированного методом вакуумной инфузии. Масса такого корпуса значительно ниже, чем металлического. При этом существенно увеличивается его прочность. Такому корпусу не страшна коррозия, а срок службы при соблюдении норм эксплуатации неограничен.

Согласно плану Главного командования ВМФ России, корабли ПМО

## НА СРЕДНЕ-НЕВСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ СПУЩЕН НА ВОДУ БАЗОВЫЙ ТРАЛЬЩИК «ПЁТР ИЛЬИЧЁВ»

АО «Средне-Невский судостроительный завод»,  
контакт. тел. (812) 648 3086



На митинге выступает генеральный директор АО «СНСЗ» В.А. Середохо

нового поколения в ближнесрочной перспективе будут составлять основу минно-тральных сил флотов ВМФ России, существенно повысив эффективность выполнения задач.

### Характеристики кораблей противоминной обороны пр. 12700

Водоизмещение, т.....	ок. 890
Длина, м.....	ок. 62
Ширина, м.....	ок. 10
Полная скорость хода, уз.....	ок. 16
Экипаж, чел.....	44

Корабль назван в честь Петра Ивановича Ильичёва (28.01.1927–18.08.1945) – рулевого сторожевого катера «СК-253» 6-го дивизиона сторожевых кораблей

Петропавловской военно-морской базы Тихоокеанского флота.

Когда началась советско-японская война, Пётр Ильичёв был включен в батальон морской пехоты, которая 18 августа 1945 г. приняла участие в бою на самом северном острове Курильской гряды – Шумшу. В ходе боя Ильичёв был ранен, а когда у него кончились патроны и гранаты, закрыл амбразуру вражеского пулемета своим телом.

За этот подвиг 21 сентября 1958 г. П.И. Ильичёву посмертно было присвоено звание Героя Советского Союза. ■



Корабль ПМО «Пётр Ильичёв» спущен на воду

# Морской Вестник



№ 2 (78)

И Ю Н Ь

2 0 2 1

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

## Редационный совет

### Председатель

А.Л. Рахманов, генеральный директор

АО «Объединенная судостроительная корпорация»

### Сопредседатели:

М.В. Александров, генеральный директор АО «ЦТСС»,

президент Ассоциации судостроителей СПб и ЛО

В.С. Никитин, президент Международного

и Российского НТО судостроителей

им. акад. А.Н. Крылова

Г.А. Турчин, ректор СПбГМУ

### Члены совета:

М.А. Александров, директор

ЗАО «ЦНИИ СМ»

А.С. Бузаков, генеральный директор

АО «Адмиралтейские верфи»

Н.М. Вихров, генеральный директор

ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

Е.Т. Гамбашидзе, генеральный директор

АО «Системы управления и приборы»

В.Ю. Дорофеев, генеральный директор

АО «СПМБМ «Малахит»

А.А. Дьячков, генеральный директор

АО «Северное ПКБ»

Г.В. Егоров, генеральный директор

ООО «Морское инженерное бюро-СПб»

М.В. Захаров, генеральный директор

ООО «Пумори-северо-запад»

Э.А. Конов, директор ООО Издательство «Мор Вест»

А.А. Копанев, генеральный директор

АО «НПФ «Меридиан»

Г.А. Коржавин, научный руководитель

АО «Концерн «Гранит-Электрон»

А.В. Кузнецов, генеральный директор АО «Армалит»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор

АО «Компрессор»

Г.Н. Муру, генеральный директор АО «51 ЦКТИС»

Н.В. Орлов, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

А.Г. Родионов, генеральный директор

АО «Ситроникс КТ»

С.В. Савков, генеральный директор

АО «Новая ЭРА»

В.А. Середохо, генеральный директор

АО «СНСЗ»

К.А. Смирнов, генеральный директор АО «МНС»

А.С. Соловьев, генеральный директор

ПАО «Выборгский судостроительный завод»

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

В.С. Татарский, генеральный директор АО «ЭРА»

А.Л. Ульянов, генеральный директор

ООО «Нева-Интернэшнл»

С.Г. Филимонов, генеральный директор

АО «Концерн Морфлот»

Г.Р. Цатуров, генеральный директор

ОАО «Пелла»

В.В. Шаталов, генеральный директор

АО КБ «Вымпел»

К.Ю. Шилов, генеральный директор

АО «Концерн «НПО «Аврора»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор

АО «ЦМКБ «Алмаз»

И.В. Щербаков, генеральный директор

ООО ПКБ «Петробалт»

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

- На «Средне-Невском судостроительном заводе» спущен на воду базовый тральщик «Пётр Ильичёв»..... 1
- Э.А. Конову – 80 лет ..... 6
- Д.В. Жмурин, К.В. Жмурин, С.В. Московкина. Торпедолов ТЛ-2195. Пополнение в составе судов обеспечения боевой подготовки военно-морского флота..... 8
- В.К. Дьяченко, И.А. Захряпин, Д.Е. Цымляков. Задача преодоления амфибийным судном на воздушной подушке препятствия типа «узкая вертикальная стенка» ..... 12
- М.А. Александров, Ю.Л. Бордученко. Перспективы атомного ледокольного флота по освоению Северного морского пути ..... 17
- А.Г. Егоров. Речные круизные суда КНР: исследование характеристик судов... 25
- Е.В. Сальников, Ю.С. Самычко. Цифровой двойник: теория и перспективы применения..... 33
- Р.Н. Караев. Плавающие трубоукладочные сооружения. Часть 2 ..... 36

### ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Г.Н. Муру – 55 лет..... 46
- Г.Н. Муру, Ю.И. Витенбергский. Определение технического состояния кораблей, их составных частей и комплектующих изделий. Какой термин применять: дефектация или освидетельствование? В порядке обсуждения..... 47
- К 65-летию А.С. Бузакова ..... 51
- К.О. Будников, Д.А. Полянская. Применение лазерных технологий в корпусоборочном производстве ..... 52
- Г.Р. Цатурову – 80 лет ..... 56

### СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

- А.В. Шляхтенко, И.Г. Захаров, В.В. Барановский. Тенденции развития корабельных тепловых двигателей многоцелевых надводных кораблей..... 59
- П.Г. Печковский. Обоснование наиболее предпочтительных вариантов главных энергетических установок многоцелевых надводных кораблей..... 66
- А.Н. Калмыков, В.И. Кузнецов, А.П. Сеньков, Пань Ханной. Способ повышения качества напряжения в судовой электроэнергетической системе .... 73
- С.А. Казанов. Гибридные судовые энергетические установки ..... 76
- А.А. Халявкин, А.Х. Саламех, В.А. Мамонтов, А.В. Ивановская. Экспериментальное исследование отрыва гребного вала от дейдвудных подшипников на динамическую устойчивость..... 80
- В.А. Зинков, В.М. Медунецкий. Повышение качественных характеристик цилиндрических зубчатых передач при мелкосерийном и единичном их производстве..... 83



**А. З. Багерман.** Оценка теплоемкости сплавов на основе железа и никеля в окрестностях «точки Кюри» этих металлов ..... 86

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

**К. А. Смирнов, В. С. Кожевников.** Делаем недоступное возможным ..... 88  
**К. С. Смирнов, А. В. Викторов.** Организационная эффективность интеллектуальной системы для контроля сложных технических систем ..... 91  
**А. С. Пинский.** Автономное судовождение ..... 101  
**В. Г. Ерышов, Р. Д. Куликов.** Применение математического аппарата теории марковских случайных процессов для оценки процесса негласного добывания конфиденциальной информации нарушителем информационной безопасности ..... 109

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

**А. А. Уляшев, П. А. Шауб.** И снова сигнал SOS ..... 111

## МОРСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

**Д. В. Никущенко.** Аудитория В. Л. Александрова торжественно открыта в Корабелке ..... 113

## В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

**В. С. Никитин.** К 155-летию Российского научно-технического общества имени академика А. Н. Крылова ..... 114  
**В. Н. Половинкину – 70 лет** ..... 119

## ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

**В. Н. Половинкин, С. В. Федулов, Б. А. Барбанель, Д. А. Косаренко.** Итальянская техническая помощь при строительстве крейсера «Киров» ..... 120

## В АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

**Итоги совместного собрания Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга** ..... 124

## В МОРСКОМ СОБРАНИИ

**Г. А. Гребеницкова.** О судьбе Парижского мирного договора 1856 г. .... 127

### Главный редактор

**Э. А. Конов,** канд. техн. наук

**Зам. главного редактора**

**Д. С. Глухов**

Тел./факс: (812) 6004586

Факс: (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

### Редакционная коллегия

**Г. Н. Антонов,** д-р. техн. наук

**А. И. Гайкович,** д-р. техн. наук, проф.

**Е. А. Горин,** д-р эконом. наук

**В. Н. Илюхин,** д-р техн. наук, проф.

**Б. П. Ионов,** д-р техн. наук, проф.

**Д. В. Казунин,** д-р техн. наук

**Р. Н. Караев,** канд. техн. наук

**Ю. Н. Кормилицин,** д-р техн. наук, проф.

**А. И. Короткин,** д-р техн. наук, проф.

**П. А. Кротов,** д-р истор. наук, проф.

**П. И. Малеев,** д-р техн. наук

**Ю. И. Нечаев,** д-р техн. наук, проф.

**Ю. Ф. Подоплёкин,** д-р техн. наук, проф., акад. РАН

**В. Н. Половинкин,** д-р техн. наук, проф.

**А. В. Пустошный,** д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН

**А. А. Родионов,** д-р техн. наук, проф.

**К. В. Рождественский,** д-р техн. наук, проф.

**В. И. Черненко,** д-р техн. наук, проф.

**Н. П. Шаманов,** д-р техн. наук, проф.

### Редакция

Тел./факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

### Редактор

**Т. И. Ильичёва**

Дизайн, верстка

**С. А. Кириллов, В. Л. Колпакова**

Адрес редакции

190000, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по

делам печати, телерадиовещания и средств массовых

коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ

№ 77-12047 от 11 марта 2002 г.

### Учредитель-издатель

ООО Издательство «Мор Вест»,

190000, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

**Электронная версия журнала**

размещена на сайте ООО «Научная электронная

библиотека» www.elibrary.ru и включена

в Российский индекс научного цитирования

**Решением Президиума ВАК** журнал «Морской вестник»

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.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

**Подписка на журнал «Морской вестник»**

(индекс ПМ 467) может быть оформлена по

каталогу Почты России «Подписные издания»

или непосредственно в редакции журнала через

издательство «Мор Вест»

**Отпечатано** в ООО «Типография «Премиум-пресс»

Адрес типографии: 190020, Санкт-Петербург,

Нарвский пр., д.18 лит. А

Тираж 500 экз. Заказ № 758

Дата выхода в свет – 07.06.2021

Каталожная цена – 650 руб.

Ответственность за содержание информационных и

рекламных материалов, а также за использование

сведений, не подлежащих публикации в открытой

печати, несут авторы и рекламодатели. Перепечатка

допускается только с разрешения редакции

# Морской Вестник



№2(78)

J u n e

2 0 2 1

Morskoy Vestnik

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

## Editorial Council

### Chairman

**A.L. Rakhmanov**, General Director  
of JSC United Shipbuilding Corporation

### Co-chairman:

**M.V. Alexandrov**, General Director JSC SSTC,  
President of the Association  
of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region

### V.S. Nikitin,

President of the International  
and Russian Scientific and Technical Association  
of Shipbuilders named after Acad. A.N. Krylov

**G.A. Turichin**, Rector SPbSMTU

### Council Members:

**M.A. Alexandrov**, Director JSC CRIME

**A.S. Buzakov**, General Director

JSC Admiralty Shipyards

**A.A. Diachkov**, General Director

JSC Severnoye Design Bureau

**V.Yu. Dorofeev**, General Director

JSC SPMDB Malachite

**G.V. Egorov**, General Director

JSC Marine Engineering Bureau Spb

**S.G. Filimonov**, General Director

JSC Concern Morflot

**E.T. Gambashidze**, General Director

JSC Control Systems and Instruments

**E.A. Konov**, Director

JSC Publishing House Mor Vest

**A.A. Kopanev**, General Director

JSC SPF Meridian

**G.A. Korzhavin**, Scientific Director

JSC Concern Granit-Elektron

**A.V. Kuznetsov**, General Director JSC Armalit

**L.G. Kuznetsov**, General Designer

JSC Compressor

**G.N. Muru**, General Director JSC 51 CDTISR

**N.V. Orlov**, Chairman

St. Petersburg Marine Assembly

**A.G. Rodionov**, General Director

JSC Sitronics KT

**S.V. Savkov**, General Director

JSC NE

**I.V. Scherbakov**, General Director JSC PDB Petrobalt

**V.A. Seredokho**, General Director JSC SNSZ

**V.V. Shatalov**, General Director

JSC DO Vympel

**K.Yu. Shilov**, General Director

JSC Concern SPA Aurora

**A.V. Shlyakhtenko**, General Director JSC Almaz CMDB

**K.A. Smirnov**, General Director JSC MNS

**A.S. Solov'yev**, General Director

PJSC Vyborg Shipyard

**I.S. Sukhovinsky**, Director JSC VINETA

**V.S. Tatarsky**, General Director JSC ERA

**G.R. Tsaturov**, General Director

OJSC Pella

**A.L. Utyanov**, General Director

LLC Neva International

**N.M. Vikhrov**, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

**M.V. Zakharov**, General Director

JSC Pumori-north-west

## CONTENTS

### SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

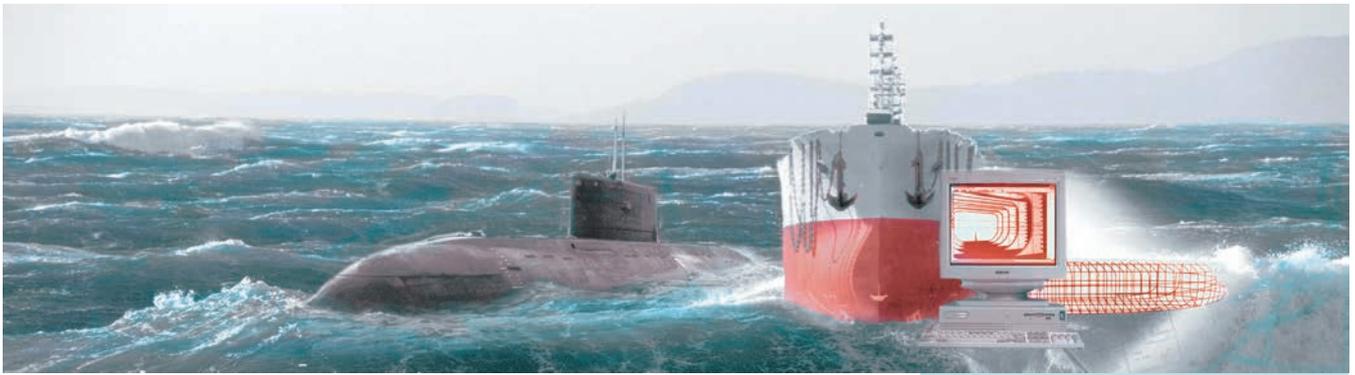
- The minesweeper «Pyotr Ilyichev» was launched at the Sredne-Nevisky shipyard* ..... 1
- E. A. Konov – 80 years old* ..... 6
- D. V. Zhmurin, K. V. Zhmurin, S. V. Moskovkina.** TL-2195 torpedo retriever – replenishment as part of ships for providing combat training of the Navy ..... 8
- V. K. D'yachenko, I. A. Zakhryapin, D. E. Tsymlyakov.** The problem of overcoming obstacles of the «narrow vertical wall» type by an amphibious hovercraft ..... 12
- M. A. Alexandrov, Yu. L. Borduchenko.** Prospects of the nuclear icebreaker fleet for the development of the Northern Sea Route ..... 17
- A. G. Egorov.** Chinese river cruise ships: research of ships' characteristics ..... 25
- E. V. Sal'nikov, Yu. S. Samychko.** Digital twin: theory and application prospects ..... 33
- R. N. Karaev.** Floating pipe-laying structures. Part 2 ..... 36

### TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

- G. N. Muru – 55 years old* ..... 46
- G. N. Muru, Yu. I. Vitenberg.** Determination of the technical condition of ships, their components and components. Which term to use: fault detection or survey? By way of discussion ..... 47
- To the 65th anniversary of A.S. Buzakov* ..... 51
- K. O. Budnikov, D. A. Polyanskaya.** Application of laser technologies in hull-assembly production ..... 52
- G. R. Tsaturov – 80 years old* ..... 56

### SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- A. V. Shlyakhtenko, I. G. Zakharov, V. V. Baranovsky.** Trends in the development of ship heat engines for multipurpose surface ships ..... 59
- P. G. Pechkovsky.** Substantiation of the most preferable options for the main power plants of multipurpose surface ships ..... 66
- A. N. Kalmykov, V. I. Kuznetsov, A. P. Sen'kov, Pan Hanyu.** Method of improving the quality of voltage in the ship's electric power system ..... 73
- S. A. Kazanov.** Hybrid ship power plants ..... 76
- A. A. Khalyavkin, A. Kh. Salamekh, V. A. Mamontov, A. V. Ivanovskaya.** Experimental study of the separation of the propeller shaft from stern tube bearings for dynamic stability ..... 80
- V. A. Zinkov, V. M. Medunetsky.** Improving the quality characteristics of cylindrical gears in small-batch and single production ..... 83
- A. Z. Bagerman.** Estimation of heat capacity of alloys based on iron and nickel in the vicinity of the «Curie point» of these metals ..... 86



## INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- K. A. Smirnov, V. S. Kozhevnikov.** *Making the inaccessible possible* ..... 88
- V. A. Smirnov, A. V. Viktorov.** *Organizational efficiency of an intelligent system for the control of complex technical systems*..... 91
- A. S. Pinsky.** *Autonomous navigation*..... 101
- V. G. Eryshov R. D. Kulikov.** *Application of the mathematical apparatus of the theory of Markov random processes to assess the process of secretly obtaining confidential information by an information security violator*..... 109

## OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

- A. A. Ulyashev, P. A. Schaub.** *And again the SOS signal*..... 111

## MARINE EDUCATION

- D. V. Nikushchenko.** *V. L. Alexandrov auditorium was inaugurated in SMTU* ..... 113

## IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

- V. S. Nikitin.** *To the 155<sup>th</sup> anniversary of the Russian Scientific and Technical Society named after Academician A. N. Krylov*..... 114
- V. N. Polovinkin** is 70 years old. .... 119

## THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

- V. N. Polovinkin, S. V. Fedulov, B. A. Barbanel, D. A. Kosarenko.** *Italian technical assistance in the construction of the cruiser «Kirov»* ..... 120

## IN THE ASSOCIATION OF THE SHIPBUILDERS

- Results of the Joint Meeting of the Association of Shipbuilders of Saint-Petersburg and the Leningrad Region and the Shipbuilding Section of the Maritime Council under the Government of Saint-Petersburg* ..... 124

## IN THE MARITIME ASSEMBLY

- G. A. Grebenshchikova.** *On the fate of the Paris Peace Treaty of 1856* ..... 127

### Editor-in-Chief

**E. A. Konov**, Ph. D.

### Deputy Editor-in-Chief

**D. S. Glukhov**

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

### Editorial Collegium

**G. N. Antonov**, D. Sc.

**V. I. Chernenko**, D. Sc., Prof.

**A. I. Gaikovich**, D. Sc., Prof.

**E. A. Gorin**, D. Sc.

**V. N. Ilyukhin**, D. Sc., Prof.

**B. P. Ionov**, D. Sc., Prof.

**D. V. Kazunin**, D. Sc.

**R. N. Karavev**, Ph. D.

**Yu. N. Kormilitsin**, D. Sc., Prof.

**A. I. Korotkin**, D. Sc., Prof.

**P. A. Krotov**, D. Sc., Prof.

**P. I. Maleev**, D. Sc.

**Yu. I. Nechaev**, D. Sc., Prof.

**Yu. F. Podoplyokin**, D. Sc., Prof., member of the Academy

of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

**V. N. Polovinkin**, D. Sc., Prof.

**A. V. Pustoshny**, D. Sc., Prof., corresponding member

of the Academy of Sciences of Russia

**A. A. Rodionov**, D. Sc., Prof.

**K. V. Rozhdestvensky**, D. Sc., Prof.

**N. P. Shamanov**, D. Sc., Prof.

### Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

### Editor

**T. I. Ilyichiova**

### Design, imposition

**S. A. Kirillov, V. L. Kolpakova**

### Editorial office

office 13H, 84, Nab. r. Moyki,

190000, St. Petersburg

The magazine is registered by RF Ministry of Press,

TV and Radio Broadcasting and Means of Mass

Communications, Registration Certificate

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

### Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

office 13H, 84, Nab. r. Moyki,

190000, St. Petersburg

### The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronnyaya

biblioteka» www.elibrary.ru and is also included to the

Russian index of scientific citing

**By the decision of the Council of VAK** the Morskoy

Vestnik magazine is entered on the list of the leading

scientific magazines and editions published in the

Russian Federation where basic scientific outcomes of

doctoral dissertations shall be published.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

You can **subscribe to the Morskoy Vestnik** magazine

using Russian Post Catalog «Subscription editions»

(subscription index ПМ 467) or directly at the editor's

office via the Morvest Publishing House

**Printed** by Premium Press Printing House LLC

Printing house address 190020 St. Petersburg

Narvsky prospect, 18, letter A

Circulation 500. Order № 758

Publication date – 07.06.2021

Catalog price – 650 rubles

Authors and advertisers are responsible for contents of

information and advertisement materials as well as for use of

information not liable to publication in open press.

Reprinting is allowed only with permission of the editorial staff

# ГЛАВНОЕ ОТРАСЛЕВОЕ СОБЫТИЕ 2021



21-24 СЕНТЯБРЯ  
РОССИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

**НЕВА** 2021

16-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ГРАЖДАНСКОМУ СУДОСТРОЕНИЮ,  
СУДОХОДСТВУ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОРТОВ,  
ОСВОЕНИЮ ОКЕАНА И ШЕЛЬФА

Контакты:

По вопросам участия

в выставочной экспозиции:

тел.: +7 (812) 321-26-76

Электронная почта: [info@nevainter.com](mailto:info@nevainter.com)

На правах рекламы

**15** мая 1941 г. в Кисловодске (Российская СФСР) родился Эдуард Александрович Конов. Начальную школу окончил в Буйнакске (Дагестанская АССР), среднюю школу закончил с золотой медалью в Кривом Роге (Украинская ССР).

В 1958 г. поступил в Ленинградский кораблестроительный институт, который закончил с отличием по специальности «Гидромеханика корабля».

С 1964 по 1988 г. работал в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, где прошел путь от инженера до начальника отдела. В 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию в области гидроаэродинамики судов с динамическими принципами поддержания.

С 1988 по 1991 г. – заместитель генерального директора по научной работе в НПО «Судостроение» (Минречфлот).

С 1991 по 2001 г. – заместитель директора издательства «Судостроение», одновременно с 1994 по 2001 г. – главный редактор «Морского журнала», с 1999 по 2001 г. – генеральный директор и главный редактор журнала «Промышленная безопасность в Северо-Западном регионе».

## Э.А. КОНОВУ – 80 ЛЕТ



С конца 2001 г. – соучредитель и директор ООО Издательство «Мор Вест» и главный редактор журнала «Морской вестник», который выходит ежеквартально с марта 2002 г.

Журнал включен решением Президиума ВАК в 2004 г. в перечень ведущих рецензируемых научных журналов.

Издательство «Мор Вест» выпускает кроме журнала еще и книги («Вибрация судов», «Гидромеханика», «Присоединенные массы судостроительных конструкций», «Кормчие России», «Мировое судостроение», «Морские министры России» и др.).

Э.А. Конов – автор свыше 50 научных трудов. Награжден медалями «За доблестный труд», «300 лет Российскому флоту», общественными медалями «Министр-судостроитель Б.Е. Бутома», «200 лет Шамилю» (Дагестан), золотой медалью Петра Великого, орденом «За заслуги» и др.

Входит в состав Центрального правления Российского Научно-технического общества судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, является членом Санкт-Петербургского Морского Собрания.

*Редакционный совет и редколлегия журнала поздравляют Эдуарда Александровича с юбилеем, желают здоровья, удачи и дальнейшей активной работы по информационной поддержке актуальных научных, проектных и инженерных разработок в области морской деятельности на благо России.*

**19** марта 2021 г. в состав Черноморского флота вошел новый катер-торпедолов ТЛ-2195 пр. 1388нзт (рис. 1). Катер успешно завершил в полном объеме государственные испытания и зачислен в состав группы судов обеспечения боевой подготовки Новороссийской военно-морской базы Черноморского флота.

Катер-торпедолов этого проекта – это первое судно данного класса, построенное для Военно-Морского Флота (ВМФ) России со времен СССР. Эти катера должны заменить морально и физически устаревшие катера аналогичного назначения пр.368 (ранее – Т368) (рис. 2) и пр. 1388 (шифр – «Баклан») (рис. 3) в составе ВМФ.

Серии катеров-торпедоловов пр. 368 и пр.1388 были одними из самых массовых в СССР. С 1960 по 1977 г. для ВМФ СССР было построено около 150 ед. катеров-торпедоловов пр. 368, а с 1978 по 1990 г. – еще 38 ед. пр. 1388. Последний катер пр. 1388 был передан ВМФ в 1990 г. [1, 2]. Основные тактико-технические характеристики катеров-торпедоловов ВМФ приведены в таблице [1, 2, 7, 8].

Новый торпедолов пр. 1388нзт чрезвычайно востребован ВМФ, поскольку катера такого класса значительно технически изношены. В настоящее время в составе ВМФ находится 13 таких катеров (пр. 368 и пр. 1388), при этом 4 из них находятся в отстое [3, 4].

Боевая подготовка и обучение экипажей подводных лодок (ПЛ) и боевых

## ТОРПЕДОЛОВ ТЛ-2195

### ПОПОЛНЕНИЕ В СОСТАВЕ СУДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОЕВОЙ ПОДГОТОВКИ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

*Д.В. Жмурин, канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник,  
К.В. Жмурин, канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник,  
С.В. Московкина, ст. науч. сотрудник,  
НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА»,  
контакт. тел. (812) 405 0740*



Рис. 1. Катер-торпедолов ТЛ-2195 пр. 1388нзт на этапе государственных испытаний

надводных кораблей (БНК) неразрывно связаны с отработкой учебных торпедных стрельб, которые, как правило, ведутся не боевыми, а практическими торпедами (изделиями).

Современные торпеды – достаточно сложные технические и весьма дорогостоящие изделия. Соответственно, проведение даже учебных практических торпед-

ных стрельб влечет за собой существенные материальные затраты со стороны ВМФ, поэтому потеря торпед крайне нежелательна. Ситуация может усугубиться из-за риска утраты секретности военных технологий при попадании торпеды в руки вероятного противника. Поэтому практически во всех военно-морских флотах мира для обеспечения учебных



Рис. 2. Катер-торпедолов пр. 368



Рис. 3. Катер-торпедолов пр. 1388

Таблица

Основные тактико-технические характеристики катеров-торпедоловов ВМФ

Характеристика	Пр. 368	Пр. 1388	Пр. 1388нзт
Год постройки	1960–1977	1978–1990	2021
Количество судов в серии	Ок. 150	38	1 (1)
Водоизмещение (полн./стандарт.), т	91,4/84,7	310/270	419/300
Длина, м	29,6	46,0–48,6	48,9
Ширина, м	5,98–5,99	6,0–6,2	9,0
Осадка, м	1,5–1,56	2,0–2,22	2,62
Скорость полного хода, уз	21,5	28,7–30	20,0
Дальность плавания, мили (скорость, уз)	550 (14), 250 (21,6)	1250 (15,5), 1116 (28,7)	1000 (18)
Автономность, сут.	5	10	10
Экипаж, чел.	15	20	14
Тип ЭУ	Дизельная 2×М-50Ф-4	Дизельная 2×М504Б-4	Дизельная 2×СНД622V20
Мощность ЭУ, л.с.	2×1200	2×5000	2×3945
Количество валов, ед.	2	2	2
Навигационное радиоэлектронное вооружение	1 НРЛС «Створ», («Донец-2»)	2 НРЛС «Миус»	2 НРЛС МР-231-4
Штурманское вооружение	1 НЭЛ-3, 1 «Гиря-КМ», 1 «ЛГ-4»	1 эхолот, 1 компас, 1 лаг	1 эхолот, 1 компас, 1 лаг
Грузовые устройства	(1 стрела 1,5 т) 1 лебедка 1–1,5 т	1 стрела 3 т, 1 лебедка 2 т	1 кран 3 т, 1 лебедка 2 т
Количество поднимаемых изделий, ед. (калибр, мм)	6 ед., (533 мм)	8 ед., (533 мм)	8 ед., (533 мм)

торпедных стрельб используются практические торпеды (изделия), которые после проведения стрельб всплывают, обнаруживаются, поднимаются из воды и доставляются на береговую базу для подготовки к очередным стрельбам [4, 5].

Практические изделия не несут заряд взрывчатого вещества, но при этом оснащены необходимым составом аппаратуры и устройствами, обеспечивающими необходимые режимы функционирования аналогично боевым торпедам. Их аппаратура позволяет сохранять нужную информацию об эффективности применения и проводить повторные стрельбы после предварительной подготовки. У практических изделий сокращена дальность хода, и после отработки двигателя на заданном режиме они всплывают и обнаруживают себя встроенными сигнализаторами. Таким образом, многократное использование практических изделий в учебных целях позволяет существенно сократить затраты на проведение учебных торпедных стрельб [4, 5].

Задача катера-торпедолова заключается в поиске, подъеме из воды и транспортировке практических изделий после выполнения учебных стрельб боевыми кораблями и подводными лодками. Кроме того, катера-торпедоловы привлекаются к испытаниям новых образцов вооружения.

Технической особенностью катеров-торпедоловов является возможность подъема практических изделий из воды на борт в сложных метеорологических условиях, что представляет собой определенную сложность вследствие ограниченного водоизмещения торпедолова и массогабаритных характеристик практических изделий.

Контракт на строительство двух катеров-торпедоловов пр. 1388нзт для ВМФ был заключен в 2015 г. с АО «Сокольская судостроительная» (п. Сокольское, Нижегородская область). Проектантом выступило АО «КБ «Вымпел» (г. Нижний Новгород), главный конструктор проекта – А.С. Речицкий (рис. 4).

Закладка головного катера-торпедолова в АО «Сокольская судостроительная»

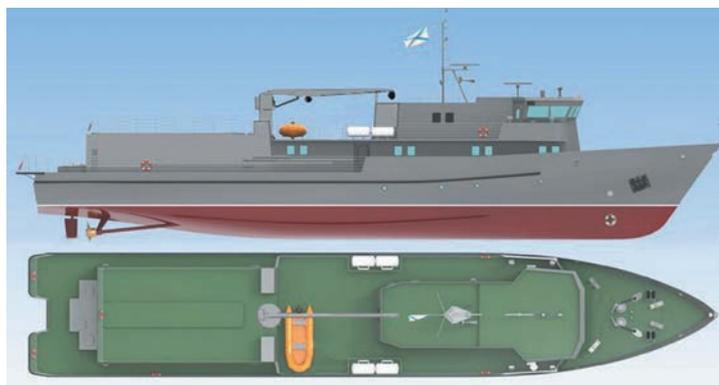


Рис. 4. Проектное изображение катера-торпедолова проекта 1388нзт

состоялась в 2016 г., а первого серийного – в 2017 г. Согласно контракту головной катер следовало передать ВМФ в 2018 г., однако по ряду организационных и технических причин передача состоялась только в 2021 г. [3].

Второй катер (зав. № 452) был заложен в 2017 г., сейчас находится в стадии строительства. Его техническая готовность составляет порядка 45–50%. Спуск на воду планируется на ноябрь 2021 г., передача его в состав ВМФ намечена на 2023 г.

Головной катер-торпедолов пр. 1388нзт (зав. №451) был спущен на воду на верфи 9 октября 2019 г. Фактически строительство головного катера-торпедолова ТЛ-2195 пр. 1388нзт было завершено в 2020 г. В сентябре прошлого года катер прошел швартовные и частично заводские ходовые испытания и был отбуксирован по Волго-Донскому каналу в Новороссийск для завершения оставшихся этапов испытаний и передачи его в состав ВМФ.

Данный катер-торпедолов, номер проекта которого хотя и повторяет номер предшественника – пр. 1388, имеет существенные отличия от него. По сути, этот катер является продолжением катеров данного назначения, разработанных в 1970-х гг. ЦМКБ «Алмаз», и, естественно, в нем повторены технические решения предшественников, в частности, у него такие же носовые обводы корпуса и конфигурация надстройки ходовой рубки (рис. 1, рис. 3). В остальном кон-

струкция катера пр. 1388нзт претерпела существенные изменения.

Новый торпедолов имеет увеличенные главные размерения и водоизмещение, что придает ему более высокую мореходность. Обводы корпуса обеспечивают хорошие ходовые и маневренные качества.

В носовой части корпуса и надстройке размещены основные служебные и жилые помещения.

Среднюю часть катера занимает энергетическая установка с обеспечивающими механизмами и оборудованием. В средней части надстройки катера установлен грузовой электрогидравлический подъемный кран грузоподъемностью 3 т для обеспечения выгрузки практических изделий на причальную стенку через люковое закрытие в крыше, а также осуществлять спуск/подъем рабочей шлюпки для судовых нужд [6].

В кормовой части корпуса и надстройки располагаются помещения для хранения и транспортировки практических изделий (эллинг).

В отличие от прежнего проекта, в новом в значительной степени улучшены условия работы с практическими изделиями.

На катерах-торпедоловах пр. 368 имеется открытый кормовой люк (клюз) для подъема практических изделий из воды, а хранение изделий осуществляется на открытой кормовой палубе (рис. 5 и рис. 6), что существенно



Рис. 5. Кормовой люк (клюз) для выборки практических изделий на катере-торпедолове пр. 368



Рис. 6. Раскрепление поднятых практических изделий на палубе катера-торпедолова пр. 368



**Рис. 7. Кормовой люк (кюз) с люковым закрытием для выгрузки практических изделий на катере-торпедолове пр. 1388**

затрудняет экипажу работу с ними в условиях воздействия морского волнения и ветра.

На катерах-торпедоловах пр. 1388 условия обеспечения работ с практическими изделиями были значительно улучшены по сравнению с предшественником. Подъем на борт практических изделий осуществляется через люк (кюз) в транце, оборудованном люковым закрытием (рис. 7), а для хранения предусмотрено специальное закрытое помещение (элинг). В элинге располагаются тяговая лебедка и ложементы для хранения поднятых практических изделий (рис. 8). В крыше элинга есть

специальное люковое закрытие для выгрузки поднятых практических изделий на берег с помощью грузовой стрелы или берегового крана. Тем не менее ограниченное пространство элинга и отсутствие достаточных средств механизации делает процесс раскрепления поднятых изделий трудоемким.

На катере пр. 1388нзт созданы более комфортные условия для работы экипажа с практическими изделиями. Так же как на предшественнике, на новом катере имеется в транце люк (кюз), оборудованный специальным люковым закрытием (рис. 9), через который осуществляется подъем практических

изделий на борт по наклонному слипу в элинг с помощью тяговой лебедки грузоподъемностью 2 т.

На торпедолове пр. 1388нзт значительно увеличен объем помещения для хранения практических изделий – элинг (рис. 11). Это позволило на подволоке разместить специальный мостовой гидравлический кран грузоподъемностью 3 т (см. рис. 10), что существенно упрощает экипажу работу с достаточно тяжелыми грузами в условиях морского волнения. Мостовой кран позволяет перемещать практические изделия в элинге вдоль и поперек от места выборки к местам хранения и (укладку на ложементы).



**Рис. 8. Помещение (элинг) для хранения поднятых практических изделий на катере-торпедолове пр. 1388**



**Рис. 9. Кормовое специальное люковое закрытие на транце катере-торпедолове пр. 1388нзт**



**Рис. 10. Грузовой электрогидравлический кран грузоподъемностью 3 т для выгрузки практических изделий на причальную стенку**



**Рис. 11. Помещение (элинг) для хранения поднятых на борт практических изделий с мостовым гидравлическим краном на катере-торпедолове пр. 1388нзт**





Рис. 12. Расположение главных двигателей CHD622V20 в машинном отделении катера-торпедолова пр. 1388нзт

Энергетическая установка катера дизельная двухвальная [6]. В качестве главных двигателей на катере применены дизельные двигатели CHD622V20 мощностью по 3945 л.с. каждый (рис. 12), передающие вращающий момент на винты регулируемого шага. Для повышения маневренных свойств в носовой части предусмотрено подруливающее устройство туннельного типа.

Управление движением катера и энергетической установкой осуществляется полностью с ходового мости-

присутствия персонала в машинном отделении.

Большое внимание в проекте нового катера уделено вопросам обитаемости экипажа [6]. Созданы благоприятные комфортные условия для его длительного пребывания на борту. Экипаж размещается в двухместных каютах. Предусмотрены кают-компания, прачечная и санитарно-бытовые помещения. Интерьеры жилых и служебных помещений выполнены с применением современных отделочных материалов (рис. 14).



Рис. 13. Оборудование ходового мостика катера-торпедолова пр. 1388нзт

доловов устаревших проектов преждевременно.

Учитывая, что в последние время командованием ВМФ принимаются радикальные меры по обновлению флота, есть большая вероятность того, что в ближайшие годы появятся новые контракты на серийное строительство катеров-торпедоловов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузин В.П., Никольский В.И. Военно-морской флот СССР. 1945–1991. – СПб.: Историческое Морское общество, 1996.



Рис. 14. Интерьеры двухместной каюты экипажа и служебного коридора на катере-торпедолове пр. 1388нзт

ка, оборудованного интегрированным пультом управления (рис. 13), для чего достаточно минимального количества членов экипажа при несении ходовой вахты. Пультовое оборудование ходового мостика выполнено с учетом современных эргономических требований.

Катер имеет класс автоматизации AUT1, который допускает эксплуатацию в течение 24 часов в полностью автоматическом режиме. При этом на ходовом мостике может находиться один член экипажа, управляющий катером и наблюдающий за обстановкой. Класс автоматизации AUT1 также допускает эксплуатацию катера без постоянного

Оснащение катера пр. 1388нзт современным оборудованием и устройствам способствует более эффективному выполнению задач боевой подготовки при проведении учебных торпедных стрельб. Однако наличие в составе ВМФ двух новых катеров-торпедоловов пр. 1388нзт (ТЛ-2195 и строящегося второго заказа со сроком сдачи ВМФ в 2023 г.), хотя и повысит в определенной мере качество боевой подготовки, но не позволит поднять ее на более высокий уровень.

Новых контрактов на строительство серии катеров пр. 1388нзт пока нет, поэтому говорить о скорой замене торпе-



2. [Электронный ресурс] – URL: <http://nevskii-bastion.ru/1388-tl>
3. [Электронный ресурс] – URL: <http://topwar.ru/174939-katera-torpedolovny-proekta-1388nzt.html>
4. [Электронный ресурс] – URL: [www.vpk-news.ru/articles/59071](http://www.vpk-news.ru/articles/59071)
5. [Электронный ресурс] – URL: <http://19rus.info/index.php/vlast-i-politika/item/136522-kak-uchat-torpedutsel-porazhat>
6. [Электронный ресурс] – URL: <http://svpressa.ru>
7. [Электронный ресурс] – URL: <http://bastion-opk.ru/368t-kater>
8. [Электронный ресурс] – URL: <http://sdelanounas.ru> ■

**В** практике проектирования амфибийных судов на воздушной подушке (АСВП) их амфибийные свойства обеспечиваются оснащением судна податливым гибким ограждением (ГО) области воздушной подушки (ВП) под его днищем, крепящимся по всему периметру корпуса и призванным минимизировать, с одной стороны, расходы воздуха, направляемого специальными воздуходувателями под днище судна в область ВП, генерирующей подъемную силу, а с другой – контакты днища корпуса судна с препятствиями на подстилающей поверхности, отклоняясь при встрече с ними и пропуская под собой вершины волн при ходе над водой или неровности рельефа поверхности, соответственно, над сушей. В случае оснащения АСВП двухъярусным ГО расчетная высота преодолеваемого препятствия традиционно принимается равной высоте его нижнего яруса, изготавливаемого в виде расчлененных и потому легко отклоняющихся и пропускающих встречные препятствия элементов, навешиваемых по всему периметру на надувной относительно мягкий, но менее податливый торообразный ресивер, являющийся верхним ярусом ГО. Высота навесных элементов ГО в долях от его полной высоты  $H_c$  составляет, как правило, ок. 0,5. В то же время податливость надувного ресивера ГО при его контактах с высокими препятствиями на подстилающей поверхности зависит от свойств используемого конструкционного материала и в еще большей степени от коэффициента перепада давлений внутри надувного ресивера и в воздушной подушке, обозначаемого обычно как коэффициент  $K_p$  [1].

Амфибийные свойства АСВП и, в первую очередь, его так называемая проходимость принято характеризовать прежде всего высотой преодолеваемого препятствия типа «вертикальной стенки»  $h$  (рис. 1).

Устанавливаемое значение этой высоты обычно оговаривается заказчиком в ТЗ на проектирование и определяется

## ЗАДАЧА ПРЕОДОЛЕНИЯ АМФИБИЙНЫМ СУДНОМ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ ПРЕПЯТСТВИЯ ТИПА «УЗКАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТЕНКА»

**В.К.Дьяченко**, *д-р техн. наук,*  
**И.А.Захряпин**, *вед. инженер,*  
**Д.Е.Цымляков**, *канд. техн. наук, гл. конструктор проектов,*  
*АО «ЦМКБ «Алмаз»»,*  
*контакт. тел. (812) 369 1144*

гидрологической обстановкой и рельефом местности в районах предполагаемых выходов АСВП из воды и движения по берегу (в том числе и над льдом).

Определение проходимости АСВП, исходя из предположения о необходимости равенства высоты преодолеваемого препятствия в виде вертикальной стенки и высоты податливых навесных элементов ГО, не отражает реальной картины процесса преодоления судном препятствия, поскольку не предполагает учета динамического характера этого процесса, когда имеет место инерция движения и наличие упора воздушных движителей (например, воздушных винтов (ВВ)). Влияние упора ВВ, а также величины массы объекта (АСВП) и скорости его движения в момент преодоления препятствия и предполагается оценить далее.

Под *инерцией* здесь понимается запас количества движения, равный произведению массы на скорость движения. В математической модели далее принято допущение, что скорость вращения и угол установки лопастей ВВ как движителя в процессе преодоления препятствия остаются постоянными.

Дифференциальное уравнение движения АСВП записывается в виде

$$M \left( \frac{dv}{dt} \right) = T_0 + \left( \frac{dT}{dv} \right) \cdot (v - v_0) - (R_0 + \Delta R), \quad (1)$$

где  $M$  – масса АСВП, кг;  $v$  – скорость движения АСВП, м/с;  $T$  – сила тяги ВВ, Н;  $T_0$  – сила тяги ВВ до встречи с препятствием, Н;  $R_0$  – сопротивление движению АСВП до встречи с препятствием, Н;  $\Delta R$  – дополнительное сопротивление от встречи с препятствием (вводится допущение, что в процессе преодоления препятствия  $\Delta R = \text{const}$ ), Н.

До встречи с препятствием при равномерном движении  $v = v_0$ ,  $T_0 = R_0$  и  $\left( \frac{dv}{dt} \right) = 0$ , следовательно, уравнение (1) можно переписать в следующем виде:

$$M \left( \frac{dv}{dt} \right) = \left( \frac{dT}{dv} \right) v - \left( \frac{dT}{dv} \right) v_0 - \Delta R. \quad (2)$$

Считая величину  $\left( \frac{dT}{dv} \right)$  постоянной, введем в рассмотрение модуль этой величины  $\left| \frac{dT}{dv} \right|$  и, учитывая, что его значение  $\frac{dT}{dv} \leq 0$ , перепишем уравнение:

$$M \left( \frac{dv}{dt} \right) + \left| \frac{dT}{dv} \right| v = \left| \frac{dT}{dv} \right| v_0 - \Delta R. \quad (3)$$

Разделим обе части этого уравнения на величину  $M$  и введем следующие обозначения:

$$\left| \frac{dT}{dv} \right| / M = X; \quad \left[ \left| \frac{dT}{dv} \right| v_0 - \Delta R \right] / M = Y. \quad (4)$$

Тогда

$$\left( \frac{dv}{dt} \right) + Xv = Y. \quad (5)$$

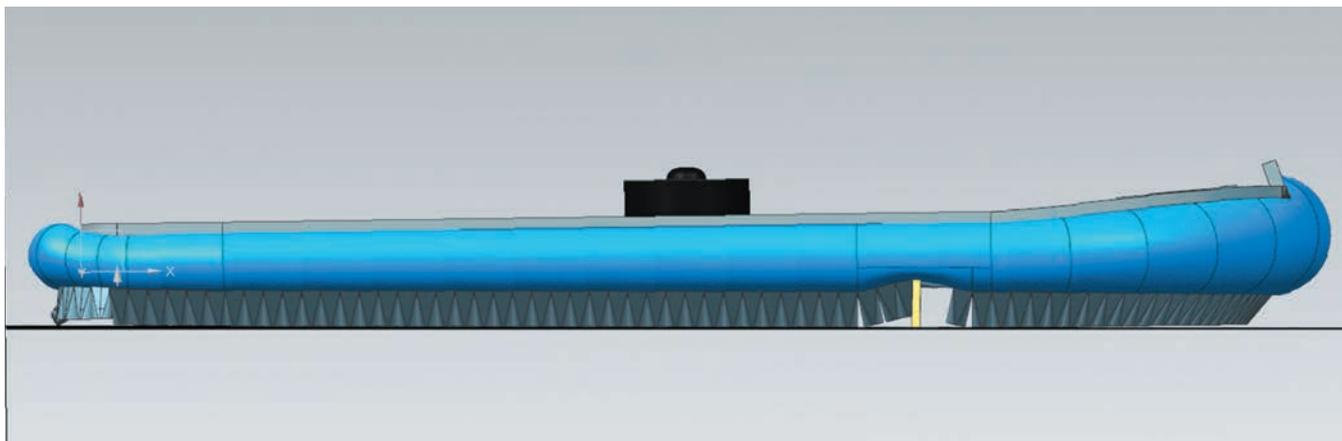


Рис. 1. Схема преодоления моделью АСВП препятствия типа «узкая вертикальная стенка» высотой  $h$

Уравнение (5) является линейным дифференциальным уравнением, общий интеграл которого записывается в виде

$$v = e^{(-q)} \left[ \int Y \cdot e^{(q)} dt + C \right], \quad (6)$$

где  $q = \int X dt$ .

Учитывая, что величины  $X$  и  $Y$  не зависят от времени, получаем

$$q = \int X dt = Xt; \quad \int Y \cdot e^{(q)} dt = \left( \frac{Y}{X} \right) \cdot e^{(Xt)}. \quad (7)$$

После подстановки (7) в общее решение (6) получим

$$v = \left( \frac{Y}{X} \right) + C \cdot e^{(-Xt)}. \quad (8)$$

Константу интегрирования  $C$  определим из начального условия: при  $t = 0$ ;  $v = v_0$ :

$$C = v_0 - \frac{Y}{X}. \quad (9)$$

После подстановки константы в решение (8) и приведения подобных членов получим

$$v = \left( \frac{Y}{X} \right) \cdot (1 - e^{(-Xt)}) + v_0 \cdot e^{(-Xt)}. \quad (10)$$

Исключим из (10) величину  $Y$ , используя выражения (4):

$$v = \left( v_0 - \Delta R \left/ \frac{dT}{dv} \right. \right) \cdot (1 - e^{(-Xt)}) + v_0 \cdot e^{(-Xt)}. \quad (11)$$

Тогда время преодоления препятствия  $t_1$  можно определить из условия

$$\int_0^{t_1} v dt = L_c, \quad (12)$$

где  $L_c$  – длина воздушной подушки АСВП (т.е. отрезок пути, на котором судно контактирует с препятствием; здесь – с вертикальной стенкой), м.

Подставив в подынтегральное выражение зависимость (11) и выполнив интегрирование, получим

$$L_c = \left( v_0 - \Delta R \left/ \frac{dT}{dv} \right. \right) \cdot t_1 + \left( \Delta R \left/ \frac{dT}{dv} \right. \right) \cdot \left( \frac{1}{X} \right) \cdot (1 - e^{(-Xt_1)}). \quad (13)$$

В частном случае, полагая величину  $X_{t_1}$  малой первого порядка, разложим экспоненту  $e^{(-Xt)}$  в степенной ряд, сохраняя в разложении слагаемые второго порядка малости:

$$e^{(-Xt)} = 1 - Xt_1 + \frac{X^2 t_1^2}{2}. \quad (14)$$

Тогда

$$1 - e^{(-Xt)} = Xt_1 - \frac{X^2 t_1^2}{2}. \quad (15)$$

Подставив (15) в уравнение (13) и выполнив приведение подобных членов, получим квадратное уравнение относительно неизвестного  $t_1$ :

$$L_c = v_0 \cdot t_1 - \left( \Delta R \left/ \frac{dT}{dv} \right. \right) \cdot Xt_1^2. \quad (16)$$

Заменим величину  $X$ , используя (4), и сгруппируем все слагаемые уравнения (16) в левой части:

$$\left( \frac{\Delta R}{2M} \right) \cdot t_1^2 - v_0 t_1 - L_c = 0. \quad (17)$$

Решение уравнения (17) имеет вид

$$t_1 = \frac{v_0 M}{\Delta R} - \left( \frac{v_0 M}{\Delta R} \right) \sqrt{1 - \frac{2L_c \Delta R}{v_0^2 M}}. \quad (18)$$

В формуле (18), полученной как корень рассматриваемого квадратного уравнения, перед радикалом взят знак (-) для обеспечения сохранения количества движения объекта (АСВП), так как при прохождении препятствия его скорость уменьшается.

Переменная  $t_1$  принимает реальные значения при выполнении условия

$$1 - \frac{2L_c \Delta R}{v_0^2 M} > 0$$

или

$$v_0^2 > \frac{2L_c \Delta R}{M}. \quad (19)$$

Таким образом, преодолеть с ходу препятствие типа «узкой вертикальной стенки» АСВП может не при любой величине скорости хода, а лишь если она удовлетворяет условию (19), т.е. или при малой высоте препятствия (когда  $\Delta R$  мало), или при большой инерции движения (когда масса АСВП  $M$  велика).

Приведем численный пример использования изложенного расчетного алгоритма. В качестве объектов исследования возьмем английское АСВП SR-N6 и отечественный десантный катер на воздушной подушке (ДКВП) пр. 12061Э, поставившийся на экспорт в Республику Корея в 2005–2007 гг.

Для выполнения численного расчета необходимо в качестве исходных данных иметь значения следующих величин, входящих в расчетные зависимости:

$$M, \left| \frac{dT}{dv} \right|, L_c, \Delta R.$$

Характеристики SR.№6 представлены в табл. 2 монографии [1, с.318]: SR.№6:  $M = 10$  т,  $L_c = 12,5$  м; ДКВП пр.12061Э:  $M = 148$  т,  $L_c = 27,8$  м.

Для определения величины  $\left| \frac{dT}{dv} \right|$  используем следующие известные зависимости:

$$T = \rho \alpha \lambda n^2 D_p^4; \quad \lambda = v / (n D_p), \quad (20)$$

где  $n$  – число оборотов воздушного винта (ВВ) в секунду,  $D_p$  – величина диаметра воздушного винта, м.

Величина производной равна

$$\frac{dT}{dv} = \frac{d(\rho \alpha n^2 D_p^4)}{d(\lambda D_p)} = \rho n D_p^3 \left( \frac{d\alpha}{d\lambda} \right). \quad (21)$$

В упомянутой выше табл. 2 из работы [1] находим значения диаметра ВВ и его обороты:

SR.№6:  $D_p = 2,74$  м;  $n = 2000$  об/мин = 33,33 об/с;

ДКВП пр. 12061Э:  $D_p = 3,5$  м;  $n = 1580$  об/мин = 26,33 об/с.

При малой относительной величине поступи ВВ  $\lambda$ , характерной для всех АСВП, практически для любых свободных воздушных винтов СВП первого поколения (см. [2]) величина производной  $d\alpha/d\lambda$  близка к  $(-0,1)$ . Для современных винтов в кольцевой насадке производства ОАО «Аэросила» типа АВ-96 (АВ-98, АВ-99) эта производная близка к значению  $(-0,24)$  [3].

Таким образом, получим

$$\text{для SR.№6: } \left| \frac{dT}{dv} \right| = 0,125 \cdot 33,33 \cdot (2,74)^3 \times \times |-0,1| = 8,57 \text{ кгс/с;}$$

$$\text{для 12061Э: } \left| \frac{dT}{dv} \right| = 0,125 \cdot 26,33 \cdot (3,5)^3 \times \times |-0,24| = 33,86 \text{ кгс/с (для одного ВВ).}$$

Труднее всего определить величину  $\Delta R$  дополнительного сопротивления движению рассматриваемого объекта при встрече его с препятствием. Самым надежным способом определения этой величины явился бы эксперимент с буксируемой моделью. Но при отсутствии этих данных попробуем построить некую умозрительную картину данного физического явления.

Для этого воспользуемся схематизацией явления согласно его изображению – см. рис 1. Силу возникающего при встрече с препятствием дополнительного сопротивления движению будем считать состоящей из двух компонент: силы сопротивления давлению, действующей на кормовую часть ГО в области ВП, и силы, возникающей при изгибе и деформации навесных элементов ГО в момент прохождения под ними жесткого препятствия, т.е. верхней части преодолеваемой стенки.

Величину избыточного давления в носовой части ВП будем считать равной нулю в связи с образованием большого зазора, способствующего беспрепятственному истечению воздуха после деформации ГО, вызванной его взаимодействием с препятствием.

В этом случае величина сопротивления давлению (в Н) будет равна

$$\Delta R_1 = P_c \cdot B_c \cdot h, \quad (22)$$

где  $P_c$  – величина давления в ВП, Па;  $B_c$  – ширина ВП, м;  $h$  – высота преодолеваемого препятствия, м.

Вторую составляющую сопротивления определим на основании экспериментальных данных, полученных английскими исследователями. В 1968 г. фирма ВНС проводила испытания судна SR.№6 с целью определения усилий, действующих на навесные элементы ГО [4]. В процессе испытаний судна SR.№6 проводилось тензометрирование звеньев цепочки, с помощью которых концы навесного элемента крепились к внутреннему полотнищу оболочки гибкого ресивера в области ВП. Испытания по-

Расчет параметров АСВП в процессе преодоления твердого препятствия типа «вертикальная стенка»

Наименования величин	SR.№6					12061Э				
	$v_0$ , м/с	6,64	6,74	6,84	6,93	7,03	4,53	4,71	4,87	5,03
$v_1$ , уз	12,92	13,11	13,30	13,49	13,67	8,82	9,15	9,48	9,79	10,09
$Fr_1$	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,27	0,28	0,30	0,30	0,31
$h/H_c$	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
$h$ , м	0,61	0,671	0,732	0,793	0,854	0,75	0,825	0,9	0,975	1,05
$\Delta R$ , Н	17627	18157	18688	19219	19749	54692	58929	63166	67404	71641
$2L_c \cdot \Delta R / M$	44,07	45,39	46,72	48,05	49,37	20,55	22,14	23,73	25,32	26,91
$t_1$ , с	3,77	3,71	3,65	3,59	3,54	4,53	4,71	4,87	5,03	5,19
$dv/dt$ , м/с <sup>2</sup>	1,76	1,81	1,86	1,92	1,97	0,35	0,38	0,41	0,43	0,46
$(dv/dt)/g$	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05

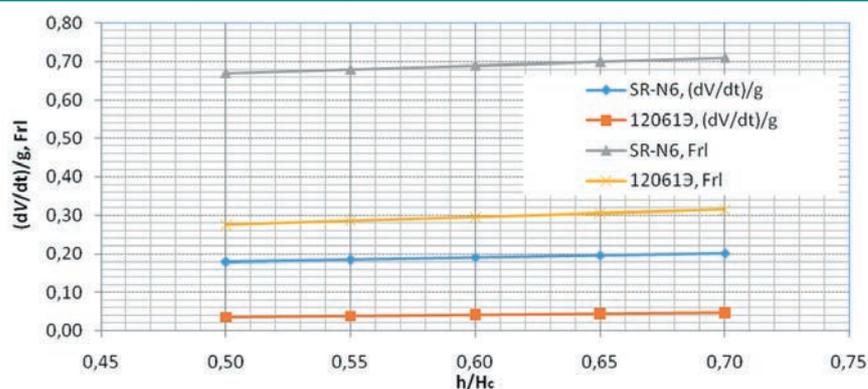


Рис. 2. Зависимость относительной величины продольного ускорения  $(dv/dt)/g$  и относительной скорости  $Fr_1$ , при которой судно полностью теряет скорость во время прохождения препятствия типа «вертикальная стенка» от ее относительной высоты  $h/H_c$

казали, что максимальное усилие в точке крепления одного конца навесного элемента в самом критическом случае так называемого «подлома» ГО (навесные элементы при этом действительно «подламывались» и ложились горизонтально, т.е. параллельно подстилающей поверхности) достигало 350 англ. фунтов [156 кг (силы)]. Учитывая то, что каждый навесной элемент крепился к гибкому ресиверу двумя концами, а также то, что навесные элементы располагались (и располагаются в настоящее время) на обоих бортах и еще на секционирующем гибком киле, эту силу следует увеличить в 8 раз, т.е. общая величина составляющей  $\Delta R_2$  составит 1248 кг.

Приведенная величина, конечно, очень условна (т.е. оценочная), так как силы, возникающие при деформации навесных элементов потоком набегающей воды, могут отличаться от сил, возникающих при деформации навесных элементов в случае преодоления жесткого препятствия, а силы, возникающие при деформации навесных элементов на бортовых участках ГО, могут отличаться от сил на навесных элементах секционирующего кила. Это может показать только эксперимент.

Однако поскольку до проведения модельных испытаний никакой другой информации о величинах сил при изгибной деформации навесных элементов не существует, для ориентировочной оценки способности судна преодолевать препятствия типа «узкой стенки» придется остановиться на указанной величине силы. При оценке величины этой силы применительно к другим объектам будем пересчитывать величину пропорционально кубу масштаба, предполагая идентичными свойства конструктивных материалов, схемы образования и конструкции ГО.

Оценим значение первой составляющей сопротивления  $\Delta R_1$ , исходя из известных величин давления в ВП и ее ширины [1]. В этом случае  $\Delta R_1$ , измеряемая в Н:

$$\begin{aligned} \text{для SR.№6: } \Delta R_1 &= 1450 \cdot 6 \cdot H = 8700 \cdot h, \\ \text{для 12061Э: } \Delta R_1 &= 4280 \cdot 13,2 \cdot H = \\ &= 56500 \cdot h. \end{aligned}$$

Результаты расчетов по апробации предложенной методики расчета сведены в таблице и иллюстрируются графиками на рис. 2.

При фиксированных значениях масс  $M$  каждого из рассматриваемых АСВП и длин их ВП  $L_c$  высоты твердого преодолеваемого препятствия типа «вертикальная стенка»  $h$  принимались здесь варьируемыми. Исходные скорости  $v_0$  каждого из АСВП принимались в том диапазоне, когда преодоление препятствий, характеризуемого как  $h/H_c$ , было предельно реализуемым, поскольку эта скорость  $v_0$  во время прохождения препят-

ствия опускалась практически до нуля ( $v(t_1) = 0,01$ ) и при меньшей скорости хода АСВП судно препятствие не преодолеет и остановится, ибо оказывается недостаточным количество движения.

Приведенные в таблице и на рис. 2 результаты расчетов показывают, что АСВП SR.№6 способно преодолеть препятствия типа «вертикальной стенки» высотой от 0,5 до 0,7 высоты ГО с полной потерей скорости в диапазоне чисел Фруда  $Fr_1$  от 0,67 до 0,71. При этом величина продольной перегрузки составит от 0,18 до 0,2.

Для ДКВП пр. 12061Э при таких же условиях из-за существенно большего значения количества движения диапазон относительной скорости хода составит  $Fr_1$  от 0,27 до 0,31, а величина продольной перегрузки составит от 0,04 до 0,05.

Это становится понятным, если учесть, что масса ДКВП пр. 12061Э более чем на порядок превышает массу судна SR.№6. Следовательно, и запас количества движения при преодолении препятствия у ДКВП пр.12061Э больше.

Приведенные результаты расчетов хорошо совпадают с экспериментальными данными натурных испытаний только при значениях высоты вертикальной стенки, несущественно превышающих высоту навесного элемента ГО (величина которой, по сути своей, и является значением высоты гарантированно преодолеваемого АСВП препятствия). Следует отметить, что предлагаемая методика не учитывает влияния свойств используемых конструктивных материалов ГО и коэффициента перепада давления между гибким ресивером и областью воздушной подушки  $K_p$ , увеличивая который, проектант получает ресивер ГО более жестким, обладающим меньшей податливостью при встрече с преодолеваемыми препятствиями

Тем не менее представленная здесь формализация процесса преодоления препятствия, позволившая получить соответствующий расчетный алгоритм, дает инструмент для оценки реальных амфибийных качеств АСВП уже на ранних стадиях проектирования. Кроме того, позволяет определить расчетные

усилия на узлы крепления элементов ГО при его проектировании, а также выработать инструкции по преодолению препятствий для судоводителей при разработке эксплуатационной документации у рассматриваемых типов судов.

## ПАМЯТИ УЧИТЕЛЯ

15 мая 2021 г. исполнилось бы 90 лет выдающемуся ученому и инженеру-практику Владимиру Кузьмичу Дьяченко.

Он вырос в семье инженера-электротехника, ставшего позднее директором ленинградского завода «Электросила», ребенком в полной мере испытал все тяготы и лишения того непростого времени: арест отца в 1938 г., войну и эвакуацию из Ленинграда в 1941 г.

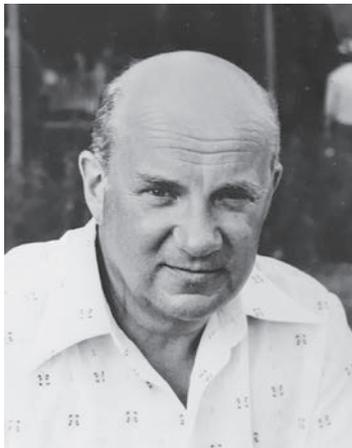
После возвращения из эвакуации в 1944 г. Владимир оканчивает семилетку и поступает в Ленинградское военноморское подготовительное училище, а после получения десятиклассного образования – в Ленинградский кораблестроительный институт, который оканчивает в 1955 г., где получает квалификацию инженера-кораблестроителя по специализации «гидромеханика и прочность корабля».

По окончании института Владимир Кузьмич начинает свою трудовую деятельность в ЦКБ-19 (после объединения с ЦКБ-5 в 1964 г. – ЦМКБ «Алмаз») и одновременно заочно получает второе высшее образование в ЛГУ на механико-математическом факультете.

В ЦМКБ «Алмаз» участвует в только начавшихся тогда экспериментальных и теоретических работах по созда-

## ЛИТЕРАТУРА

1. Демешко Г.Ф. Проектирование судов. Амфибийные суда на воздушной подушке. – Ч.1–2. – СПб.: Судостроение, 1992.
2. Кравец А.С. Характеристики воздушных винтов. – Киев: Оборонгиз, 1941.
3. Остроухов С.П. Аэродинамика воздушных винтов и винтокольцевых движителей. – М.: Физмалит 2014.
4. Wheeler R. L. The New Development Phase of the Mountbatton Class (SR-N4) Hovercraft// AIAA. – 1969. – Paper № 69 – 410. ■



**В.К. Дьяченко**

нию катеров и кораблей на воздушной подушке (КВП). Созданные Владимиром Кузьмичом методики пересчета с модельных испытаний и расчета гидродинамических характеристик КВП были по-инженерному просты, физически обоснованы и надежно подкреплены экспериментами. В 1962 г. Владимир Кузьмич становится начальником сектора гидродинамики КВП в бюро, который возглавлял до 1982 г.

В 1966 г. Владимир Кузьмич защищает диссертацию на соискание степени кандидата, а в начале 80-х гг. перед своим переводом в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова – на соискание доктора

технических наук по гидродинамике судов с новыми принципами движения. С 1973 по 1975 г. он участвует в деятельности рабочей группы по безопасности СВП и СПК Межправительственной морской консультативной организации в Великобритании, ФРГ, Канаде. В 1978 г. Владимиру Кузьмичу с группой коллег присуждена Государственная премия за работы в области создания кораблей и катеров с новыми принципами движения.

Обладея недюжинным педагогическим талантом, Владимир Кузьмич воспитал целую плеяду инженеров, обеспечивших создание отечественных катеров и кораблей на воздушной подушке, в том числе крупнейшего в мире КВП пр. 12322 «Зубр».

В 2010 г. планировался к публикации ряд совместных с В.К. Дьяченко статей по гидродинамике СВП, но его преждевременный уход из жизни в 2013 г. и моя занятость вследствие начавшихся работ над пр. 12270М, а затем и пр. 22800, к сожалению, не позволили ранее завершить эту работу. С разрешения жены и дочери Владимира Кузьмича, уважаемых Светланы Александровны и Натальи Владимировны, восполняю этот пробел.

*Главный конструктор  
АО «ЦМКБ «Алмаз» Д.Е. Цымыляков*



**В**доль всего северного побережья России протянулась национальная морская коммуникация – Северный морской путь (СМП). Под акваторией СМП понимается водное пространство, прилегающее к северному побережью России, охватывающее внутренние морские воды, территориальное море, прилегающую зону и исключительную экономическую зону Российской Федерации и ограниченное с востока линией разграничения морских пространств с Соединенными Штатами и параллелью мыса Дежнева в Беринговом проливе, с запада – меридианом мыса Желания до архипелага Новая Земля, восточной береговой линией архипелага Новая Земля и западными границами проливов Маточкин Шар, Карские Ворота и Югорский Шар [1].

Северный морской путь как национальная транспортная коммуникация России в Арктике имеет исключительное значение для дальнейшего эффективного развития экономики северных регионов и государства в целом. В интересах страны он обеспечивает прежде всего функционирование транспортной инфраструктуры особенно в труднодоступных районах архипелагов, островов, морей и побережья Крайнего Севера, центральных районов Восточной и Западной Сибири, связывая в единую систему меридионально расположенные материковые водные пути великих сибирских рек и широтно направленные морские трассы перемещения на запад и восток страны каботажных и экспортных грузопотоков. Помимо этого СМП – высокоширотная транзитная арктическая судоходная магистраль, которая может служить альтернативой существующим межконтинентальным транспортным связям между странами Атлантического и Тихоокеанского бассейнов через Суэцкий и Панамский каналы [2, 3].

С точки зрения потенциальных запасов углеводородов, минерального сырья и других полезных ископаемых, древесины значение Арктической зоны для России трудно переоценить. Здесь сосредоточено примерно 140 млрд. т углеводородов, из которых 87% приходится на природный газ. Порядка 70% запасов углеводородов (около 100 млрд. т) сосредоточены в Карском и Баренцевом морях, всего же, по предварительным оценкам, российский арктический шельф содержит около 100 млрд. т углеводородных ресурсов. Арктический бассейн в настоящее время является одним из важнейших для перспектив развития транспортировки углеводородного сырья. Сегодня Арктика дает около 40% национального дохода России, здесь фор-

## ПЕРСПЕКТИВЫ АТОМНОГО ЛЕДОКОЛЬНОГО ФЛОТА ПО ОСВОЕНИЮ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

*М.А. Александров, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,  
директор ЗАО «ЦНИИ СМ»,*

*Ю.Л. Бордученко, канд. истор. наук, доцент,  
ст. науч. сотрудник ФГБУН «Институт проблем транспорта  
им. Н.С. Соломенко Российской академии наук»,  
контакт. тел. (812) 640 1051, +7 (911) 905 4364*

мируется 90% объема общероссийского экспорта [4, 5].

Для осуществления перевозок грузов по СМП необходимы ледокольно-транспортные суда и ледокольный флот. В настоящее время арктический транспортный флот насчитывает 204 транспортных судна суммарным дедвейтом 3,4 млн. т, в том числе под флагом России – 174 судна суммарным дедвейтом 2,0 млн. т. На трассах СМП работают суда-снабженцы, лесовозы, танкеры, балкеры, контейнеровозы, все они имеют классы ледового усиления Arc4–Arc7, позволяющие круглогодично работать в арктических условиях [5]. В январе 2016 г. введен в строй пилотный арктический газовоз сжиженного природного газа (СПГ) ледового класса Arc7 для проекта «Ямал СПГ» [6].

### АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛЬНЫЙ ФЛОТ – ОСНОВА БЕЗОПАСНОГО ПЛАВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ В АРКТИКЕ

Регулярное коммерческое судоходство по СМП началось в 1920 г. С этого времени основные этапы освоения новых трасс плавания и расширения сроков навигации по СМП определялись наращиванием мощности ледокольного флота.

Сегодня основой безопасности плавания транспортных судов в ледовых условиях арктического побережья России является атомный ледокольный флот. Изначально он создавался для обеспечения работы Норильского промышленного района, однако для круглогодичной навигации в западном районе Арктики также потребовалось создание мощного ледокольного флота и инфраструктуры на побережье Карского моря и берегах реки Енисей. Опыт многолетней эксплуатации атомного ледокола «Ленин» позволил создать более совершенные суда второго поколения – линейные атомные ледоколы типа «Арктика».

Новые атомные ледоколы превосходят первый атомный по мощности энергетической установки в 1,7 раза, по энерговооруженности и удельной тяге – в 1,5 раза. На ледоколах пр. 1052

и его модификаций принято иное, чем на ледоколе «Ленин», распределение мощности между гребными валами – в соотношении ( $\frac{1}{3} : \frac{1}{3} : \frac{1}{3}$ ) и ( $\frac{1}{4} : \frac{1}{2} : \frac{1}{4}$ ) соответственно; они отличаются формой обводов и конструкцией корпуса; существенно изменены состав и компоновка энергетического оборудования.

Гребная электрическая установка (ГЭУ) ледоколов типа «Арктика» также отличается по своим типу и параметрам от установки ледокола «Ленин». На ледоколах пр. 1052 смонтирована ГЭУ переменного-постоянного тока: в ее состав входят главные генераторы переменного тока, статические выпрямители и гребные электродвигатели постоянного тока.

С вводом в строй в 1970–1990-х гг. новых атомных ледоколов и специализированных судов ледового плавания начался новый этап развития арктического судоходства: была достигнута основная цель первого этапа программы развития СМП – навигация на его западном участке (от новоземельских проливов до пролива Вилькицкого) стала круглогодичной.

Для реализации перехода к круглогодичной навигации на западном участке СМП было затрачено примерно 200 млрд. долл. (в ценах 1975 г.) [3], которые были предназначены для создания грузовых судов арктического плавания, развития портов на Енисее, инфраструктуры, атомных и дизель-электрических ледоколов [3]. Выбор атомной энергетики для ледоколов с учетом выполняемых задач не случаен.

Высокие ледокольные качества, надежность работы главных и вспомогательных механизмов и систем были убедительно продемонстрированы во время высокоширотных рейсов атомных ледоколов второго поколения. Самым знаменитым таким рейсом стал научно-практический рейс атомного ледокола «Арктика» к Северному полюсу в августе 1977 г. Рейс проходил по маршруту Мурманск (10 августа)–мыс Желания (11 августа)–пролив Вилькицкого–море Лаптевых (130° в. д.)–Северный полюс (17 августа, 4 часа по московскому времени). Поход завершился в Мурманске

Основные даты строительства и ввода в строй отечественных атомных судов

Наименование судна	Проект	Дата		Примечания
		закладки на стапеле	ввода в эксплуатацию	
«Ленин»	92 / 92М	25.08.1956	03.12.1959	После подъема Государственного флага ледокол был передан ММФ СССР в опытную эксплуатацию
«Арктика»	1052	31.06.1971	30.12.1974	Государственный флаг на ледоколе поднят 25 апреля 1975 г. в Таллине. В октябре 2008 г. начат вывод ледокола из эксплуатации
«Сибирь»	1052	29.04.1974	28.12.77	Государственный флаг поднят 5 января 1978 г.; в 1993 г. судно выведено из действия и законсервировано; в 1995 г. из реакторов выгружено ядерное топливо
«Россия»	10521	20.02.1981	21.12.1985	
«Советский Союз»	10521	02.11.1983	29.12.1989	Был заложен как «Леонид Брежнев»
«Ямал»	10521	28.10.1986	28.10.1992	Был заложен как «Октябрьская революция»
«50 лет Победы»	10521М1	04.10.1989	23.03.2007	Был заложен как «Урал». Государственный флаг поднят 23 марта 2007 г. на Балтийском заводе
«Таймыр»	10580	03.08.1986	30.06.1989	Государственный флаг поднят 7 апреля 1988 г. в Хельсинки
«Вайгач»	10580	10.04.1987	25.07.1990	Государственный флаг поднят 6 марта 1989 г. в Хельсинки
«Арктика» (II)	22220	05.11.2013	21.10.2020	Государственный флаг поднят 23 октября 2020 г. на Балтийском заводе
«Севморпуть» (лихтеровоз-контейнеровоз)	10081	02.11.1984	31.12.1988	Построен на Керченском судостроительном заводе «Залив» им. Б.Е. Бутомы

23 августа. За 13 суток ледокол прошел 3852 мили, из них 1300 миль – во льдах.

Первый выход надводного судна в точку Северного полюса стал историческим событием в освоении Арктики и в практике мореплавания.

Несколько высокоширотных рейсов совершил в 1970–1980-х гг. атомный ледокол «Сибирь». Особенную роль сыграл рейс 1978 г., показавший возможность плавания в высоких арктических широтах весной. Все эти рейсы были экспериментальными, потому что в это время года маршруты в столь высоких широтах не прокладывались, опыта плавания не имелось. Было даже не очень понятно, как поведет себя в этих условиях ледяной покров и как он будет взаимодействовать с пропульсивным комплексом судов, потому что не были достоверно известны механические свойства арктического льда в это время года.

Опыт эксплуатации двух первых ледоколов пр.1052 – «Арктика» и «Сибирь», собранные в высокоширотных походах дополнительные сведения о свойствах и поведении ледяного покрова и самого судна в высоких широтах в весенний период, принятые в 1981 г. Конференцией Международной морской организацией (ИМО) документы по безопасности ядерных торговых судов заставили внести изменения в проект атомного линейного ледокола, так появился пр. 10521. Были внесены конструктивные изменения, ледоколы получили более совершенную реакторную установку, оснащены системой пневмообмыва корпуса, которая отсутствует у ледоколов пр. 1052.

По этому проекту были построены и вступили в строй в 1985 и 1989 г. ле-

доколы «Россия» и «Советский Союз», в 1992 г. – атомный ледокол «Ямал». В 1989 г. на стапеле Балтийского завода был заложен шестой атомный ледокол «Урал», получивший в 1995 г. новое имя – «50 лет Победы».

В связи с мелководностью подходов к расположенному в русле реки Енисей порту Дудинка были спроектированы и построены атомные ледоколы с малой осадкой «Таймыр» и «Вайгач», специально предназначенные для работы на мелководных арктических морских акваториях и в устьях великих сибирских рек, главным образом Енисея и Оби. Эти ледоколы пр. 10580 также были оборудованы системой пневмообмыва корпуса, которая улучшает ледопроницаемость судна.

ГЭУ ледоколов типа «Таймыр» отличается по типу и своим параметрам от установок ледоколов типов «Ленин» и «Арктика». На ледоколах пр. 10580 смонтирована ГЭУ переменного тока: в ее состав входят главные генераторы переменного тока и гребные электродвигатели также переменного тока. Управление частотой генерируемого тока осуществляется с помощью циклоконверторов. Подобная установка была применена на атомном флоте впервые.

Параллельно с созданием новых ледоколов строились суда усиленного ледового класса для перевозки грузов Норильского горно-металлургического комбината – атомный лихтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть», серии судов типа «Норильск», «Дмитрий Донской»; проводилось переоснащение современным оборудованием системы навигационно-гидрографического обслужи-

вания работы флота, расширение и реконструкция Дудинского порта.

Таким образом, за 40 лет (конец 1950–конец 1990-х гг.) были построены и введены в эксплуатацию восемь атомных ледоколов («Ленин», «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал», «Таймыр» и «Вайгач») и одно атомное транспортно-ледокольное судно – лихтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть» (табл. 1). Еще один атомный ледокол достраивался на стапеле Балтийского судостроительного завода в Петербурге.

### ПЕРЕХОД К КРУГЛОГОДИЧНОЙ НАВИГАЦИИ В ЗАПАДНОМ РАЙОНЕ АРКТИКИ

За это время длительная эксплуатация атомных ледоколов показала надежность их ядерных энергетических установок (ЯЭУ), перспективность ее применения на ледокольных судах, возможность создания ледоколов с установками практически любой мощности.

Подтвердились такие важные преимущества атомных ледоколов, как:

- неограниченность районов плавания;
- независимость от бункеровочных баз;
- независимость осадки от наличия на борту запасов топлива и других расходных грузов;
- возможность выбора осадки судна с учетом ледовых условий и глубины трассы;
- способность длительно поддерживать полную мощность энергетической установки;
- возможность обеспечения оптимальной остойчивости судна.

С помощью ледоколов типа «Арктика» с 1978 г. был осуществлен переход к круглогодичной навигации в западном районе Арктики. Потребность в ней была обусловлена прежде всего необходимостью обеспечения жизнедеятельности и развития Норильского промышленного района. К середине 1980-х гг. была решена проблема устойчивого снабжения отдаленных районов российского Крайнего Севера топливом, промышленными товарами и продовольствием. Увеличились объемы перевозок по трассам СМП. Их максимум пришелся на конец 1980-х гг.

В навигацию 1987 г. по СМП были перевезены рекордные 6578,8 тыс. т грузов, при этом число судов также достигло рекордного количества – в 1987 г. по нему прошло 1306 судов [7].

Однако затем объемы грузоперевозок и число судов, следовавших по трассам СМП, стали сокращаться. Уже в 2000 г. морскими судами в Арктике было перевезено всего 1587,0 тыс. т грузов различного назначения [7]. На таком низком уровне эти объемы оставались в течение нескольких лет (рис. 1). Только в середине 2000-х гг. начался рост грузопотока по СМП, обусловленный ростом международных транзитных перевозок и ростом экономики российской Арктики, который не наблюдался с конца 1980-х гг. [8].

### СОСТОЯНИЕ ДЕЙСТВОВАВШЕГО НА СЕВЕРЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МОРСКОГО ЛЕДОКОЛЬНОГО ФЛОТА В НАЧАЛЕ XXI В.

Состояние отечественного морского транспорта в начале XXI столетия определялось тремя основными факторами:

- разделом отрасли между бывшими союзными республиками;
- началом радикальных реформ в области экономики, государственного и хозяйственного управления;
- резким сокращением инвестиций из федерального бюджета в развитие транспорта.

Состав действовавшего на Севере ледокольного флота в сложившейся обстановке полностью сохранить не удалось. В связи с резким уменьшением объема перевозок по трассам СМП и сокращением объема финансирования ледокольного флота вместо проведения ремонта систем и механизмов ледоколов, в том числе атомных, ледоколы начали выводиться в длительный отстой, а все линейные дизель-электрические ледоколы типа «Москва» к концу 1990-х гг. были исключены из состава флота и утилизированы.

В 1993 г. из-за потери герметичности трубных систем парогенераторов установок обоих бортов и невозможности их ремонта (из-за отсутствия необходимых

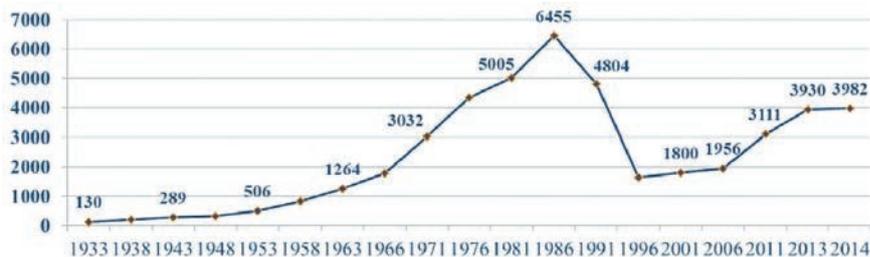


Рис. 1. Грузопоток по Северному морскому пути в 1933 – 2014 гг., тыс. т [8]

технологий и денежных средств на восстановительные работы) был выведен из эксплуатации атомный ледокол «Сибирь». В 1995 г. из его атомных реакторов было выгружено ядерное топливо, и судно поставлено в длительный отстой.

Атомный ледокол «Ленин» был выведен из эксплуатации еще в 1989 г. и оборудование его реакторных установок (в том числе корпуса реакторов и трубные системы парогенераторов) использовалось в 1990-х – 2000-х гг. при проведении исследований по программе продления технического ресурса и срока службы оборудования и корпусов атомных ледоколов.

Таким образом, к началу XXI в. в составе линейного ледокольного флота осталось шесть атомных ледоколов («Арктика», «Россия», «Советский Союз», «Ямал», «Таймыр», «Вайгач»), причем почти все они нуждались в проведении среднего или капитального ремонта оборудования, механизмов и систем и продлении ресурса и сроков службы основного оборудования. Некоторые атомные ледоколы имели ограничения по мощности реакторных установок (РУ), потому что работали с отключенными секциями парогенераторов, число которых доходило до пяти, и отсутствовала технология восстановления работоспособности парогенераторов.

Отметим, что назначенный ресурс основного оборудования ЯЭУ в то время составлял 100 тыс. часов, а срок службы судовых систем и оборудования – 25 лет.

Линейные ледоколы отечественного флота, оставшиеся в строю на середину 2000-х гг., были построены в 1970 – 1980-х гг., поэтому они морально и физически устарели, и их необходимо было исключать из состава флота и заменять новыми.

Снижение объемов грузоперевозок по СМП, отсутствие необходимых денежных средств для строительства новых атомных ледоколов, а также неясность в вопросе строительства новых атомных ледоколов вызвали необходимость разработки программы продления ресурса основного оборудования и срока службы атомных ледоколов.

Появлению программы предшествовала большая по объему работа по исследованию технического состояния и остаточного ресурса основного меха-

нического оборудования, общесудовых систем и устройств, корпуса выведенного из эксплуатации атомного ледокола «Ленин». Эти исследования проводили во второй половине 1990-х гг.; итогом их проведения стала разработка ФГУП «ОКБМ им. И.И.Африкантова» (сегодня – ОАО «ОКБМ Африкантов») межведомственной целевой комплексной «Программы продления ресурса до 150 тыс. часов и срока службы до 30 лет систем и оборудования АППУ атомных судов» [9].

Работы по продлению ресурса парогенераторов атомного ледокола «Арктика», которые проводились с 1993 г. до середины 2000-х гг., привели к заключению, что имеются потенциальные возможности для увеличения назначенного ресурса и срока службы оборудования РУ. Результатом стало продление ресурса парогенераторов ледокола «Арктика» сначала до 120 тыс. часов, а затем до 175 тыс. часов и срока его службы до 32 лет, а парогенераторов остальных атомных ледоколов – до 150 тыс. часов и срока службы судов – до 30 лет соответственно. В последующем удалось продлить ресурс оборудования всех атомных ледоколов до 175 тыс. часов, а эксплуатацию ледоколов обеспечить до 2016 – 2020 гг. [9].

Наряду с разработкой Программы продления ресурса парогенераторов атомных ледоколов, была создана технология замены трубных систем парогенераторов, из-за отсутствия которой, в частности, был выведен в отстой ледокол «Сибирь» и введены ограничения мощности ЯЭУ на ряде других ледоколов. Первая в истории отечественного атомного флота замена трубной системы двух парогенераторов реакторной установки была произведена в октябре 2002 – феврале 2003 гг. на ледоколе «Вайгач», что позволило продлить срок эксплуатации ледокола и использовать его реакторную установку на полную мощность. На практике была отработана технология, которая позволяет продлить срок службы реакторных установок атомных ледоколов сверх установленного ресурса парогенераторов.

В 2004 – 2006 гг. на ледоколе «Россия» с использованием этой же технологии были заменены шесть из восьми трубных систем парогенераторов реак-

торных установок обоих бортов и в марте 2007 г. Регистр подтвердил класс ледокола. В 2005–2006 гг. были также проведены работы по продлению ресурса оборудования атомного ледокола «Таймыр», заменены три парогенератора на ледоколе «Ямал». В 2007 г. сжег топливо в реакторах обоих бортов атомный ледокол «Советский Союз». Программу продления ресурса основного оборудования ледокол не проходил, поэтому он был поставлен в отстой с перспективой провести ремонт основного оборудования, выполнить программу продления ресурса его оборудования, перегрузить топливо и сменить атомный ледокол «Россия», который к этому времени работает все топливо обоих реакторов и, в свою очередь, встанет на длительный ремонт и перегрузку [9].

Мелкоосидающий ледокол «Вайгач» встал в начале осени 2011 г. на ремонт и перегрузку топлива, по выходу из дока он ушел в Арктику с продленным на пять лет ресурсом оборудования. Атомный ледокол «Ямал» во второй половине 2012 г. также прошел ремонт, и одновременно на его борту началось выполнение программы продления ресурса основного оборудования. Относительно находившегося в отстое атомного ледокола «Сибирь» в 2008 г. было принято решение не вводить его в эксплуатацию [9].

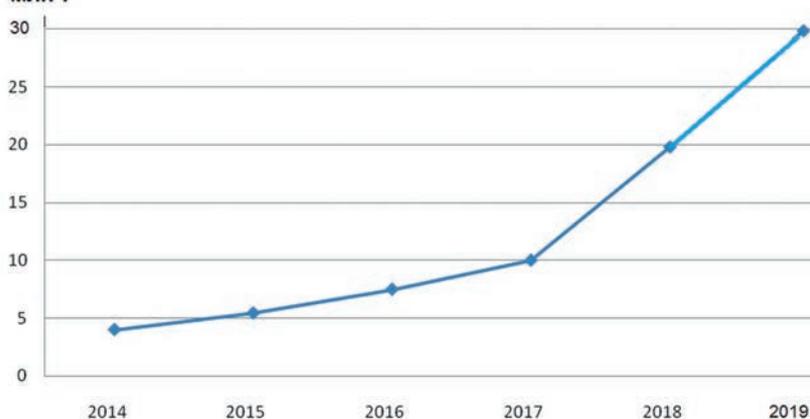
В результате выполнения Программы удалось продлить ресурс и срок службы оборудования реакторных установок атомных ледоколов до 175 тыс. часов, а эксплуатация большинства действовавших ледоколов была обеспечена до начала 2020-х гг.

Сегодня речь идет уже о продлении ресурса ЯЭУ до 200 тыс. часов. Продление ресурса оборудования до 175 тыс. часов и срока службы до 32 лет позволило начать вывод ледоколов, находящихся в эксплуатации, еще позже, чем указано выше, и обеспечить работу СМП без экстренного ввода в строй новых ледоколов. Возникшая пауза была использована для постройки новых ледоколов, которые будут вводиться в строй вместо выводимых. Если этого не произойдет, к 2030 г. у России не останется ни одного полярного линейного ледокола – ни атомного, ни дизель-электрического, и страна потеряет контроль над работой важнейшей морской национальной магистрали.

В 2003 г. возобновилось строительство атомного ледокола «50 лет Победы» и к концу 2006 г. он был достроен, в феврале 2007 г. прошел ходовые испытания, а 23 марта 2007 г. принят в эксплуатацию, и на нем был поднят российский флаг [10].

Благодаря вводу в эксплуатацию атомного ледокола «50 лет Победы» стало возможным начать вывод из эксплуа-

**Объем грузоперевозок, млн т**



**Рис. 2. Грузоперевозки по Северному морскому пути в 2014 – 2019 гг., млн. т**

тации ледокола «Арктика», поставить в длительный отстой ледокол «Советский Союз» и маневрировать финансовыми средствами при покупке новых активных зон для работавших ледоколов.

Таким образом, к началу 2020-х гг. на трассах СМП остались в работе линейные двухреакторные атомные ледоколы «Ямал» и «50 лет Победы» (ледоколы «Россия» и «Советский Союз» находились в отстое), а на мелководных участках – однореакторные «Таймыр» и «Вайгач». Практически все они, за исключением ледокола «50 лет Победы», в середине 2020-х гг. начнут выводиться из эксплуатации в связи с выработкой ресурса основного оборудования.

После 2000 г. наметилась тенденция к увеличению объемов морских перевозок в Арктике, в течение 2005 – 2008 гг. они превышали 2 млн. т и продолжают увеличиваться. Однако в условиях финансового кризиса прирост объемов перевозок по СМП замедлился, и масштабные проекты в регионе, связанные с вывозом углеводородного сырья, тогда не заработали [3].

Ближайшим по времени реализации является расширение освоения ОАО «НОВАТЭК» ямальских газовых месторождений. Атомные ледоколы с 1976 г. по настоящее время принимают участие в обеспечении доставки грузов на полуостров Ямал в зимний период навигации с выгрузкой грузов на припай.

В перспективе Росатомфлот готов осуществлять проводку сухогрузных судов, газозовов и танкеров к полуострову Ямал и в Обскую губу, обеспечивая круглогодичный навигационный цикл работы флота на этом направлении [3].

После начала разработки ямальских месторождений углеводородов начался заметный рост объема их перевозок по маршруту Ямал – Западная Европа (рис. 2).

### **ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА И СРОКА СЛУЖБЫ ОСНОВНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СУДОВЫХ СИСТЕМ**

До 2020 г. минимально необходимое количество атомных ледоколов сохранялось на уровне четырех единиц. Однако ледоколы, даже атомные, не вечны. На основании проведенных исследований (по разработанным проектировщиками и изготовителями оборудования программам) был увеличен ресурс действующих ледоколов, продлен срок службы их корпусов, судовых систем и основного механического оборудования (табл. 2).

Выполнение указанных исследований позволило на протяжении нескольких лет сохранить в эксплуатации четыре атомных ледокола и начать процесс утилизации остальных («Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз»). В рамках Федеральной целе-

*Таблица 2*

**Продление ресурса основного оборудования и срока службы основного механического оборудования и судовых систем действующих атомных ледоколов**

Ледокол	Дата решения об увеличении ресурса и срока службы	Новый ресурс основного оборудования, ч	До какого года продлен срок службы ледокола	Примечание
«Ямал»	2014		2022	
«50 лет Победы»	-	-	-	Выработает ресурс основного оборудования 150 тыс. часов после 2030 г.
«Таймыр»	2018	200 000	2025 – 2026	
«Вайгач»	2018	200 000	2023 – 2024	

вой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» на судоремонтном заводе «Нерпа» в Снежногорске (Мурманская область) идут работы по выгрузке оборудования реакторной установки из двух атомных ледоколов и комплексной утилизации судов атомно-технологического обслуживания (АТО).

Первым атомным ледоколом, отправленным на утилизацию, стал ледокол «Сибирь». Его отбуксировали на завод 3 ноября 2016 г. 13 ноября того же года судно перегнали на специально подготовленную якорную стоянку завода для проведения работ по утилизации [11].

Изначально концепция утилизации атомных ледоколов, разработанная научно-исследовательским проектным технологическим бюро «Онега», планировалась по тому же принципу, что и атомных подводных лодок. Она предполагала, что реакторный отсек будет выделен в отдельную блок-упаковку, которую направят в пункт долговременного хранения (ПДХ РО) «Сайда», а оставшаяся часть судна должна быть фрагментирована и реализована в виде металлолома.

Однако этот подход оказался гораздо дороже и трудозатратнее. Стоимость выполнения одного такого проекта составляла примерно 1,7 млрд. рублей (в современных ценах), весь процесс разделки должен был занять около четырех лет.

Вместо этого дорогостоящего процесса выбрали другой подход: корпус судна остается сохранным, а реакторное оборудование выгружается поэтапно в специально собранную заранее блок-упаковку. При этом все происходит не в доках, а прямо на плаву, что позволяет снизить стоимость утилизации одного судна до 700 – 800 млн. рублей.

Реакторная установка ледокола «Сибирь» была полностью выгружена в 2018 г. и передана на хранение в Сайдагубу. На ледоколе осталось дезактивировать ряд помещений. Государственный контракт на эти работы был подписан летом 2019 г. Срок завершения работ –

30 ноября 2021 г. Стоимость контракта – 298 млн. рублей. [12]

В ноябре 2018 г. ледокол «Арктика» пришел на завод «Нерпа» и стал на рейде, на штатной стоянке в бухте Кут Кольского залива. В 2019 г. с ледокола «Арктика» выгрузили блоки биологической защиты, началось формирование блок-упаковки для демонтированного оборудования реакторной установки. В 2020 г. утилизация еще одного атомного ледокола – «Арктика» – должна была завершиться [11], однако из-за пандемии коронавируса все указанные сроки окончания работ, естественно, отодвинулись на более позднее время. Тем не менее после завершения работ этот ледокол передадут судовладельцу – ФГУП «Атомфлот» госкорпорации «Росатом» [13].

Кроме указанных, к утилизации готовят атомные ледоколы «Россия» и «Советский Союз». Они уже несколько лет находятся в «холодном отстое», ядерное горючее выгружено из реакторов. Их утилизация начнется после завершения работ на борту ледокола «Арктика».

Эксплуатацию ледоколов «Таймыр» и «Вайгач» после проведения на их борту комплекса работ по продлению ресурса основного механического оборудования РУ и судовых систем до 200 тыс. часов, намечено завершить на рубеже 2025 – 2026 гг. и в 2023 – 2024 гг. соответственно [7]. Хотя по материалам исследований, ледокол «Вайгач», например, может работать на ледовых трассах до 2027 г. [8]

Первый атомный ледокол «Ленин» 5 мая 2009 г. ошвартовался в центре города Мурманска у морского вокзала. На его борту сегодня работают Арктический выставочный центр «Атомный ледокол «Ленин», который является структурным подразделением Федерального государственного унитарного предприятия атомного флота (ФГУП «Атомфлот») госкорпорации по атомной энергии «Росатом» (ГК «Росатом»), а также Информационный центр по атомной энергии и постоянно действующая выставка «Атом и Арктика» – интерактивный музейно-образовательный комплекс, посвященный истории

атомного ледокольного флота, развитию СМП, промышленному освоению, климатическим особенностям, экологии Арктики, научно-техническому прогрессу в ледовом мореплавании и судовой атомной энергетике.

И хотя ледокол работает как музей, но такого статуса не имеет, поскольку оборудование реакторных установок с него не выгружено, и он по-прежнему считается «радиационным источником» [13].

## СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ОСАДКОЙ

В связи с предстоящим списанием по мере физического износа атомных ледоколов типов «Арктика» и «Таймыр» судостроительная промышленность разработала проект универсального атомного ледокола мощностью 60 МВт (ЛК-60Я, пр. 22220) с переменной осадкой (от 8,5 до 10,8 м), который один будет в состоянии заменить два атомных ледокола типа «Арктика» и «Таймыр». В августе 2012 г. договор на строительство головного универсального ледокола был подписан, срок его сдачи в эксплуатацию был установлен 31 декабря 2017 г. На долгосрочную перспективу (15 – 30 лет) сохранится потребность в четырех-пяти атомных ледоколах, для чего потребуются ввод в эксплуатацию еще четырех ЛК-60Я соответственно. Всего на Балтийском судостроительном заводе в 2013 – 2020 гг. заложено пять новых атомных ледоколов типа ЛК-60Я (рис. 3), получивших названия «Арктика», «Сибирь», «Урал», «Якутия» и «Чукотка». Они все должны войти в эксплуатацию до конца 2026 г. (сроки сдвинулись из-за возникших трудностей в отношениях с украинскими контрагентами). Головной ледокол серии – «Арктика» – в июле 2016 г. был спущен на воду, а 21 октября 2020 г. принят в состав атомного флота, «Сибирь» и «Урал» достраиваются на плаву, «Якутия» и «Чукотка» – строятся на стапеле завода.

Учитывая перспективы реализации в ближайшие десятилетия с непосредственным участием Российской Феде-

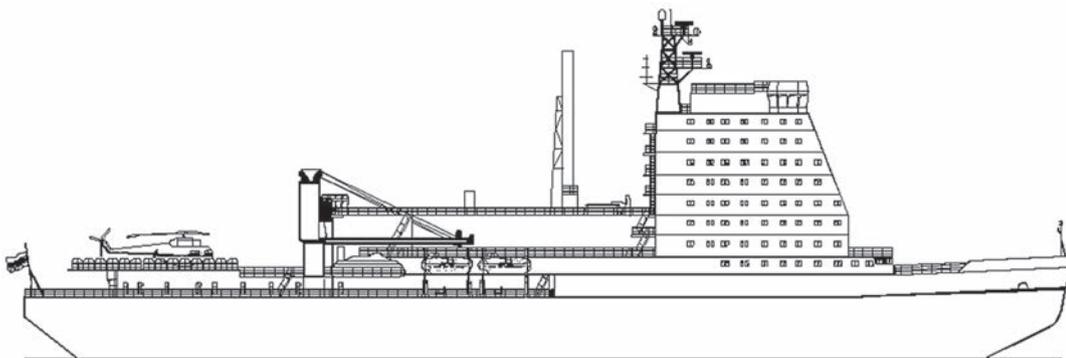


Рис. 3. Универсальный атомный ледокол «Арктика» пр. 22220 (вид сбоку)



Рис. 4. Проектное изображение одного из вариантов атомного ледокола-лидера типа ЛК-110Я

рации международных проектов создания трансарктической магистрали межконтинентальных морских перевозок из Атлантического бассейна в Тихоокеанский, начиная с 2013 г. начаты работы по проектированию и подготовке строительства атомных ледоколов-лидеров мощностью до 110 МВт (типа ЛК-110Я, пр.10510, рис.4), способных обеспечить плавание судов на традиционных, высокоширотных и приполюсных маршрутах СМП в круглогодичном навигационном цикле.

Ледокол пр. 22220 имеет двухреакторную энергетическую установку с основным источником пара от реакторной установки нового поколения РИТМ-200 мощностью 175 МВт, специально разработанную для этого судна. Технический проект атомохода был разработан ЦКБ «Айсберг» в 2009 г. Двухосадочная конструкция судна позволяет использовать его как в водах арктических морей, так и в устьях полярных рек. РУ РИТМ-200 – интегрального типа, т. е. активная зона и трубные системы парогенераторов объединены в одном корпусе, что снижает вес и габариты РУ и предотвращает выход радиоактивных продуктов в отсеки судна в случае аварии с нарушением герметичности первого контура. РУ интегрального типа применяется на российских судах впервые.

Ледокол будет работать в западном районе Арктики: в Баренцевом, Печорском и Карском морях, а также на более мелководных участках устья Енисея и в районе Обской губы. Основные технические характеристики ледоколов приведены в табл. 3.

Одновременно со строительством новых атомных ледоколов Росатомфлот начал утилизацию атомных ледоколов «Арктика» и «Сибирь» предыдущего поколения (пр. 1052) и продолжил утилизацию судов атомно-технологического обслуживания.

В ближайшие годы начнется утилизация находящихся в отстое атомных ледоколов «Россия» и «Советский Союз», будут выведены из действия линейный ледокол «Ямал» и два мелкосидящих ледокола типа «Таймыр». Зато вступят в

Основные технические характеристики атомных ледоколов модификаций пр.1052

Таблица 3

Характеристика	«50 лет Победы»	«Таймыр»	«Арктика» (II)	«Лидер» ЛК-110Я
Проект	10521М	10580	22220	10510
Число судов в серии	1	2	5 (строятся)	проект
Дата принятия в эксплуатацию	12.03.2007	30.06.1989	21.10.2020	–
Длина, м: по КВЛ габаритная	139,8 159,6	136,3 149,7	160 173,3	– 215,0
Ширина, м: по КВЛ габаритная	28,0 30,0	28,9 30,0	32,2 34,0	38,0 40,0
Высота борта, м	17,2	15,7	15,2	20,3
Осадка, м: по КВЛ мин. рабочая	11,0 –	9,0 –	10,5 8,55	13,0 11,0
Водоизмещение, т	25840	21100	33540	55600
Тип ЯЭУ	ОК-900А	КЛТ-40М	РИТМ-200	РИТМ-400
Мощность, МВт: РУ на валах	2×171 52,8	155 36,0	2×175 60,0	2×315 110,0
Число гребных винтов	3	3	3	3
Ледопробитность, м	2,5	1,75	2,9	4,5
Скорость на чистой воде, уз	21,0	20,0	20,0	24,0
Число пассажиров, чел.	180	–	–	–

строй ледоколы пр. 22220, которые смогут заменить выводимые до 2025 г. из эксплуатации атомные ледоколы, в том числе три ледокола пр. 10521 («Россия», «Советский Союз», «Ямал»). Для обеспечения круглогодичной навигации на СМП, а также работ на шельфе (включая восточный район Арктики и высокоширотные трассы СМП) предусматривается строительство атомного ледокола-лидера мощностью на валах 110–130 МВт (концептуальный проект такого ледокола уже разработан) [5].

Проектируемый атомоход-лидер мощностью 110 МВт обеспечит проводку судов по высокоширотным маршрутам, которые в 1,5 раза короче прибрежных трасс СМП, а также проводку с коммерческой скоростью новых танкеров-газовозов в Обской губе и Беринговом проливе.

Ледокол-лидер разработан Крыловским государственным научным центром совместно с ЦКБ «Айсберг». Он

спроектирован для круглогодичной проводки крупнотоннажных транспортных судов (ледвейтом более 100 000 т и шириной более 50 м) на всем протяжении СМП с экономически эффективной скоростью (около 10 уз) во льдах толщиной около 2 м. Сам ледокол сможет свободно перемещаться по Арктике, преодолевая льды толщиной до 4,5 м. Все материалы и основное оборудование, необходимые для строительства ледокола, могут быть поставлены отечественными предприятиями. В проекте обеспечена унификация основного и вспомогательного оборудования со строящимся универсальным атомным ледоколом «Арктика» пр. 22220. Разработка технического проекта ледокола-лидера началась в 2016 г. (срок разработки технического проекта – три года). Однако пока только определен завод-строитель атомного ледокола-лидера – это новый дальневосточный судостроительный комплекс «Звезда», прошедший глубокую модернизацию

Ледоколы, боевые и вспомогательные корабли, строящиеся на отечественных судостроительных заводах для ВМФ и Береговой охраны ФСБ

Характеристика	«Евпатий Коловрат»	«Иван Папанин»	«Пурга»	«Адмирал Угрюмов»
Проект	21180М	23550	23550	22120
Шифр проекта	–	«Арктика»	«Ермак»	«Пурга»
Классификация	Ледокол	Сторожевой корабль ВМФ	Пограничный сторожевой корабль	Пограничный патрульный корабль
Длина наибольшая, м	82	1104	114	71
Ширина наибольшая, м	19	18	20	10,4
Осадка по КВЛ, м	4,6	6	6	3,4
Водоизмещение, т	4080	8500	8500	1066
Тип ЭУ	ДЭУ	ДЭУ	ДЭУ	ДЭУ
Мощность, МВт: ГД ВРК	4×3000 2×3500	4×3000 2×3500	4×3000 2×3500	2×3000 –
Число гребных винтов	2 ВРК	2 ВРК	2 ВРК	2
Скорость на чистой воде макс., уз	14	16	16	21
Экипаж, чел.	30	49 + 47	–	25
Ледопробитость, м	1,0	1,5	1,5	0,6-0,8

оборудования. Новый атомный ледокол-лидер будет введен в эксплуатацию примерно во второй половине 2020-х гг.

Трассы СМП пролегают на акваториях арктических морей и южной части Северного Ледовитого океана в пределах исключительной экономической зоны России, которая простирается на 200 морских миль к северу от побережья и островов морей Российской Арктики. Помимо этого, Россия претендует на участок арктического морского шельфа площадью 1,2 млн. км<sup>2</sup> в районе хребта Ломоносова и Поднятия Менделеева в Северном Ледовитом океане. Основную работу по сбору данных для обоснования внешней границы континентального шельфа также обеспечивают атомные ледоколы.

Официальными претендентами на ресурсы арктического шельфа и дна Северного Ледовитого океана являются США, Канада, Дания, Норвегия и Исландия. Активный интерес к Арктике проявляют Германия, Япония, Индия и Китай. Многие из этих стран проводят политику пересмотра границ экономических зон в Арктике. На выполнение научных программ по изучению гидрометеорологического режима Арктики, геофизические и геологические исследования страны Европейского Союза и США затрачивают ежегодно до 1 млрд. долл. Характерно, что для проведения научных исследований в Арктике привлекаются российские ледоколы и суда. Примером может служить рейс ледокола «Капитан Драницын» с экспедицией Университета Аляски в 2008 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях наше государство для обеспечения своих геополитических интересов должно постоянно поддерживать активное присутствие в Арктическом регионе. Оно выражается в разведке и добыче полезных ископаемых, проведении научных исследований и морских грузоперевозок с использованием ледоколов и специализированных ледокольно-транспортных судов.

В настоящее время Россия является мировым лидером в области применения атомного ледокольного флота для решения транспортных задач в морях Арктики и неарктических замерзающих морях. Для успешной конкуренции России необходимо поддерживать постоянное функционирование СМП.

Отечественная ледокольная программа выполняется даже в условиях резкого мирового промышленного спада, вызванного пандемией. Например, 21 октября 2020 г. был поднят Государственный флаг на крупнейшем в мире атомном ледоколе «Арктика» (водоизмещение – 33 540 т, мощность на гребных валах – 60 МВт), 3 ноября был принят в эксплуатацию крупнейший в мире дизель-электрический

ледокол «Виктор Черномырдин» (водоизмещение – 23 152 т, мощность на валах – 30 МВт). Еще ряд ледоколов и кораблей ледокольного типа строятся на отечественных верфях (табл. 4).

Кроме того, на германской верфи в Гамбурге, принадлежащей судостроительному заводу «Пелла» (Ленинградская область), заложен линейный ледокол типа ЛК-18 мощностью 18 МВт (пр. 21900М2), а на дальневосточной судовой верфи «Звезда» готовится к закладке атомный ледокол-лидер пр. 10510, предварительно получивший наименование «Россия».

Эти корабли предназначены для деятельности в северных полярных морях, и они помогут Российской Федерации обеспечить присутствие в Арктике и порядок в российских экономических зонах и территориальных водах Арктического региона

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон № 132-ФЗ от 28 июля 2012 года. О государственном регулировании торгового мореплавания в акватории северного морского пути».
2. Половинкин В.Н., Фомичев А.Б. Перспективные направления и проблемы развития Арктической транспортной системы Российской Федерации в XXI веке // Арктика: экология и экономика. – 2012. – № 3 (7). – С. 74–83.
3. Рукиа В.В., Смирнов А.А., Головинский С.А. Атомный ледокольный флот России и перспективы развития Северного морского пути // Арктика: экология и экономика. – 2013. – № 1 (9). – С. 78–83.
4. Ситенчук М.В. Национальный арктический транспортный коридор: проблемы и перспективы // Арктическое обозрение. Официальное издание Международного экспертного совета по сотрудничеству в

Арктике. – 2016. – № 2. – С. 10–15.

5. Буянов С.И. Состояние и перспективы развития Арктической морской транспортной системы, включая арктические порты // V Международный конфер. по развитию портов и судоходства и XIII Международный транспортная выставка «Транстек»: Тезисы докл., Санкт-Петербург, 2016, с. 65–68.
6. ПАО «Совкомфлот»: позитивные результаты на фоне слабого рынка // Морской флот. – 2016. – № 4. – С. 16–8.
7. Российская Арктика: Справочник для государственных служащих. – М., 2001.
8. Рукиа В.В., Белкин М.С., Смирнов А.А., Арутюнян В.Г. Структура и динамика грузоперевозок по Северному морскому пути: история, настоящее и перспективы // Арктика: экология и экономика. – 2015. – № 4 (20). – С. 104–110.
9. Бордученко Ю.Л. Ледокольный флот России. – СПб., 2018.
10. Демьянченко В.Я., Макеев А.Н. Атомный ледокол «50 лет Победы» // Судостроение. – 2008. – 1. – С. 13–19.
11. В «Атомфлоте» приступили к утилизации серии советских атомных ледоколов. – <http://sudostroenie.info/novosti/17885.html> (дата обращения 10 декабря 2020 г.)
12. Чередищиченко А. Так умирают ледоколы // Санкт-Петербургские ведомости. – 2019. – № 167 (6520). – 9 сент.
13. Последний причал легенд атомного флота: СПЗ «Нерпа» утилизирует «Арктику» и «Сибирь» – <http://www.atomic-energy.ru/articles/2019/06/07/95304> (дата обращения 10 декабря 2020 г.)
14. Росатом продлил срок эксплуатации атомных ледоколов «Вайгач» и «Таймыр» – <https://ria.ru/atomtec/20180123/1513173735.html?injj=1> (дата обращения 10 декабря 2020 г.)
15. Атомный ледокол «Вайгач» сможет продлить работу до 2027 года – <http://www.atomic-energy.ru/news/2018/09/28/89188> (дата обращения 10 декабря 2020 г.) ■

**К**руизы на речных судах во всех странах мира становятся популярнее с каждым годом. Расширяется их география, меняются подходы к предоставлению услуг на борту, модернизируются и строятся новые речные круизные пассажирские суда (РКПС) [1, 2]. Круизы по внутренним водным путям (ВВП) КНР, наряду с европейскими, российскими, нильскими, американскими и азиатскими (р. Меконг) круизами, привлекают большое количество как «вездных», так и местных туристов. В XXI в., особенно во втором десятилетии, произошло изменение подходов к проектированию таких судов – от копирования европейских к собственным оригинальным решениям.

Цель статьи – изучение флота китайских РКПС и его характеристик с целью использования при проектировании

## РЕЧНЫЕ КРУИЗНЫЕ СУДА КНР: ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ

**А.Г. Егоров**, канд. техн. наук,  
ст. науч. сотрудник ООО «Морское инженерное бюро–СПб»,  
контакт. тел. (812) 233 6403, 232 8538

новых РКПС для ВВП в европейских странах.

Ранее\* были исследованы рынок речных круизов КНР, а также технические решения, применяемые при проектировании и строительстве РКПС. Рынок китайских речных круизов развивается, строятся новые суда.

Основными круизными компаниями, обслуживающими, в том числе, «везд-

ных» туристов на р. Янцзы и оперирующими РКПС международного уровня, являются «Century Cruises», «Changjiang Cruises», «China Goddess Cruises», «President Cruises», «Victoria Cruises», «Yangtze Gold Cruises», «Sanctuary Yangzi Explorer» [3]. Распределение китайского флота РКПС международного уровня и основные характеристики приведены в табл. 1, сводные данные – в табл. 2.

Таблица 1

Распределение китайского флота РКПС международного уровня и основные характеристики по данным на январь 2021 г.

Название судна	Год постройки / модернизации	Пассажировместимость, чел.	Экипаж, чел.	Скорость, км/ч	Количество палуб	Звездность,*	Осадка, м	Размеры судна габаритные, м	
								длина	ширина
<b>Круизная компания «Century Cruises»</b>									
«Century Glory»	2019	650	180	26	7	5+	3,0	149,98	21,20
«Century Legend»	2013	408	150	24	7	5+	2,8	141,80	19,80
«Century Paragon»	2013	408	150	24	7	5+	2,8	141,80	19,80
«Century Emerald»	2010	264	138	26	6	5+	2,6	110,00	17,00
«Century Sun»	2006	306	152	26	6	5	2,7	126,80	17,20
«Century Sky»	2005	306	152	26	6	5	2,7	126,80	17,20
«Century Victory»	2021	650	180	26	7	5+	3,0	149,98	21,20
«Century Oasis»	2022	650	180	26	7	5+	3,0	149,98	21,20
«Century Dream»	2023	650	180	26	7	5+	3,0	149,98	21,20
«Century Voyager»	2023	650	180	26	7	5+	3,0	149,98	21,20
<b>Круизная компания «Changjiang Cruises»</b>									
«Yangtze 2»	2011	452	160	26	6	5	2,7	139,05	19,60
«Yangtze 1»	2006 / 2009	218	127	20	5	4	2,7	103,80	16,00
н/д	2021	600	150	26	6	5+	3,0	149,98	23,00
<b>Круизная компания «China Goddess Cruises»</b>									
«China Goddess 3»	2021	650	н/д	24	7	5+	3,1	149,98	23,20
«China Goddess 2»	2014	400	120	26	7	4	2,7	119,80	18,80
«China Goddess 1»	2012	234	120	26	6	4	2,7	92,00	18,80
<b>Круизная компания «President Cruises»</b>									
«President No. 8»	2013	460	200	26	7	5+	2,6	141,80	20,20
«President No. 7»	2013	460	200	26	7	5	2,6	141,80	20,20
«President No. 6»	2013	374	200	26	6	5	2,6	135,20	19,60
<b>Круизная компания «Victoria Cruises»</b>									
«Victoria Sabrina»	2020	572	195	24	6	5+	2,9	149,99	21,80
«Victoria Jenna»	2009 / 2018	378	180	26	6	5	2,6	133,80	18,80
«Victoria Anna»	2006 / 2019	266	138	28	5	5+	2,6	106,00	16,60
«Victoria Katarina»	2004 / 2017	264	128	28	5	5	2,5	98,60	15,20
«Victoria Lianna»	1995/2011/2018	216	121	28	4	5	2,7	89,40	16,40
«Victoria Selina»	1994/2011/2018	216	121	28	4	5	2,7	89,40	16,40
«Victoria Sophia»	1994/2004/2019	200	121	28	4	5	2,7	89,40	16,40
«Victoria Grace»	1996/2002/2012	192	117	28	4	5	2,65	85,50	14,40
<b>Круизная компания «Yangtze Gold Cruises»</b>									
«Yangtze Gold 8»	2013	446	175	26	6	5+	2,6	136,00	19,60
«Yangtze Gold 7»	2013	446	176	26	6	5+	2,6	136,00	19,60
«Yangtze Gold 6»	2012	570	200	26	6	5+	2,6	149,95	24,00
«Yangtze Gold 5»	2012	570	200	26	6	5+	2,6	149,95	24,00
«Yangtze Gold 3»	2012	570	200	26	6	5+	2,6	149,95	24,00
«Yangtze Gold 2»	2012	570	200	26	6	5+	2,6	149,95	24,00
«Yangtze Gold 1»	2011	349	170	26	6	5+	2,6	136,00	19,60
<b>Круизная компания «Sanctuary Yangzi Explorer»</b>									
«Yangtze Explorer»	2008 / 2016	124	121	26	5	5+	2,7	91,50	16,40

Источник: [4–12].

\* См. ст. «Речные круизные суда КНР: исследование применяемых технических решений и особенностей круизов» в журнале «Морской вестник», 2021, № 1 (77).

## Сводные характеристики судов с учетом строящихся для компаний

Название компании	Количество РКПС международного уровня, ед.	Средний возраст (только в эксплуатации), число лет	Суммарная пассажироместимость, чел.
«Century Cruises»	10	10,0	4942 (2342)
«Changjiang Cruises»	3	12,5	1270 (670)
«China Goddess Cruises»	3	8,0	1284 (634)
«President Cruises»	3	8,0	1294
«Victoria Cruises»	8	18,8	2304
«Yangtze Gold Cruises»	7	8,9	3521
«Sanctuary Yangzi Explorer»	1	13	124
Итого	35 (29 в эксплуатации, 6 в постройке)	12,1	14739 (10889 фактическая)

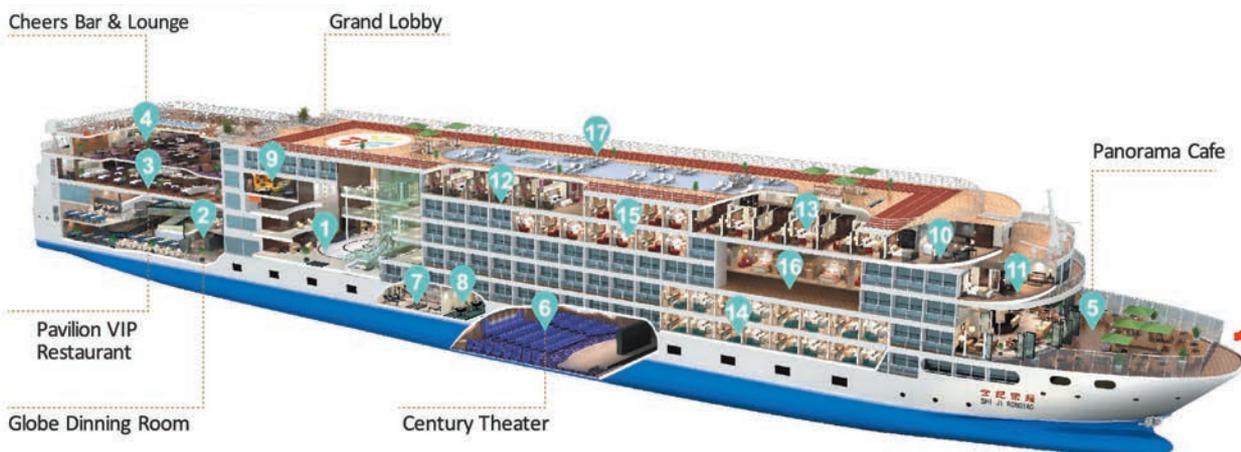


Рис. 1. Общий вид РКПС «Century Glory» 2019 г. постройки. Источник: [4]

На январь 2021 г. в эксплуатации на р. Янцзы находятся 29 РКПС международного уровня. Еще 6 таких судов достраиваются и будут сданы в 2021–2023 гг. Средний возраст работающих РКПС – 12,1 год. Суммарная пассажироместимость – 10 889 человек, с учетом судов, которые будут сданы в эксплуатацию в ближайшее время, – 14 739 человек. Средняя загрузка РКПС в 2017 г. составила 75–82% [13].

Круизная компания «Century Cruises», работающая на р. Янцзы, наиболее динамично развивается. Флот компании состоит из 6 РКПС международного уровня. Самое новое судно компании «Century Glory» было сдано в эксплуатацию в 2019 г. (рис. 1 и рис. 2). Стоимость строительства головного судна составила 300 млн. юаней (46 млн. долл. США) [3]. Еще 4 однотипных с «Century Glory» РКПС – в постройке и будут сданы в 2021–2023 гг.

«Century Cruises» одной из первых круизных компаний начала строить РКПС с увеличенными габаритами в результате запуска в работу гидроузла «Три ущелья», первой среди круизных компаний на р. Янцзы начала строить РКПС с винторулевыми колонками и гибридными СЭУ. Практически все РКПС компании работают с «въездными» туристами, уровень сервиса соответствует европейским 5\*.

Площадь кают на судах компании приведена в табл. 3. Все каюты с балконами.

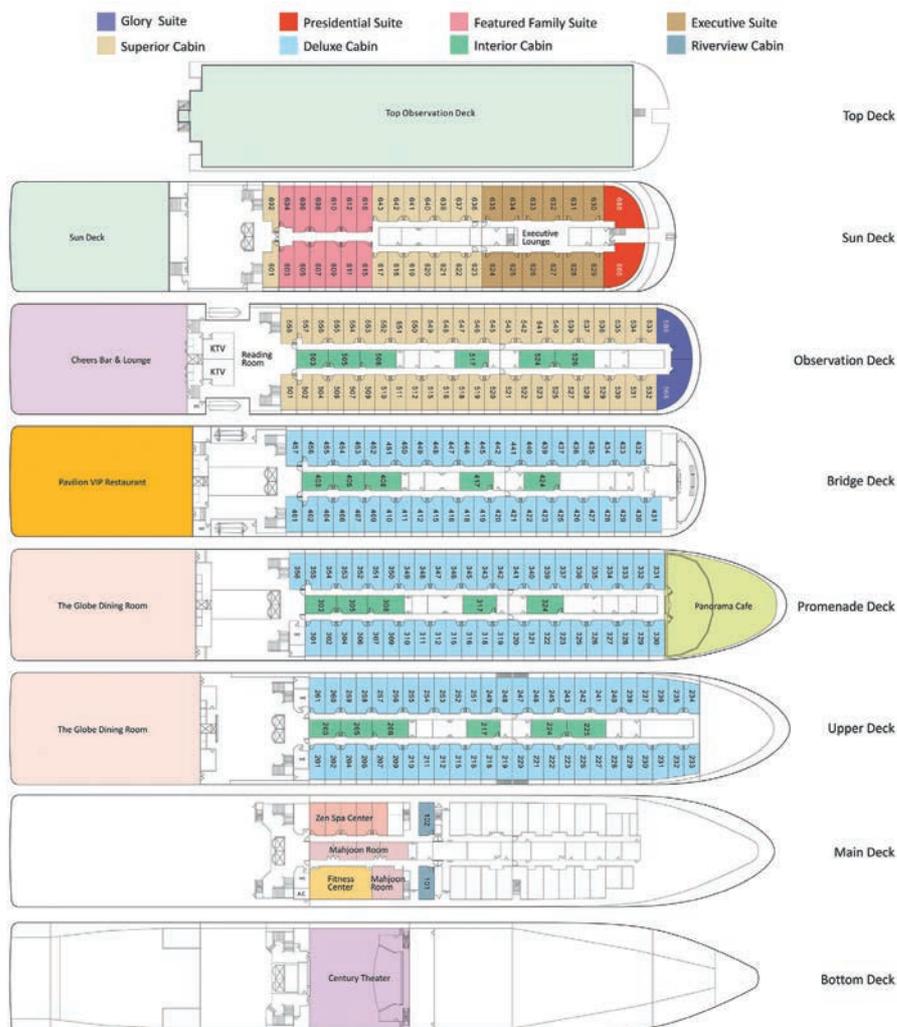


Рис. 2. План палуб РКПС «Century Glory» 2019 г. постройки. Источник: [4]

Площадь кают на судах компании «Century Cruises»

Название судна	Количество стандартных кают, ед.	Площадь стандартных кают, м <sup>2</sup>	Количество кают класса «люкс», ед.	Площадь кают класса «люкс», м <sup>2</sup>
«Century Glory»	232	20,0 - 26,0	28	33,0 - 85,0
«Century Legend»	156	28,0	40	30,0 - 106,0
«Century Paragon»	156	28,0	40	30,0 - 106,0
«Century Emerald»	112	25,0	20	28,0 - 78,0
«Century Sun»	143	25,9	10	30,0 - 35,6
«Century Sky»	143	25,9	10	30,0 - 35,6

Источник: [4]

Общий вид стандартной каюты на судах типа «Century Glory» приведен на рис. 3, «президентского люкса» – на рис. 4. Дизайн кают – европейский.

На РКПС «Century Glory» предусмотрен двухъярусный ресторан с наибольшими столами на 2–4 человека (рис. 5). Всего на судне 2 ресторана, 1 лаунж-бар и 1 кафе.

Общий вид лобби и рецепции РКПС «Century Glory» приведен на рис. 6.

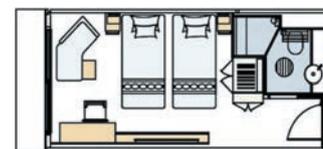


Рис. 3. Стандартная каюта на «Century Glory» (площадь – 26 м<sup>2</sup>).  
Источник: [4]

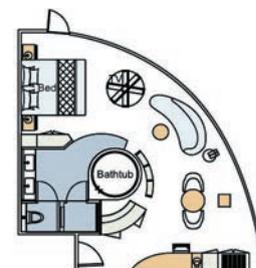
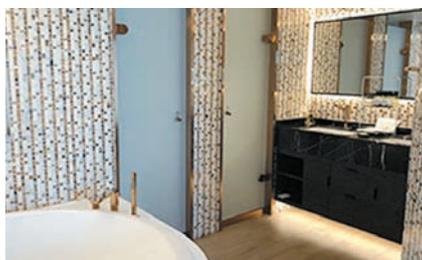


Рис. 4. Каюта класса «президентский люкс» на «Century Glory» (площадь – 85 м<sup>2</sup>). Источник: [4]



Рис. 5. Двухъярусный ресторан нового типа на РКПС «Century Glory». Источник: [4]

Рис. 6. Лобби и рецепция на РКПС «Century Glory». Источник: [4]

Круизная компания «Victoria Cruises» – единственная американская круизная компания на р. Янцзы с собственным флотом, одна из самых крупных круизных компаний. Ее флот состоит из 8 РКПС международного уровня. Самое новое РКПС компании – «Victoria Sabrina» – было сдано в эксплуатацию в 2020 г. (рис. 7 и рис. 8). Остальные суда компании регулярно модернизирует, обновляет интерьер [9].

Все РКПС компании работают с «въездными» туристами, уровень сервиса соответствует европейским 5\*. На борту судов «Victoria Cruises» читают лекции об истории и культуре КНР, проходят курсы каллиграфии и тайцзи (китайской гимнастики) [3].

Судно с винто-рулевыми колонками, на электродвижении.



Рис. 7. Общий вид РКПС «Victoria Sabrina» 2020 г. постройки. Источник: [9]

Площадь кают на судах компании приведена в табл. 4. Все каюты с балконами.

Общий вид стандартной каюты на судах типа «Victoria Sabrina» приведен на рис. 9, каюты «люкс» – на рис.10. Дизайн кают – европейский с включением китайских элементов.

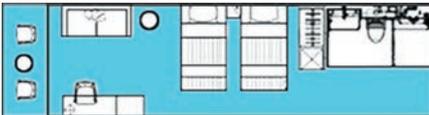


Рис. 9. Стандартная каюта на «Victoria Sabrina» (площадь – 25,5 м<sup>2</sup>). Источник: [9]

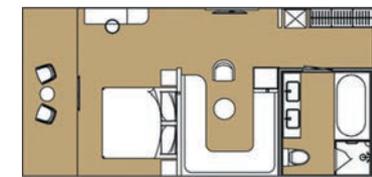


Рис. 10. Каюта класса «люкс» на «Victoria Sabrina» (площадь – 51 м<sup>2</sup>). Источник: [9]

Всего на судне 3 ресторана, 1 лаунж-бар, мини спа-зона, 3D кинотеатр.

Круизная компания «Yangtze Gold Cruises». Ее флот состоит из 7 РКПС международного уровня. Все суда построены в 2011–2013 гг. Стоимость строительства одного РКПС составила на тот момент 130–180 млн. юаней (20,6–28,5 млн. долл. США) [10]. «Yangtze Gold Cruises» планирует строительство новых РКПС ультра-люксового сегмента [13]. На момент постройки в 2012–2013 гг. РКПС «Yangtze Gold 2», «Yangtze Gold 3», «Yangtze Gold 5», «Yangtze Gold 6» были самыми большими на р.Янцзы.

Уровень сервиса на всех РКПС соответствует европейским 5\*. Предусмотрены внутренние пешеходные улицы (площадь – более 800 м<sup>2</sup>) с магазинами, вертолетная площадка, поле для игры в мини-гольф, несколько бассейнов открытого и закрытого типа, бильярдная [10].

Площадь кают на судах компании приведена в табл. 5. Все каюты, кроме внутренних, с балконами.

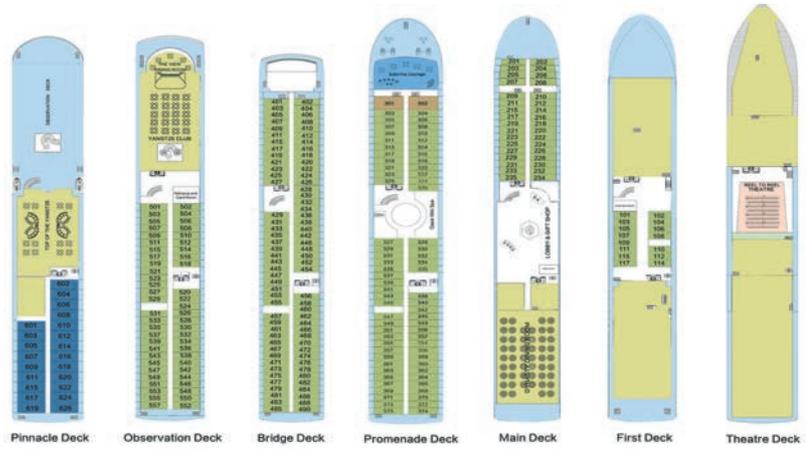


Рис. 8. План палуб РКПС «Victoria Sabrina» 2020 г. постройки. Источник: [9]

Таблица 4  
Площадь кают на судах компании «Victoria Cruises»

Название судна	Количество стандартных кают, ед.	Площадь стандартных кают, м <sup>2</sup>	Количество кают класса «люкс», ед.	Площадь кают класса «люкс», м <sup>2</sup>
«Victoria Sabrina»	262	25,5	24	35,5 – 51,0
«Victoria Jenna»	149	20,9	40	31,0 – 54,6
«Victoria Anna»	89	21,0	44	29,7 – 58,8
«Victoria Katarina»	98	19,1	34	30,4 – 60,0
«Victoria Lianna»	100	19,6	8	27,3 – 57,8
«Victoria Selina»	100	19,6	8	27,3 – 57,8
«Victoria Sophia»	89	19,6	11	27,3 – 57,8
«Victoria Grace»	88	14,6	8	22,0 – 36,9

Источник: [9]

Таблица 5  
Площадь кают на судах компании «Yangtze Gold Cruises»

Название судна	Количество стандартных кают, ед.	Площадь стандартных кают, м <sup>2</sup>	Количество кают класса «люкс», ед.	Площадь кают класса «люкс», м <sup>2</sup>
«Yangtze Gold 8»	138	15 – 27	31	35 – 135
«Yangtze Gold 7»	131	15 – 24	29	40 – 135
«Yangtze Gold 6»	193	16 – 24	15	36 – 139
«Yangtze Gold 5»	193	16 – 24	15	36 – 139
«Yangtze Gold 3»	193	16 – 24	16	36 – 139
«Yangtze Gold 2»	193	16 – 24	15	36 – 139
«Yangtze Gold 1»	106	26,5	42	42 – 132

Источник: [10]

Общий вид стандартной каюты на судне «Yangtze Gold 8» приведен на



Рис. 11. Стандартная одноместная каюта на «Yangtze Gold 8» (площадь – 17 м<sup>2</sup>). Источник: [3]

рис. 11, «люкса» – на рис. 12. Дизайн кают – восточный.

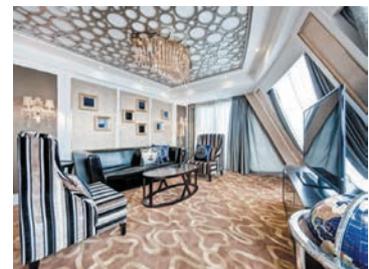


Рис. 12. Каюта класса «президентский люкс» на «Yangtze Gold 8» (площадь – 135 м<sup>2</sup>). Источник: [3]

Круизная компания «Sanctuary Yangzi Explorer» владеет 1 РКПС «Yangtze Explorer» ультра-люкс сегмента, это единственное судно такого уровня на р. Янцзы. Судно 2008 г., в 2016 г. было модернизировано. Соотношение количества пассажиров к количеству обслуживающего персонала 1:1. Главная особенность суда – развитая SPA-зона [11].

Общий вид приведен на рис. 13, план палуб – на рис. 14.

На судне – 38 стандартных кают и 24 класса «люкс». Площадь стандартных кают – 31 м<sup>2</sup>, «люксов» – 39–110 м<sup>2</sup>. Дизайн кают – в восточном стиле.

Общий вид стандартной каюты на судне «Yangtze Explorer» приведен на рис. 15, «люксов» – на рис. 16 и рис. 17.

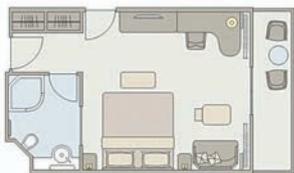


Рис. 15. Стандартная каюта на «Yangtze Explorer» (площадь – 31 м<sup>2</sup>). Источник: [11]

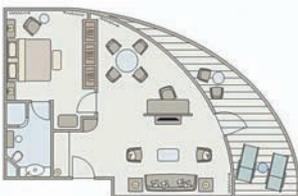


Рис. 16. Каюта класса «нефритовый люкс» на «Yangtze Explorer» (площадь – 87 м<sup>2</sup>). Источник: [11]

Круизная компания «Changjiang Cruises» (Changjiang Cruise Overseas Travel Cruises) владеет 2 РКПС международного уровня «Yangtze 1» и «Yangtze 2» 4\* и 5\*. «Yangtze 1» – единственное из работающих РКПС международного уровня, которое может зайти в самый большой в мире судоподъемник гидроузла «Три ущелья» (габариты судоподъемника – 120×18×3,5 м), остальные РКПС из-за своих габаритов и осадки вынуждены проходить участок шлюзованием (двухниточный пятика-



Рис. 13. Общий вид ультра-люксового РКПС «Yangtze Explorer». Источник: [14]



Рис. 14. План палуб ультра-люксового РКПС «Yangtze Explorer». Источник: [3]

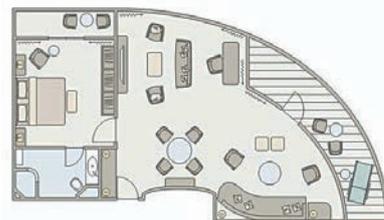


Рис. 17. Каюта класса «императорский люкс» на «Yangtze Explorer» (площадь – 110 м<sup>2</sup>). Источник: [11]

мерный шлюз 280×34×5 м) [3]. Компания заказала новое РКПС с тремя винто-рулевыми колонками Schottel STP 310 (3 x 1000 кВт) на электро-

движении с целью снижения уровня шума и вибрации. Ожидается, что судно будет сдано в эксплуатацию в 2021 г. (рис.18) [12].



Рис. 18. Общий вид нового РКПС компании «Changjiang Cruises». Источник: [12]

## Площадь кают на судах компании «Changjiang Cruises»

Площадь кают на судах компании приведена в табл. 6. Все каюты с балконами.

Круизная компания «China Goddess Cruises» владеет 3 РКПС международного уровня «China Goddess 1» и «China Goddess 2» 4\*. Компания заказала новое РКПС с 3 винтами и 3 рулями «China Goddess 3». Ожидается, что судно будет сдано в эксплуатацию в 2021 г. (рис.19).

Площадь кают на судах компании приведена в табл. 7. Все каюты с балконами.

Круизная компания «President Cruises» владеет тремя РКПС международного уровня «President No. 6», «President No. 7», President No. 8» 5\* (рис. 20). Все суда построены в 2013 г.

Площадь кают на судах компании приведена в табл. 8. Все каюты с балконами.

Элементы круизов местных туристов на стандартных китайских РКПС приведены на рис. 21.

**Заключение.** Выполненное исследование флота РКПС КНР показало, что на январь 2021 г. в эксплуатации на р. Янцзы находятся 29 РКПС международного уровня. Еще 6 РКПС достраиваются и будут сданы в 2021–2023 гг. Средний возраст РКПС – 12, 1 год. Суммарная пассажировместимость РКПС – 10 889 человек, с учетом судов, которые будут сданы в эксплуатацию в ближайшее время, – 14 739 человек. Средняя загрузка РКПС в 2017 г. составила 75–82%.

Стоимость строительства РКПС международного уровня «Century Glory» компании «Century Cruises» 2019 г. постройки составила 300 млн. юаней (46 млн. долл. США).

Новые суда для «въездных» туристов проектируются и строятся со звездностью 5, с учетом особенностей китайского региона: предусматриваются восточные мастер-классы, курсы каллиграфии, тайцзи и традиционной китайской медицины, отдельные VIP-рестораны и лаунж-зоны, комнаты для игры в маджонг, китайское караоке KTV, лекции об истории и культуре КНР, китайские элементы в интерьерах. Площадь стандартных кают варьируется от 15 до 31 м<sup>2</sup> (на единственном ультра-люксовом китайском РКПС «Yangtze Explorer»), кают класса «люкс» – от 22 до 176 м<sup>2</sup>. Все каюты, за исключением внутренних, с балконами.

Уделяется особое внимание комфортабельности на борту и экологичности судов: с целью уменьшения шума и вибрации новые РКПС строятся с винто-рулевыми колонками на электродвижении, устанавливаются системы очистки сточных вод, отходы перерабатываются прямо на борту.

Название судна	Количество стандартных кают, ед.	Площадь стандартных кают, м <sup>2</sup>	Количество кают класса «люкс», ед.	Площадь кают класса «люкс», м <sup>2</sup>
«Yangtze 2»	156	24	34	36,1 – 65
«Yangtze 1»	101	14,5	8	21,6 – 60

Источник: [2]



Рис. 19. Общий вид нового РКПС компании «China Goddess Cruises». Источник: [3]

## Площадь кают на судах компании «China Goddess Cruises»

Название судна	Количество стандартных кают, ед.	Площадь стандартных кают, м <sup>2</sup>	Количество кают класса «люкс», ед.	Площадь кают класса «люкс», м <sup>2</sup>
«China Goddess 2»	143	25,0	20	35,0 – 137,0
«China Goddess 1»	113	20,1	6	24,2 – 101,0

Источник: [3]



Рис. 20. Общий вид РКПС «President No. 8». Источник: [3]

## Площадь кают на судах компании «President Cruises»

Название судна	Количество стандартных кают, ед.	Площадь стандартных кают, м <sup>2</sup>	Количество кают класса «Люкс», ед.	Площадь кают класса «Люкс», м <sup>2</sup>
«President No. 8»	215	27,5	15	41,2 – 114,0
«President No. 7»	215	27,5	15	41,2 – 114,0
«President No. 6»	151	26,5	36	39,8 – 176,0

Источник: [3]

За счет большого надводного габарита (более 20 м) количество палуб на РКПС международного уровня может достигать 7, а это дополнительная полезная площадь, которая отражается на функциональности, сервисе и пассажировместимости таких судов (разнооб-

разные SPA-зоны открытого и закрытого типа, двухъярусные рестораны и театры, площадки для мини-гольфа, пешеходные улицы с магазинами внутри судна, огромные лобби, количество пассажиров 500–650 человек при площади пассажирских кают от 15 м<sup>2</sup> и т.п.).

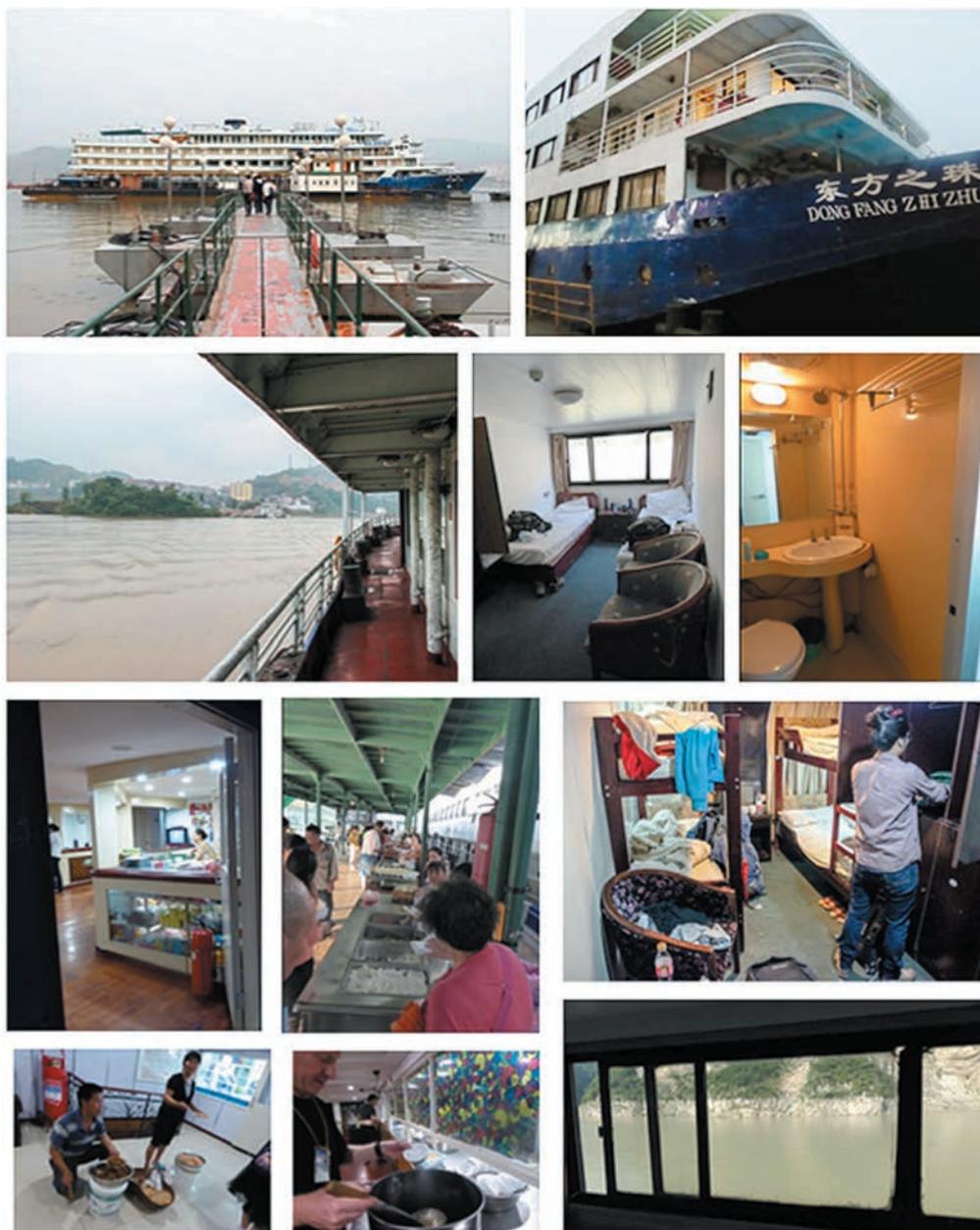


Рис. 21. Фото круиза местных туристов на стандартных китайских РКПС. Источник: [15, 16]

## ЛИТЕРАТУРА

- Егоров А.Г. Развитие европейского флота и рынка речных круизов // Морской вестник. – 2020. – №3 (75) – С. 21–26.
- Егоров А.Г. Речные круизные пассажирские суда: инновационные решения и их применимость при конверсии // Вестник ОНМУ. – Одесса: ОНМУ, 2018. – Вып. 4 (57). – С. 23–52.
- Сайт «Yangtze». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.yangtze.com/cruise-ships/> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Century River Cruises». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.centuryrivercruises.com/en/it-cx.html> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Cruise and Ferry». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cruiseandferry.net/articles/century-cruises-to-debut-third-ship-on-yangtze-river> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Yangtze». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.yangtze.com/cruise-ships/changjiang-cruises/> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Yangtze». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.yangtze.com/cruise-ships/china-goddess-cruises/> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Yangtze». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.yangtze.com/cruise-ships/president-cruises/> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Victoria Cruises». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.victoriacruiselines.com/> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Yangtze Gold Cruises». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://yangtzegoldcruises.com/asp/en/index.aspx> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Sanctuary Retreats». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sanctuaryretreats.com/china-cruises-yangzi-explorer> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Maritime Executive». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://maritime-executive.com/corporate/schottel-propulsion-for-next-generation-yangtze-cruise-vessel> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «World Tourism Cities Federation Cruise Brach». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cciwtcf.org/work/showproduct.php?lang=cn&id=258> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «China Highlights». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.chinahighlights.com/yangtze/yangzi-explorer/> (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Borders of Adventure». [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.bordersofadventure.com/yangtze-river\\_cruise\\_local\\_not\\_luxury\\_travel/](https://www.bordersofadventure.com/yangtze-river_cruise_local_not_luxury_travel/) (дата обращения 20.01.2021).
- Сайт «Asocial No Mad». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://asocialnomad.com/china/yangtze-river-cruise-chinese-boat/> (дата обращения 20.01.2021). ■

Отечественная экономика в последнее десятилетие оказалась перед вызовом – необходимостью повышения эффективности бизнес-процессов. В промышленности бизнес-процессами являются не только поставки серийной продукции и ее постпродажное обслуживание, но и создание новой техники. Оборонно-промышленный комплекс – это область экономики, в которой наибольшие технические риски возникают при разработке новой техники. Ее разработка выполняется при участии многих заинтересованных сторон – разработчиков и экспертов по приемке этапов создания техники. При этом каждый участник экспертной команды стремится найти ответы на вопросы, за которые он отвечает, а главный конструктор проекта обязан удовлетворить данные потребности. Его задача на этапе проектирования предоставить экспертам разного профиля комплексное описание заданного в техническом задании (ТЗ) объекта, разнородные составные части которого должны соответствовать его функциональным и нефункциональным требованиям.

Одной из главных и актуальных задач оборонно-промышленного комплекса является содействие формированию опережающего научно-технического задела, осуществление ускоренной технологической модернизации и цифровизации входящих в него организаций [1].

Разработка новой техники как основная задача проектной организации выполняется, как уже сказано, в сложной кооперации многих заинтересованных организаций, являющихся разработчиками и экспертами по приемке этапов создания техники. В этой кооперации особо важную роль играет именно проектная организация. Требования формируются в самом начале работы, и основной задачей каждого инженера-специалиста является их реализация в проекте, которая подчинена нормативному циклу выполнения опытно-конструкторских работ (ОКР), когда на каждом этапе разработчик должен подтверждать удовлетворение требований, свойственных данному этапу. До этапа изготовления эксперты и разработчик обсуждают проект на основании функциональных и конструктивных описаний объекта, дающих исчерпывающую и лишнюю двусмысленности информацию для возможности реализации заявленных требований и гарантировать отсутствие коллизий между смежными частями проекта.

Любой технической объект можно рассматривать как совокупность

## ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК: ТЕОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

**Е.В. Сальников**, гл. конструктор специализации – руководитель отделения,  
**Ю.С. Самычко**, вед. инженер отделения, АО «СПМБМ «Малахит»,  
контакт. тел. (812) 242 8540

функции и конструкции. Реализация функции – основная задача проектной команды, так как она уникальна по факту самой идеи создания новой техники и отказа от применения серийной продукции. А вот что касается конструкции, то она может быть вариативной при отсутствии ограничительных требований заказчика. Не будем долго вспоминать и приведем пример из автомобилестроения – целевая функция автомобиля заключается в перемещении из точки А в точку Б, а вот конструктивная реализации, скорее, связана с опциями комфорта и надежности и имеет уже множество вариантов [2].

Решение создавать новую технику – несомненное требование соответствия современности и тяжелая ресурсная задача для заказчика. Создание такой техники, выполнение ОКР сопровождаются большими техническими рисками, и чем сложнее система, тем выше риски. К сложным техническим системам следует относить системы, имеющие, например, следующий ряд особенностей:

- в состав системы входит много элементов;
  - работа элементов системы основана на разных физических принципах;
  - в составе системы имеются основные и вспомогательные элементы;
  - элементы могут представлять собой дискретные, непрерывные или гибридные подсистемы;
  - связь элементов могут быть как ориентированные, так и неориентированные;
  - конфигурация системы может меняться в различных режимах.
- Выполнение самой ОКР происходит также в условиях, потенциально сопровождающихся рисками. Их перечень может быть следующим:
- отсутствие исчерпывающего технического задания и формализованных требований заказчика, понятных исполнителю конечной операции по разработке целевой системы;
  - отсутствие аналогов или, наоборот, наличие готовых аналогов, которые необходимо использовать при новых функциях целевой системы;
  - сложность предметной области вследствие наличия большого количества элементов;

– разработка целевой системы большим коллективом исполнителей с разным уровнем квалификации и необходимостью поддержания определенного уровня унификации рабочих решений.

Традиционный метод выполнения данной работы заключается в описании объекта в виде множества конструкторских документов, возможная номенклатура и содержательное назначение которых регламентированы в единой системе конструкторской документации (ЕСКД). Однако, очевидно, что разработка содержательной части документации в таком формате не позволяет уверенно обеспечить интегральное выполнение всех требований ТЗ и специализированной нормативной документации, так как невозможно обеспечить комплексную проверку внутреннего соответствия системы «требование ТЗ – результат проектирования» по всему множеству бумажных документов. Безусловно, у разработчика внедрена и функционирует внутренняя система проверки и согласования документации, но множество аспектов проекта не может быть объективно обработано коллективом специалистов с разными зонами ответственности. Это приводит к тому, что интегральное заключение появляется на этапе испытаний объекта, изготовленного по такой документации, и оно часто указывает на необходимость его доработки. Замечания могут быть как о несоответствии ТЗ, так и о несогласованности смежных аспектов. Повышение эффективности процесса проектирования должно быть направлено на смещение контрольной точки интегральной проверки проекта от этапа испытаний опытного образца в сторону проектных этапов, а именно в сторону комплексного инженерного анализа и его проверки.

Альтернативным вариантом технологии выполнения ОКР по ЕСКД является *метод модельно-ориентированного проектирования*. Методика такого проектирования позволяет предоставить комплексное инженерное исследование и обоснование проекта путем его описания в виде моделей и производных от них информационных наборов. *Модель* – это компьютерное представление (описание) объекта, имитирующее явление реального мира [3]. *Информационный*

*набор* – это информация о создаваемом объекте, полученная путем автоматизированного информационного среза из модели по запросу на определенную информацию. Поскольку, справедливо отметить, любая система является частью другой надсистемы, модель системы также должна быть комплексом моделей систем нижнего уровня, взаимодействующих между собой с помощью автоматизированной системы управления данными (с помощью системы автоматизированного проектирования). Информационный набор, сформированный из такой мегамодели, будет содержать интегральный набор информации о системе в целом. Автоматизированная система управления данными с помощью заданных в нее алгоритмов пре- и пост-процессного анализа модели проверит ее на отсутствие коллизий между следующим набором парных аспектов:

- требованиями технического задания и целевыми проектными результатами;
- смежными техническими решениями разных инженеров-специалистов.

При такой технологии моделирование позволяет глубже исследовать объект в проектном описании, при этом количество ручного труда существенно снижается за счет автоматизации расчетов. Возможно, новой задачей для коллектива разработчиков станет необходимость создания формализованного описания требований в виде информационного набора, с которым будут сравниваться результаты модельно-ориентированного проектирования [4]. Сравнение может быть представлено в виде автоматизированного чек-листа. Таким образом, эксперты получают возможность проверить проект в комплексе до начала его изготовления и испытаний, а разработчик объекта снижает технические риски.

Благодаря такому методу проектирования можно достичь не только более высокого качества проекта, но и получить комплексную аспектную модель объекта. Такая модель сама по

себе является ценным субъектом, который может применяться и на последующих этапах жизненного цикла как головного образца объекта, так и серийных образцов. Она представляет собой исчерпывающее сырье для системы управления жизненным циклом объекта, включая этапы эксплуатации и утилизации, возможно, поэтому появился термин «цифровой двойник». Авторы считают важным отметить, что жизненный цикл – это не только этап строительства, как часто можно услышать от инициаторов оцифровки рабочей конструкторской документации методом реинжиниринга в 2D- или 3D-формате.

Термин «цифрового двойник» часто встречается при обсуждении направлений цифровой трансформации промышленности. Также можно встретить термины «технология цифрового двойника», «суперкомпьютерные двойники», «технология суперкомпьютерных вычислений» и т.п. Очевидно, что эти термины имеют некоторые общие аспекты, но, тем не менее, единства в техническом сообществе нет. Вероятно, причина кроется в том, что до сих пор нет корректного определения этих терминов, и они применяются без особого порядка. Отметим, что определение термина должно говорить о его назначении, которое позволяет выполнить корректные действия с ним для достижения необходимого результата. Также предположим, что ожидаемым результатом цифровой трансформации должно как раз стать и появление новой системы управления жизненным циклом целевой системы. Существующая система управления жизненным циклом требует кардинальных изменений ее эффективности.

Сегодня цифровой двойник в большинстве случаев понимается либо как функциональная модель системы, либо как геометрическая модель, либо как древовидный список составных элементов. Очевидно, что этого недостаточно, чтобы между заказчиком и исполнителем все отношения строились на базе цифрового двойни-

ка на всех этапах жизненного цикла самой целевой системы. И заказчик, и исполнитель также представляют собой системы, включающие множество специалистов со своей зоной ответственности. Список таких специалистов, возможно, равен всем видам профессий (связанных с промышленностью и экономикой), которые можно вспомнить. Поэтому в рассуждении о цифровых двойниках используем подходы, которые применяет семантика как наука, изучающая значения объектов, явлений и всего, что нас окружает. Значит, цифровой двойник должен содержать исчерпывающий семантический набор данных о целевой системе. Специалисты, которые будут пользоваться цифровым двойником должны иметь оперативный доступ к этим данным, между данными не должно быть коллизий.

Создание цифрового двойника не должно быть самоцелью, иначе его создание и создание самого объекта потребуют двойного объема затраченных ресурсов. Его разработка в качестве дополнительной опции к «бумажному» проекту объекта может привести также к отсутствию в нем семантического набора информации, без которого представить себе эффективную систему управления жизненным циклом сложно. Совмещение модельно-ориентированного проектирования и готовности заказчика к внедрению у себя полномасштабной цифровой экосистемы становятся двигателем создания цифровых двойников и эффективной системы управления жизненным циклом высокотехнологичной продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. «Развитие оборонно-промышленного комплекса». – [www.minpromtorg.gov.ru](http://www.minpromtorg.gov.ru)
2. «Цифровой двойник». – [www.cadfecis.ru](http://www.cadfecis.ru)
3. ГОСТ Р 58301–2018 «Управление данными об изделии. Электронный макет изделия. Общие требования».
4. «Системно инженерное мышление». – TechInvestLab, 2015. ■

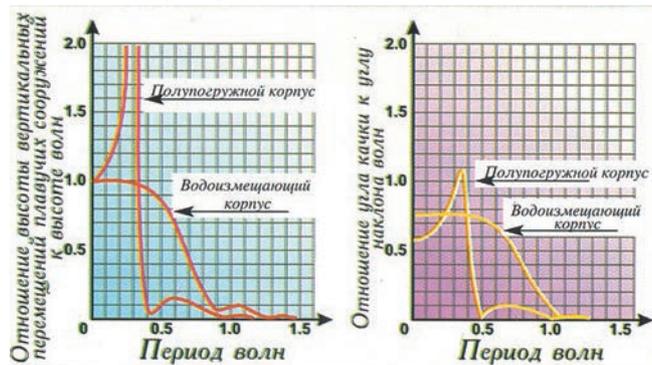
При определенных значениях волнений и течения в трубопроводе возникают значительные дополнительные напряжения, рабочие устройства подвергаются переменным нагрузкам, ударам и в итоге может создаваться аварийная ситуация. При этом резко снижается производительность, ограничивается время работы, а зачастую полностью прекращается укладка трубопроводов. Потери времени могут составлять одни сутки на опускание плети на грунт и до трех суток на обратный подъем. Вынужденное бездействие из-за погодных условий повышает общую стоимость работ, а вызванные этим частые спуско-подъемные операции плети могут стать причиной появления дополнительных механических напряжений в трубах.

Для повышения работоспособности, особенно при значительной высоте волн, плавсредства должны проектироваться с учетом обеспечения минимальных перемещений в рабочих условиях. Поэтому для устранения и сведения до минимума резонансных явлений при доминирующих волнах плавсредства должны иметь большой период собственных колебаний.

В этом плане полупогружные корпуса с разнесенными вертикальными стабилизирующими колоннами способны обеспечить минимальную подвижность, необходимую остойчивость и незначительное волновое воздействие на корпус вследствие малой площади действующей ватерлинии в погруженном состоянии.

В свете изложенного более эффективными являются **полупогружные трубоукладочные установки**.

На рис. 9 приведены графики, из которых видно, что даже при наиболее неблагоприятном направлении волнения (под углом 135°) вертикальные перемещения и качка полупогружного корпуса значительно меньше, чем обычного водоизмещающего корпуса судна.



**Рис. 9. Показатели качки полупогружного и водоизмещающего корпусов**

Архитектурный тип полупогружных трубоукладочных установок, помимо необычной формы корпуса и значительных размеров (длина, ширина), определяется необходимостью обеспечения большого запаса труб на палубе в условиях длительной автономности, характеризуется также наличием развитой жилой надстройки с улучшенными условиями обитания персонала при длительном пребывании в море; взлетно-посадочных площадок, обеспечивающих доставку персонала вертолетом в отдаленные районы; большого количества передвижных грузоподъемных средств, охватывающих все рабочие участки установок.

В качестве средств удержания полупогружных трубоукладочных установок на трассе укладки могут использоваться как пассивные якорные системы, включающие якорные лебедки со значительными тяговыми усилиями, якоря повышенной держательной силы и якорные канаты повышенной прочности,

так и активные – автоматически управляемые поворотные движительные колонки, гребные винты и подруливающие устройства, а также комбинированные – состоящие из элементов пассивных и активных средств удержания.

Допускаемые значения крена и дифферента при работе трубоукладчика должны составлять не более 3° и 2° соответственно. Эти требования обусловлены работой технологического оборудования, а также нагрузками на трубопровод при его нахождении на стингере. С этой целью полупогружные трубоукладчики оборудуются развитой автоматической системой балластирования, которая с помощью ЭВМ определяет порядок и количество балласта, необходимого для приема или откачки из любого отсека установки.

Появление полупогружных трубоукладчиков было связано с крупномасштабным освоением Северного моря. Сочетание в этом бассейне таких факторов, как неблагоприятные погодные условия, большие предполагаемые объемы транспортировки добываемой продукции, большие глубины и т.д. Для работы в тяжелых условиях освоения Северо-Западного европейского континентального шельфа и Средиземного моря было построено пять полупогружных трубоукладчиков, приспособленных для хранения большого запаса труб, оборудованных мощными устройствами, обеспечивающими оптимальные критерии изгиба и напряжений трубы во время укладки трубопровода в глубоких водах, имеющих посты автоматической сварки и современные системы контроля качества сварного шва. Сварка трубных секций на трубоукладчиках является одной из основных и ответственных операций. Высокая скорость сварки позволяет значительно снизить стоимость трубоукладочных работ, а высокое качество выполнения сварных соединений обеспечивает необходимый уровень прочности наплавленного металла сварного шва не ниже, а во многих случаях выше тех же показателей основного металла трубы.

Для производства сварки используются автоматические установки с числом контролируемых (около 120) параметров, заложенных в память ЭВМ, в том числе напряжение, сила тока, скорость подачи проволоки, перемещения тележки и т.д. Компьютер постоянно контролирует рабочие параметры сварки, сравнивая их с допустимыми данными эталонных значений. Если значения выходят за рамки допустимых, на сварочный пост поступают предупредительные сигналы, оповещающие о нарушении режима сварки и необходимости настройки сварочной установки.

Ниже рассматриваются некоторые полупогружные трубоукладчики.

**Трубоукладчик «LB-200»** (бывш. «Viking Piper», рис. 10) является первой установкой из серии полупогружных трубоукладчиков.

«LB-200» характеризуется значительными главными размерениями: габаритная длина (без учета стингера) – 167,5 м, ширина – 58,5 м, высота (от киля до рабочей палубы) – 33,2 м, осадка в рабочем положении – 20 м.

Водоизмещение в полном грузу в рабочем положении 53 тыс. т. Мощность установленных двигателей 18 859 л.с.

Наличие больших грузовых площадей, расположенных вдоль обоих бортов, обеспечивают возможность хранения до 6000 т труб. Значительные запасы труб позволяют вести

\*Часть 1 – см. «Морской вестник», 2021, №1(77).

трубоукладочные работы в сложных погодных условиях, при которых подход к установке судов снабжения с трубами и погрузочно-разгрузочные операции не проводятся.

Технологическая линия рассчитана на работу с 2-секционными трубами длиной 24 м при высоте волны до 5,4 м. Для регулирования напряжения в прокладываемом трубопроводе натяжное устройство обеспечивает усилие натяжения 270 тс.



Рис. 10. Полупогружная трубоукладочная установка «LB-200»

Якорная система позиционирования включает 14 однобарабанных электрических лебедок, в том числе 4 лебедки с тяговым усилием по 270 тс, 10 лебедок с тяговым усилием 239 тс каждая и 14 якорей типа «Delta Flipper» массой 22,5 т каждый. Якорные лебедки размещены в отсеках подводных понтонов по 7 ед. в каждом корпусе, якоря – на специальных кронштейнах, установленных на 4-угловых стабилизирующих колоннах.

Диаметр якорного каната – 76,2 мм, длина – 3050 м, что позволяет установке перемещаться по трассе на расстояние до 900 м без перекладки якорей. Для направления якорных канатов на внутренней и внешней сторонах стабилизирующих колонн предусмотрены направляющие и отводные шквы и блоки. Проводка якорного каната, по возможности, обеспечена по прямой с минимальным числом перегибов (рис. 11, а).

Якорные лебедки управляются с местного и дистанционного постов. Последний расположен в центральной рубке, где размещены мониторы и пульт управления каждой лебедкой. Для удержания трубоукладчика в заданных пределах посредством изменения натяжения в якорных линиях и для защиты от перегрузок каждая якорная линия оснащена измерительными устройствами с электрическими и гидравлическими тензодатчиками, обеспечивающими контроль и регистрацию усилий. Якорные лебедки могут работать как в ручном, так и в автоматическом режимах. Отличительной особенностью автоматического режима управления является способность поддерживать натяжение якорного каната перед барабаном лебедки в заранее установленных пределах. При увеличении нагрузки лебедка автоматически включается на режим травления, а при уменьшении нагрузки – на режим выбирания. Такая система контроля за усилием на канате позволяет избежать перегрузки якорных механизмов и каната и, в конечном счете, повышает безопасность проведения работ.

У полупогружных трубоукладочных установок рабочая палуба высоко возвышается над поверхностью воды, поэтому одноточечное (шарнирное) крепление стингера к палубным конструкциям недостаточно. Для надежного соединения стингера с корпусными конструкциями полупогружных установок дополнительно используются поддерживающие подпорки-кронштейны (рис. 11, б), раскрепленные в 3 точках, разнесенных друг от друга на значительные расстояния: две точки находятся под водой (по одной на каждом

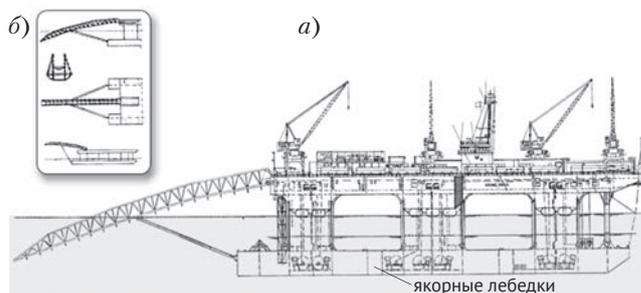


Рис. 11. Схема общего расположения полупогружной трубоукладочной установки «LB-200»: а – размещение якорных лебедок; б – крепление стингера к корпусу полупогружной установки

из корпусов подводных понтонов), а третья – над водой на уровне рабочей палубы. Шарнирная конструкция узлов крепления обеспечивает возможность подъема стингера в походное положение.

Автоматическая балластная система «LB-200», состоящая из 11 симметрично расположенных балластных отсеков и двух насосов в каждом корпусе, обеспечивает поддержание заданного положения трубоукладчика при любых изменениях нагрузки.

В качестве грузоподъемных средств на установке предусмотрены четыре поперечно-перемещающихся крана, установленных на продольно-перемещающихся порталах.

Поворотный кран смонтирован на подвижной тележке, которая установлена на катушке портала. Подвижная тележка обеспечивает поперечное передвижение крана над трубными стеллажами, а портал – передвижение крана вдоль бортов по рельсовым путям, проложенным на палубе.

Трубоукладчик «Castoro Sei» (рис. 12) также относится к установкам полупогружной конструкции.



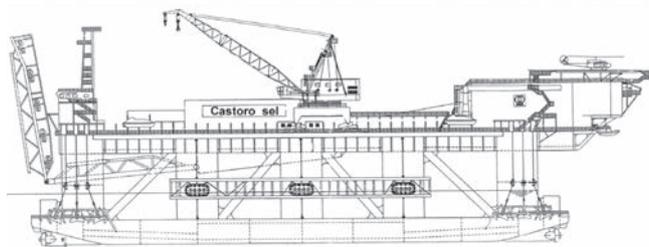
Рис. 12. Полупогружная трубоукладочная установка «Castoro Sei»

Длина установки – 150 м, ширина – 65 м, высота до рабочей палубы – 30 м, осадка в рабочем положении – 14,5 м. Водоизмещение в полном грузу – 41,5 тыс. т. Мощность главных двигателей – 24 тыс. кВт.

«Castoro Sei» отличается высокими навигационными качествами. Четыре гребных винта, расположенных в носовой и кормовой частях подводных понтонов, обеспечивают скорость хода до 7,5 уз, что повышает маневренность и мобильность установки в период укладки трубопровода. В дополнение к активной системе стабилизации, установка оборудована якорной (пассивной) системой стабилизации, включающей 12 якорей массой по 25 т; 12 якорных лебедок с тяговым усилием по 200 тс; длина якорных канатов диаметром 76 мм составляет 3000 м. Рабочая палуба возвышается над подводными понтонами благодаря десяти стабилизирующим колоннам цилиндрической формы диаметром 11 м (рис. 13). Крытая

технологическая линия, расположенная в диаметральной плоскости установки, оснащена восемью сварочными постами и станцией контроля сварных стыков. Автоматическая сварка трубопроводов осуществляется в среде углекислого газа по технологии, разработанной фирмой «Saipem».

а)



б)

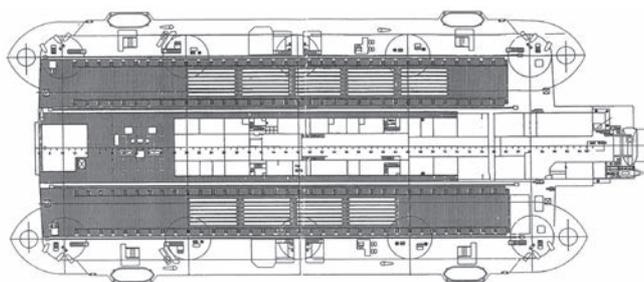


Рис. 13. Схема общего расположения «Castoro Sei»: а – боковой вид; б – вид в плане

Эта установка участвовала в реализации трубопроводного проекта «Северный поток».

Наклонный стингер опускается на 40 м ниже уровня воды при помощи гидроцилиндров. При погружении трубопровод удерживается тремя натяжными устройствами с усилием по 110 тс каждое.

Автоматизированная система управления процессом укладки трубных плетей обеспечивает поддержание оптимального режима передвижения установки по трассе, траления и выбирания якорного каната, манипулирования с якорями, работы гидроцилиндров с учетом высоты и скорости движения волн. Система обеспечивает укладку одной секции труб длиной 12 м в течение 3–4 мин. При возникновении опасной ситуации производится автоматическая коррекция соответствующих параметров, позволяющих установке выйти на расчетный режим. Грузоподъемные операции осуществляются двумя полноповоротными кранами грузоподъемностью по 60 т каждый, установленными на порталах, продольно перемещающихся по рельсам вдоль обоих бортов.

**Полупогружная установка «Saipem-7000»** (рис. 14) изначально была построена как полупогружное крановое плавсредство, оборудованное двумя кранами грузоподъемностью по 7000 т.

Принимая во внимание значительную привлекательность трубоукладочного бизнеса, впоследствии установка была дооборудована вертикальной рампой, предназначенной для укладки трубопроводов J-й формы на глубокой воде. По существу произошла кардинальная трансформация производственных возможностей установки, что позитивно отразилось на рентабельности ее эксплуатации.

При J-й укладке надежность уложенного трубопровода более высокая, чем при укладке по S-образной кривой, так как концентрация наибольших напряжений происходит только в нижнем изгибе укладываемого трубопровода. Кроме того, J-образная укладка в несколько раз снижает необходимое усилие натяжения трубопровода и, что очень важно, создает незначительную горизонтальную составляющую, действующую на плавучие сооружения, которая может быть вполне воспринята системой динамического позиционирования. При

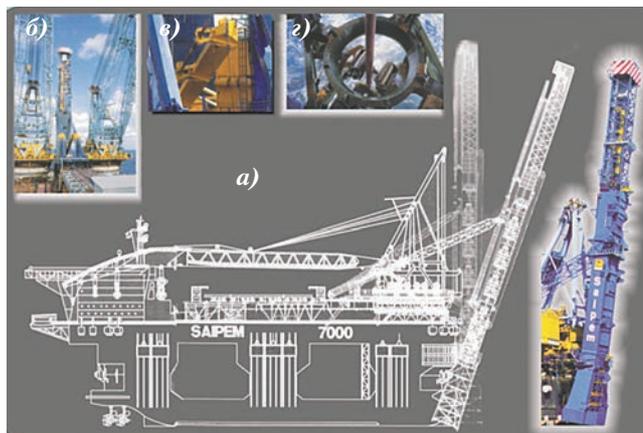


Рис. 14. Трубоукладочная рама на полупогружной крановой установке «Saipem 7000»: а – общая схема; б – трубная секция на раме; в – устройство для подъема трубной секции на раму; г – спуск трубопровода

других способах укладки горизонтальная составляющая от усилия натяжения настолько велика, что необходимо удлинять якорные связи примерно вдвое.

Рампа, шарнирно соединенная с корпусом полупогружной установки, может изменять угол наклона в диапазоне 90–110°. Длина рампы – 180 м. Она является не только спусковым устройством, но и монтажной площадкой, где размещается технологический комплекс, предназначенный для сварки и укладки трубопроводов диаметром 102–813 мм (4–32”).

Трубоукладочная линия (рампа) оснащена натяжным устройством с тяговым усилием 525 тс с максимальной нагрузкой на тормозе до 2000 тс и включает один пост автоматической сварки, пост контроля качества сварного шва, пост антикоррозийной изоляции сварных стыков. Трубопроводная плеть формируется из отдельных секций длиной 24 м. На установке предусмотрена возможность хранения труб в количестве до 10 000 т. Подача труб с палубы на технологическую линию (рампу) обеспечивается с помощью подъемников, оборудованных специальными зажимными устройствами – захватами (рис. 14, в).

Укладка труб контролируется через спутниковую связь и подводный батискаф. Координация и управление всеми сложнейшими операциями – погрузка, разгрузка, сварка (включая стопроцентную автоматическую дефектоскопию сварочных работ) и укладка труб на дно – осуществляются из диспетчерской, оснащенной мониторами.

Высокие технико-эксплуатационные характеристики трубоукладочного комплекса «Saipem 7000» подтвердились при реализации трубопроводного проекта «Голубой поток».

## СУДА ДЛЯ УКЛАДКИ ГИБКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Применяемая на полупогружных трубоукладчиках технология формирования трубопровода из отдельных секций длиной 12 м и 24 м связана с дополнительными затратами средств и времени, необходимыми для проведения операций по сборке, сварке, контролю и изоляции сварных стыков непосредственно на борту установки [2].

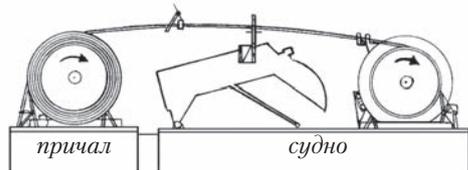
Одним из путей, позволяющим уменьшить время, затрачиваемое на укладку трубопроводов, является метод сматывания трубопровода, предварительно сваренного на берегу и намотанного на барабан.

Технологический процесс монтажа и укладки трубопровода с судна, оборудованного барабаном, существенно отличается от укладки с вышерассмотренных трубоукладчиков.

По этому методу готовая к укладке трубопроводная плеть предварительно наматывается на барабан, расположенный на причальной линии береговой базы. Трубоукладочное судно

пришвартовывается кормой к причалу, после чего приступают к перематке трубопровода с берегового барабана на судовой барабан (рис. 15). По зарубежным данным, для намотки на барабан одной секции трубопровода длиной 10 км и массой 11 т требуется 13 часов. По завершении операции по перематке судно направляется на трассу укладки.

а)



б)



Рис. 15. Перематка трубопровода с берегового барабана на судовой: а – схема перематки; б – трубоукладочное судно «Seaway Kestrel» в процессе перематки

С целью снижения непроизводительных расходов, связанных с потерями времени, неизбежно возникающими из-за порожних пробегов и простоев трубоукладочных судов под загрузкой у причала, возможно использование агрегатного способа замены барабанов, исключающего необходимость перематывания трубопровода. В этом случае при наличии на берегу обменного фонда барабанов время будет затрачиваться только на снятие свободного и установку нового барабана с намотанным трубопроводом. Операция по замене барабанов может осуществляться как у причала, так и непосредственно на трассе укладки.

В процессе движения судна по трассе сооружаемого трубопровода барабан вращается, трубопровод разматывается и по направляющим роликам, пройдя через выпрямляющее устройство и наклонную раму, укладывается на дно.

Такой метод укладки более экономичен, чем опускание трубопровода с традиционных наклонных технологических линий (пандусов). Сматывание трубопровода с барабана позволяет значительно сократить чистое время монтажных работ на трассе строительства.

Кроме того, трубоукладчики с судовыми обводами, по сравнению с плоскодонными баржами, могут работать при несколько большей высоте волн – до 2,5–3,0 м, что объясняется улучшенной формой подводной части корпуса, а также увеличенным отношением длины к ширине  $L/B$ , характеризующим ходкость и устойчивость на курсе, и малым отношением длины к высоте борта  $L/H$ , что дает меньший прогиб корпуса при продольной нагрузке, тем самым обеспечивая продольную прочность судна.

Наиболее критическими для этих трубоукладочных судов являются вертикальная и бортовая качка в сочетании с килевой качкой. Мореходные качества подобных судов могут быть улучшены за счет соответствующего выбора метацентрической высоты и момента инерции массы судна относительно продольной оси (оси бортовой качки) в сочетании с обеспечением эффективного демпфирования качки.

Основной удельный вес гибких трубопроводов приходится на внутрипромысловые коммуникации, в том числе для соединения:

- двух или нескольких стационарных платформ;

- устья подводной скважины с вертикальным стояком;
- устья подводной скважины с подводным манифольдом;
- двух жестких стальных трубопроводов;
- конца жесткого трубопровода с верхней частью платформы, а также в качестве отгрузочных шлангов для загрузки челночных танкеров в установках беспричального налива и др.

Для описанных целей в зависимости от конкретных условий применяются гибкие трубы длиной от нескольких сот метров до десятков километров диаметром от 76 мм до 406 мм.

Стальные оболочки придают трубопроводам необходимые механические свойства. Термопластиковые оболочки обеспечивают герметичность трубопровода и защиту от коррозии.

К основным преимуществам использования гибких трубопроводов относятся:

- возможность их выпуска непрерывными секциями большой длины – до нескольких километров;
- высокая остаточная стоимость, обусловленная возможностью повторного использования демонтированного трубопровода на новых объектах;
- способность принимать контуры рельефа дна при укладке, сокращая при этом длину безопорных участков;
- коррозионная стойкость, как наружная, по отношению к морской воде, так и внутренняя, по отношению к коррозионным агентам сырой нефти;
- удобство подводной стыковки за счет использования автосоединителей, исключающих участие водолазов в этой операции;
- отсутствие проблем, вызываемых тепловым расширением, благодаря наличию встроенной теплоизоляции.

Основной недостаток метода сматывания трубопровода заключается в том, что необходимая отрицательная плавучесть трубопровода может обеспечиваться только за счет увеличения толщины стенок труб в заводских условиях на промышленной основе, поскольку ни одна из существующих утяжеляющих изоляций не выдерживает намотки трубопровода на барабан.

Ведущие позиции по использованию метода сматывания трубопровода удерживают всемирно известные фирмы «Stolt offshore» и «Coflexip stena offshore», которые располагают многочисленным парком современных специализированных судов, предназначенных для работы на глубоководных акваториях. К числу таких судов можно отнести «Sunrise-2000», «Deep Blue», «Seaway Eagle», «Discovery» и др. Подробно эти суда рассмотрены в работе [2].

Эта группа судов, основное назначение которых укладка гибких трубопроводов, отличается большим многообразием архитектурно-конструктивного оформления, которое характеризуется формой корпуса и размерами, конструкцией и составом технологического оборудования, компоновкой общего расположения и т.п.

Проследив историю развития этой группы судов, необходимо отметить многофункциональность этих сооружений. Одним из потенциальных преимуществ многофункциональности является способность судов решать несколько задач одновременно. В результате многофункциональности не только сокращается до минимума число вспомогательных судов, необходимых для выполнения подводных работ, но и обеспечивается гибкость в организации работ по сервисному обслуживанию морских нефтепромыслов.

Техническое оснащение данной группы судов – наличие на борту глубоководных водолазных комплексов (Saturation Diving Systems – SDS), дистанционно управляемых подводных аппаратов (Remote Operated Vehicles – ROV), модульных систем управления (Module Handling System – MHS) и т.п. позволяет наряду с трубоукладочными работами выполнять глубоководные водолазные и подводно-технические операции, связанные с установкой подводных манифольдов



Рис. 16. Трубоукладочные суда с системой динамического позиционирования, укладывающие трубопровод методом сматывания: а – «SeaWay Falcon» с кормовым расположением наклонной рамы; б – «Deer Blue» с наклонной рамой в средней части корпуса; в – «SeaWay Condor» с горизонтальным барабаном и бортовым направляющим; г – «Bazalt» с вертикальным барабаном и кормовым желобом

и донной опорной плиты, фонтанной арматуры, соединителей для подключения выкидных линий; ремонтом подводно-устьевого оборудования; обслуживанием скважин с использованием гибкой колонны насосно-компрессорных труб; обследованием, заглублением и ремонтом подводных трубопроводов, кабельных линий и т.п.

На рис. 16 представлены некоторые из этих судов, предназначенные для укладки гибких трубопроводов.

Архитектурно-конструктивный тип этих судов характеризуется развитой носовой надстройкой с вертолетной площадкой, наличием палубного грузоподъемного крана и спуско-подъемного устройства.

Барабан устанавливается вертикально либо горизонтально. в зависимости от диаметра гибкой линии, который выбирают из условия обеспечения изгиба трубы в упругой стадии без пластических деформаций.

В качестве спуско-опорного устройства могут использоваться наклонная, изменяющаяся по высоте рампа (для барабанов с горизонтальной осью вращения) и направляющий желоб (для барабанов с вертикальной осью вращения). Спуско-опорные устройства оборудуются отклоняющим, выпрямляющим и натяжным механизмами.

При вращении барабана трубопровод проходит через спусковое устройство (наклонную рампу или выпрямляющий желоб), огибая отклоняющий механизм, который обеспечивает плавное изменение угла наклона погружаемого трубопровода. Далее для устранения остаточной кривизны трубопровод пропускается через правильные башмаки и опорные ролики. Напряжение на трубопроводе регулируется с помощью натяжных устройств гусеничного типа, оснащенных двумя парами гусениц, оборудованных эластичными башмаками (рис. 17).

Регулирование угла наклона рампы, а следовательно, угла наклона погружаемого трубопровода, осуществляется поворотом рампы вокруг шарнирных соединений с помощью тяги.

Примером успешного применения гибких трубопроводов на нефтепромыслах Каспия является обустройство подводной эксплуатационной скважины №15, которая располагалась на глубине 135 м и отстояла от базовой стационарной платформы на расстоянии 2,5 км.

Укладка гибких трубопроводов от подводной эксплуатационной скважины до базовой платформы осуществлялась т/х «С. Гулиев» (пр. В-92), дооборудованным трубоукладочным комплексом по проекту НИПИ «Гипроморнефтегаз» (главный инженер проекта Р.Н. Караев).

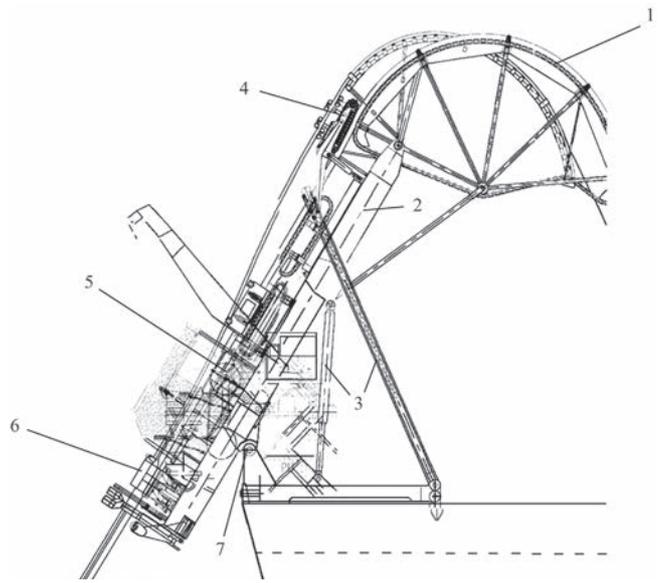


Рис. 17. Конструктивная схема наклонной рамы 1 – отклоняющее устройство; 2 – корпус рамы; 3 – тяги; 4 – натяжное устройство; 5 – опорно-направляющее устройство; 6 – выпрямляющее устройство; 7 – шарнирное

Своеобразное архитектурно-конструктивное оформление судов обеспечения, обусловленное наличием просторной грузовой палубы, предопределило возможность переоборудования т/х «С. Гулиев» в судно для укладки гибких трубопроводов с внесением минимальных изменений.

Согласно проекту судно наряду с укладкой гибких трубопроводов сохранило снабженческие функции (обеспечение платформ порошкообразными материалами, водой, топливом и т.п.), а также возможность тушения пожаров на нефтепромысловых объектах и оказание помощи при аварийно-спасательных работах (рис. 18).

Форма корпуса и главные размерения судна после переоборудования были сохранены без изменений.

Общее расположение технологического оборудования разрабатывалось с учетом максимального удовлетворения

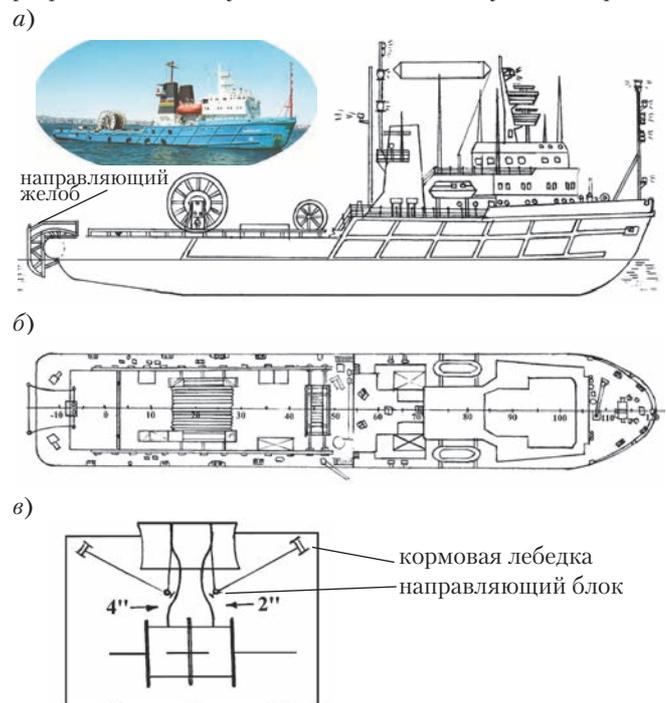


Рис. 18. Схема общего расположения т/х «С. Гулиев»: а – боковой вид; б – план палубы; в – схема растаскивания гибких трубопроводов разных диаметров с помощью кормовых лебедок

нового функционального назначения судна как плавучего средства для укладки гибкого трубопровода.

Остойчивость судна по критерию погоды удовлетворяет требованиям Правил Регистра и составляет  $K=1,8-2,0$  при требуемом  $K \geq 1$ . Мореходность переоборудованного судна оценивалась по параметрам качки, определяющим его поведение в условиях реального морского волнения. Размещение персонала по обслуживанию трубоукладочного комплекса предусмотрено в судовых жилых помещениях, рассчитанных на 12 пассажиров.

Трубоукладочный комплекс в блочно-модульном исполнении был выбран с учетом выполнения основных этапов укладки и управления продуктопроводом.

Расстановка технологического оборудования была осуществлена с учетом свободной площади палубы, обеспечения необходимых проходов, доступов к агрегатам и укладки систем коммуникаций по кратчайшему пути. Трубоукладочный комплекс включает:

- лебедку для перемещения и вращения барабана с намотанным гибким трубопроводом;
- двухсекционный барабан диаметром 7,8 м и шириной 5 м между боковыми ребрами;
- лебедки с барабаном для укладки шлангокабеля управления;
- гидроэлектрический генераторный агрегат, осуществляющий электроснабжение лебедок.
- натяжные кормовые лебедки, обеспечивающие возможность равномерной укладки гибких протяженных изделий.

В кормовой части палубы установлен направляющий желоб, обеспечивающий безопасный плавный спуск гибких трубопроводов (2" и 4") одновременно. При укладке с барабана одновременно двух гибких трубопроводов различных диаметров происходит неравномерное сматывание. Последнее исключается путем растаскивания трубопроводов с помощью сетчатых захватов (чулков), надеваемых на трубу (рис. 19). Натяжение каждого гибкого трубопровода обеспечивается кормовыми лебедками и канатами диаметром 20 мм, свободные концы которых подсоединяются к сетчатому захвату.



Рис. 19. Установка сетчатого захвата на гибком трубопроводе

С внедрением трубоукладочного судна «С. Гулиев» и вводом в действие подводной эксплуатационной скважины нефтяники Каспия впервые вышли на новый качественный уровень освоения подводных эксплуатационных систем.

### МОРСКИЕ СУДА ДЛЯ УКЛАДКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Несмотря на наличие широкого модельного ряда трубоукладочных плавсредств, процесс совершенствования и разработки новых типов подобных плавсредств непрерывно продолжается.

В этом плане показательной является группа плавсредств швейцарской компании «Allseas Group S.A.», состоящая из пяти трубоукладчиков и одного кранового судна, специально предназначенного для проведения подводно-технических работ.

На рис. 20 показано одно из крупных трубоукладочных судов мирового класса «Solitaire», которое обеспечивает укладку трубопровода по S-образной кривой.



Рис. 20. Трубоукладочное судно «Solitaire», обеспечивающее укладку по S-образной кривой

Архитектурно-конструктивной особенностью судна является высокий надводный борт в сочетании со значительным развалом бортов в носовой оконечности, наклонным форштевнем с бульбовым образованием и транцевой кормой. Путем использования эффекта благоприятной интерференции волн, создаваемых корпусом и бульбом, происходит нейтрализация волнового сопротивления, что в целом оказывает положительное влияние на мореходные качества судна. В целом, такая форма корпуса, способствуя уменьшению заливаемости, амплитуды качки и волнового сопротивления движению судна, улучшает устойчивость (удержание) судна на трассе укладки, в силу чего обеспечивается надежная и безопасная укладка трубопровода.

В общей компоновке судна реализован один из основных принципов конструирования, определяющий необходимость наиболее полного соответствия технико-эксплуатационных характеристик плавучего сооружения специфическим условиям эксплуатации на акватории морских нефтепромыслов. Это достигнуто, в частности, за счет резко выдвинутой в нос надстройки с вертолетной площадкой, расположенной на высоте 50 м от уровня моря и консольно выступающей над носовой оконечностью, что обеспечивает безопасное их удаление от рабочего участка палубы и создает возможность размещения двух технологических линий, обеспечивающих формирование трубопроводной плети из труб длиной 12 м, которые включают семь сварочных постов, один пост для дефектоскопии сварных швов и два поста для нанесения покрытий на сварной стык.

Развитая 5-ярусная надстройка, заканчивается рулевой рубкой с высокой степенью остекленности и мостиками, консольно разнесенными по бортам, что в целом обеспечивает хороший круговой обзор рабочего участка.

Крытая технологическая наклонная линия, уходящая под рабочую палубу, заканчивается стингером длиной 200 м, который, помимо шарнирного соединения с корпусом, удерживается на плаву с помощью консольно выступающей грузоподъемной рамы. Глубина погружения стингера – 160 м.

При погружении трубопровод удерживается четырьмя натяжными устройствами по 100 т каждое.

Судно «Solitaire» предназначено для укладки труб диаметром 50–1500 мм (2–60") и способно перевозить до 22 000 т труб, что позволяет прокладывать трубопроводы значительной протяженности без дополнительной загрузки судна. Трубоукладчик на трассе удерживается системой динамического позиционирования класса 3.

Высокие технико-эксплуатационные характеристики трубоукладочного судна предопределили возможность его использования при реализации трубопроводного проекта «Северный поток» («Nord Stream»).

Для укладки труб в процессе реализации проекта «Северный поток» наряду с судном «Solitaire» была использована полупогружная трубоукладочная установка «Castoro Sei» (см. рис. 12), кроме того, в соответствии с договором швейцарская компания «Allseas Group S.A.» для укладки газоп-

ководов использовала еще два трубоукладчика «Pioneering Spirit» и «Audacia».

На рис. 21 показано **трубоукладочное судно «Audacia»**, которое было задействовано на укладке мелководного участка газопровода «Турецкий поток».

Погружение в воду, удержание на плаву и подъем стингера длиной чуть более 150 м, шарнирно соединенного с корпусом «Audacia», обеспечивается с помощью мощной, консольно выдвинутой в нос, грузоподъемной рамой. При погружении трубопровод удерживается тремя натяжными устройствами по 150 т каждое. Глубина погружения стингера – 170 м.



Рис. 21. Общий вид трубоукладочного судна «Audacia»

Погружение в воду, удержания на плаву и подъем стингера длиной чуть более 150 м, шарнирно соединенного с корпусом «Audacia», обеспечивается с помощью мощной, консольно выдвинутой в нос, грузоподъемной рамой. При погружении трубопровод удерживается тремя натяжными устройствами по 150 т каждое. Глубина погружения стингера – 170 м.

Новейшим трендом на рынке океанотехники является самая большая **плавающая строительно-монтажная площадка катамаранного типа «Pioneering Spirit»** длиной 382 м, шириной 120 м.

История создания «Pioneering Spirit» весьма примечательная. Изначально это плавучее сооружение было задумано для демонтажа выведенных из эксплуатации нефтяных платформ в Мексиканском заливе (рис. 22, а).

С целью увеличения рентабельности эксплуатации и принимая во внимание значительное преимущество трубоукладочного бизнеса было решено приспособить установку также для трубоукладочных работ, оснастив ее соответствующей технологической трубоукладочной линией и съемным стингером ферменной конструкции (рис. 22, б).

а)



б)



Рис. 22. Общий вид плавучей строительно-монтажной площадки «Pioneering Spirit»: а – вид в плане; б – вид с установленным стингером

Уникальность этого плавучего строительного-монтажного сооружения, наряду с высокими технико-эксплуатационными характеристиками, заключается в его многофункциональности.

Благодаря необычному конструктивному оформлению обеспечивается возможность, в зависимости от характера работ, оборудовать его необходимыми технологическими устройствами и механизмами способными осуществлять монтаж и демонтаж платформ, а также укладку подводных трубопроводов.

Погружение в воду, удержание на плаву и подъем стингера, шарнирно соединенного с корпусом, регулируется с помощью гидроцилиндров. При погружении трубопровод удерживается четырьмя натяжными устройствами с усилием по 500 т каждое. Формирование трубопроводной плети осуществляется на технологической линии из отдельных труб длиной 12-18 м и толщиной стенки до 48 мм с защитным антикоррозионным и бетонным покрытиями. Проектная средняя скорость укладки – 10 км в сутки. Стабилизация катамарана на трассе укладки обеспечивается 12 азимутальными двигателями, питаемых от 8 дизель-генераторов общей мощностью 95 МВ (94 460 кВт).

Одно из новых веяний в океанотехнике – трубоукладочные суда, оборудованные стингером и вертикальной рампой. Такое конструктивное оформление обеспечивает возможность укладки как жестких (стальных), так и гибких (термопластичных) труб.

В этом плане заслуживает внимания проект **трубоукладочного и краново-монтажного судна «Petrofac JSD 6000»**, разработанный компанией Ulstein (рис. 23).

Судно длиной 215,9 м и шириной 49 м с максимальной осадкой 10 м характеризуется резко выдвинутой в нос удлиненной 4-ярусной надстройкой в комбинации с наклонным форштевнем, которые придают судну легкость и стремительность. Вертолетная площадка, консольно смещенная от надстройки в нос, значительно повышает сохранность жилых и служебных помещений в случае аварийного падения вертолета.



Рис. 23. Общий вид трубоукладочного судна «Petrofac JSD 6000»

Жилые помещения рассчитаны на проживание более 300 человек. Мощность энергетической установки – 6×8500 кВт, максимальная скорость хода 12 уз.

Благодаря наличию стингера в кормовой части и вертикальной рампы над moopool (сквозная шахта в корпусе) в районе миделя, судно способно обеспечивать укладку трубопроводов по S- и J-образным кривым. Такое конструктивное оформление, расширяя производственные возможности, позитивно влияет на технико-эксплуатационные показатели трубоукладочного судна.

Более того, полноповоротный кран грузоподъемностью 5000 т в кормовой части позволяет проводить строймонтажные операции с тяжелыми и габаритными конструкциями нефтяных платформ, значительно повышает рентабельность судна. Надежная стоянка при выполнении монтажных работ, а также устойчивое удержание судна на трассе укладки обеспечиваются системой DP-3.

Значительный интерес представляет трубоукладочное плавсредство «Saipem constellation», предназначенное для укладки жестких (rigid) и гибких (flexible pipelay) трубопроводов через шахту moopool, предусмотренную в корпусе (рис. 24).



Рис.24. Общий вид «Saipem constellation»

Трубоукладчик «Saipem constellation», построенный на класс DNV 1A1 Pipelaying Vessel, Ice-1A, способен выполнять широкий спектр работ, связанных с укладкой и обслуживанием стальных (диаметром 4–16”) и гибких (диаметром 4–24”) трубопроводов, а также с обслуживанием и ремонтом подводных эксплуатационных систем.

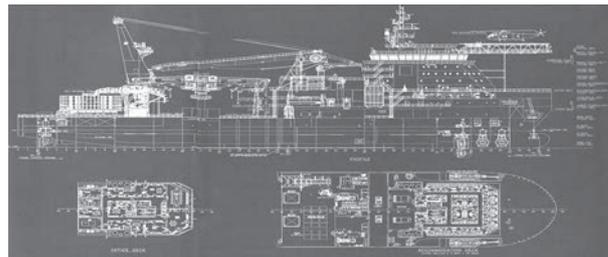
Трубоукладчик характеризуется необычной овальной формой носовой части, где расположена многопалубная надстройка, обеспечивающая комфортные условия проживания до 230 человек в одноместных каютах. Вертолетная площадка, консольно выступающая за габариты трубоукладчика, несколько смещена в сторону правого борта. По левому борту размещены вертикально установленные барабаны, обеспечивающие перевозку и укладку гибких трубопроводов.

Для проведения подводно-технических работ (ПТР) судно оснащено двумя телеуправляемыми, необитаемыми подводными аппаратами (ТНПА-ROV) способными работать на морских глубинах до 3000 м. Судно имеет длину 178,0 м, ширину 46,0 м, высоту борта 15,6 м, максимальную осадку 10,5 м. Площадь рабочей палубы – 4200 м<sup>2</sup>. Судно оборудовано морским мачтовым, полноповоротным, электрогидравлическим краном грузоподъемностью 3000 т, который характеризуется: незначительной занимаемой площадью, что особенно важно в условиях крайней ограниченности площади рабочей палубы; значительно уменьшенным весом (20–40%) в сравнении с обычными поворотными кранами, а также деррик-кранами; возможностью вертикального положения стрелы; низким центром тяжести вследствие установки лебедок (топенантной, поворотной, главной) и вспомогательного подъемов и т.п.) под палубой. Система укладки – комбинированная, включающая вертикальную рампу с круговой направляющей для укладки гибкого трубопровода и стального трубопровода по

J-образной кривой. Тяговое усилие натяжных устройств – 2×400 т и 2×250 т.

Продолжая рассмотрение технических плавсредств, предназначенных для выполнения ПТР следует отметить одно из последних достижений отечественного судостроения – специализированное судно «Ханкенди» (рис. 25), которое предусмотрено для проведения подводно-технических работ на глубоководном газовом месторождении «Шахдениз» в азербайджанском секторе Каспия.

а)



б)



в)



Рис. 25. Специализированное судно для проведения глубоководных ПТР «Ханкенди»: а – продольный разрез; б – схема расположения жилых и служебных помещений; в – общий вид судна со стороны носа и кормы

Судно «Ханкенди», построенное под надзором Норвежско-Германского классификационного органа DNV-GL на Бакинском судостроительном заводе и предназначенное для работы на глубинах моря до 550 м, введено в эксплуатацию в 2017 г.

Судно способно выполнять широкий спектр ПТР, которые включают установку подводных манифольдов, донной опорной плиты, фонтанной аппаратуры, ремонт подводно-устьевого оборудования и т.п.

Габаритная длина судна – 155 м, ширина – 32 м, высота борта – 13 м, осадка летняя – 7,5 м. Площадь грузовой палубы – 1000 м<sup>2</sup>, площадь главной палубы 2000 м<sup>2</sup>. Водоизмещение – 17 600 т. Дедвейт судна при осадке 6,5 м – 5000 т.

Архитектурно-конструктивная форма судна, в отличие от привычного силуэта морского судна со ступенчато-обтекаемой надстройкой, характеризуется многогранной формой надстройки без закругленных углов с наклонной в сторону кормы передней стенкой и выдвинутой в направлении носовой оконечности вертолетной площадкой.

Надводная часть носовой оконечности выполнена вертикальной, притуленной, овальной формы с наклоном в подводной части, продолжающимся до бульбового об-

разования. Благодаря увеличенному надводному борту в носовой части и наличию бульбового образования обеспечивается хорошая устойчивость и всхожесть на волну при выполнении подводно-технических работ на взволнованной поверхности моря. Высокий бак предотвращает заливаемость носовой части.

Рулевая рубка отличается высоким уровнем остекленности и наличием консольно вынесенными на всю ширину судна бортовыми остекленными мостиками, обеспечивающими хороший круговой обзор. Во избежание световых бликов на стеклах остекленные стенки рубки с выносными бортовыми мостиками имеют наклон вперед в сторону носовой части.

Высокая рубка обеспечивает не только хороший обзор, но и высотное расположение пожарных лафетных стволов, тем самым позитивно влияя на их возможность создавать высокую подачу струи воды при тушении пожаров на высокогабаритных нефтяных платформах.

Судно имеет оригинальную форму дымовой трубы прямоугольного очертания со скошенными боковыми стенками, без закругленных углов, что несколько повышает воздушное сопротивление, но оправдывается технологическими соображениями. Судно оборудовано глубоководным водолазным колоколом (ГВК), который включает 7 декомпрессионных камер, в том числе шлюзовую, жилые, эвакуационные, в которых могут находиться 18 акванавтов, а также двумя трехместными водолазными колоколами, погружаемыми в воду через две сквозные шахты, расположенные в средней части судна. «Ханкенди» укомплектовано (ТНПА-ROV) оборудованием для проведения поисковых работ, обследования подводных коммуникаций, выполнения строймонтажных и ремонтных операций.

Общая мощность энергетической установки составляет (6×4,4 МВт+2×3,2 МВт). Скорость хода – 13,5 уз. Надежная стоянка на рабочей точке обеспечивается системой динамического позиционирования (DP-3), включающей три носовых подруливающих устройств туннельного типа и две кормовые винторулевые колонки.

Характерной особенностью судна является оснащение его высокопроизводительным краном грузоподъемностью 900 т, что обусловлено необходимостью проведения монтажно-демонтажных операций с массогабаритными сегментами подводных эксплуатационных систем. Поворотная кран-балка грузоподъемностью 50 т, расположенная по правому борту, предназначена для проведения спуско-подъемных операций с ТНПА.

На судне предусмотрено проживание до 175 человек.

Оснащение судна современной движительной установкой и новейшим навигационным оборудованием обеспечивают повышенную маневренность и возможность занимать

точно указанное рабочее место с определенными координатами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для укладки магистральных трубопроводов большого диаметра в глубоких водах, а также внутрипромысловых трубопроводов небольшой протяженности и небольших диаметров разработаны различные трубоукладчики, отличающиеся схемами компоновки и характеристиками технологического оборудования, системами удержания на трассе, необычными формообразованиями корпусов, которые резко отличаются от традиционных судовых.

2. В практике морской трубоукладки используются малые и большие трубоукладочные баржи; полупогружные трубоукладочные установки; суда с динамической системой позиционирования для укладки гибких и жестких трубопроводов и т.п. Все эти плавсредства конкурентоспособны как с технической, так и с экономической точек зрения. Значимость судов с DP особенно возрастает в условиях укладки трубопроводов на участках, чрезмерно насыщенных ранее уложенными подводными коммуникациями, когда с целью предохранения этих коммуникаций от возможных повреждений якорными линиями, использование трубоукладчиков с якорной системой позиционирования не представляется возможным.

3. Принимая во внимание, что использование трубоукладочных плавсредств требует значительных эксплуатационных расходов, при разработке проектов следует учитывать:

- технико-эксплуатационные характеристики и гидродинамические особенности плавсредств;
- гидрометеорологические условия заданного района укладки и его отдаленность от берега;
- глубину моря;
- уровень развития береговой инфраструктуры.

4. При выборе типа плавсредства этих показателей недостаточно, ибо ни один из них не может выступать в качестве единственного критерия, гарантирующего оптимальность принятого решения. Таким критерием могут быть только экономические показатели, характеризующие наибольшую эффективность при наименьших затратах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Караев Н.К.* Проектирование и строительство морских нефтепромыслов // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1974. – № 11.
2. *Караев Р.Н.* Океанотехника: системный анализ современного состояния и перспективы развития. – СПб: «МОР ВЕСТ», 2018. – 716 с.
3. *Караев Р.Н.* Плавучие средства для подводных трубопроводов // Экспресс-информация технология бурения и разработки газовых и нефтяных морских месторождений. – 1984. – Вып. 12. ■



## Г.Н. МУРУ - 55 ЛЕТ

*РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,  
контакт. тел. (812) 710 4011*

9 мая исполнилось 55 лет со дня рождения Георгию Николаевичу Муру, генеральному директору АО «51 ЦКТИС», вице-президенту Научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова.

Георгий Николаевич родился 9 мая 1966 г. в Ленинграде. Окончил Ленинградское Нахимовское военно-морское училище (1983) и кораблестроительный факультет Высшего военно-морского инженерного училища им. Ф. Э. Дзержинского (1988).

С 1988 по 1998 г. служил на офицерских должностях Полярнинского судоремонтного завода (10 СРЗ) в г. Полярный Мурманской области, пройдя путь от руководства судоремонтной ротой до главного строителя и начальника производства. Проявил себя грамотным специалистом и умелым руководителем при проведении комплексных ремонтов атомных подводных лодок и судов обеспечения Северного флота.

После окончания кафедры военной экономики Военно-морской академии им. Н. Г. Кузнецова в 2000 г. возглавил 170-е отдельное конструкторско-технологическое бюро ВМФ в Кронштадте. Благодаря активному взаимодействию с ведущими проектными бюро на предприятии сформировался устойчивый портфель заказов, почти в три раза возросла средняя заработная плата.

Около 20 лет деятельности Г.Н. Муру связаны с ФГУП МО РФ «51 Центральный конструкторско-технологический институт судоремонта»: с 2002 г., будучи на действительной военной службе (капитан 1 ранга), занимал должность главного инженера, а с 2008 г. – начальника – генерального директора ОАО «51 ЦКТИС».

Совместным решением Минобороны России и Минпромторга России от 21.08.2019 г. № 235/1/1/10282 институт определен головной организацией по разработке ремонтной документации на корабли и суда ВМФ. При активном

участии Георгия Николаевича институтом разработана и представлена в Министерство обороны Программа разработки ремонтной конструкторско-технологической документации для ВМФ на период до 2031 г.

По инициативе Г. Н. Муру решением Минобороны в 2014 г. руководимому им институту присвоены права проектанта всех кораблей и судов ВМФ, построенных за границей и проектанты которых отсутствуют (ликвидированы). Это решение стало признанием заслуг коллектива предприятия в разработке комплектов ремонтно-технологических документов на большинство новейших кораблей и судов, проектируемых в ЦКБ и строящихся на верфях страны. Институт успешно выполняет функции проектанта почти 400 кораблей и судов ВМФ.

На базе института сформирован уникальный отраслевой фонд технической документации на корабли, подводные лодки, суда и комплектующее оборудование, которым пользуются организации ВМФ и промышленности. Фонд содержит более 4 млн. документов почти для 700 проектов кораблей и судов и более 50 000 судовых механизмов и устройств.

Под руководством Г. Н. Муру институт прочно занимает позицию одного из ведущих предприятий ОПК в области судоремонта. Он имеет заслуженный авторитет в отраслевых НИИ, проектных организациях, заводах судостроительной и смежных отраслей промышленности как активный участник создания и внедрения концепции технического надзора и сервисного обслуживания кораблей, выработки единых подходов к организации и технологическому обеспечению ремонта.

Г. Н. Муру – автор и научный руководитель разработки и переработки отраслевых и национальных стандартов по ремонту и сервисному обслуживанию кораблей, нормированию трудовых и материальных ресурсов. За 2012–2020 гг. институтом разработаны и утверждены Росстандартом 12 национальных и военных ГОСТ и ОСТ.

Значительный вклад Г. Н. Муру внес в освоение нового направления работ – разработку проектной и организационной технологической документации в обеспечение безопасного вывода и утилизации атомных подводных лодок, совместно с проектантами кораблей принял участие в организации разработки ремонтной документации для кораблей и судов ВМФ новых проектов.

Институтом, возглавляемый им, выполнен полный комплекс работ по конструкторско-технологическому сопровождению кораблей и судов обеспечивавших «сирийский экспресс», кругосветное плавание гидрографического судна «Адмирал Владимирский», уникальный океанский поход учебного судна «Перекоп» и многих других.

Результаты применения элементов CALS-технологий и 3D-моделирования для обеспечения ремонтпригодности кораблей и судов на ранних стадиях проектирования позволили Г. Н. Муру успешно защитить диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук (2008). Он – доцент факультета кораблестроения и океанотехники СПбГМТУ (с 2005). Организует базовую кафедру университета по профилю деятельности 51 ЦКТИС. Совмещая работу в институте с преподавательской деятельностью, Г. Н. Муру сформировал профессиональный коллектив молодых конструкторов и технологов, которые вместе с ветеранами-практиками судоремонта работают в различных регионах страны – от Камчатки до Калининграда, от Астрахани и Севастополя до Мурманска и Северодвинска.

Г. Н. Муру с 2014 г. – член Президиума Научно-технического совета Российского морского регистра судостроения, вице-президент НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, где возглавляет Комитет по региональной политике, который объединяет более 45 региональных отделений.

Г. Н. Муру имеет более 15 государственных и ведомственных наград, а также памятных медалей общественных организаций, в том числе РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, Морского Собрания Петербурга и др. Отмечен благодарностями Комитета по промышленной политике администрации города, Санкт-Петербургского епархиального управления.

*РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова поздравляет Георгия Николаевича с знаменательной датой и желают ему доброго здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов.*

*Редсовет и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру плодотворной совместной работы на благо отечественного судостроения. ■*

**51** ЦКТИС имеет многолетний опыт совместной работы с большинством предприятий, осуществляющих ремонт кораблей и судов ВМФ. В процессе определения технического состояния кораблей, судов их составных частей и комплектующих изделий участники процесса применяют следующие термины:

- контроль технического состояния,
- техническое диагностирование,
- дефектация,
- предремонтная дефектация,
- рабочая дефектация,
- освидетельствование,
- общее освидетельствование,
- техническое освидетельствование,
- предремонтное освидетельствование.

Такое обилие терминов, казалось бы, для одного и того же понятия затрудняет всем участникам процесса одинаково оценивать ожидаемый результат, определять объемы трудозатрат, сроки и стоимость выполнения работ.

Анализ значительного количества научной, учебной, методической литературы, стандартов и нормативной документации подтверждает многолетнее одновременное употребление вышечисленных терминов. Отличие в терминологии зависит от ведомственных, региональных, исторически сложившихся традиций и иных предпочтений.

В ходе разработки, обсуждения и согласования ГОСТ РВ «Корабли и суда ВМФ. Дефектация. Порядок проведения» выявилась необходимость разобраться со всеми этими терминами. Ниже изложены их определения или описания в редакции документов, на которые даны ссылки.

В ГОСТ 20911–89 «Техническая диагностика. Термины и определения» содержатся термины:

*контроль технического состояния:* проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРАБЛЕЙ, ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ ДЕФЕКТАЦИЯ ИЛИ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ: КАКОЙ ТЕРМИН ПРИМЕНЯТЬ? В ПОРЯДКЕ ОБСУЖДЕНИЯ

*Г.Н. Муру, канд. техн. наук, ген. директор,  
Ю.И. Витенбергский, гл. специалист, АО «51 ЦКТИС»,  
контакт. тел. (812) 423 1600, office@51cktis*

**Примечание.** Видами технического состояния являются, например, исправное, работоспособное, неисправное, неработоспособное и т. п. в зависимости от значений параметров в данный момент времени.

*техническое диагностирование:* определение технического состояния объекта.

**Примечания:**

1. Задачами технического диагностирования являются:

- контроль технического состояния;
- поиск места и определение причин отказа (неисправности);
- прогнозирование технического состояния.

2. Термин «техническое диагностирование» применяют в наименованиях и определениях понятий, когда решаемые задачи технического диагностирования равнозначны или основной задачей является поиск места и определение причин отказа (неисправности).

Термин «контроль технического состояния» применяют, когда основной задачей технического диагностирования является определение вида технического состояния.

В нескольких стандартах установлены термин *дефектация* и производные от него и даны их определения (табл. 1).

В Правилах Регистра и Ростехнадзора, в отраслевом руководящем документе РДВ5.056.006-86 и в ГОСТ РВ 1905-013–2018 приводится термин *освидетельствование* и производные от него с определениями или с описаниями (табл. 2).

Анализ изложенных выше терминов и определений позволяет выделить их категории в зависимости от целей

определения технического состояния объектов:

- установление вида технического состояния;
- поиск места и определение причин отказа (неисправности);
- установление состава и объема операций ремонта или технического обслуживания.

Цели установления вида технического состояния в полной мере соответствует термин *контроль технического состояния* по ГОСТ 20911–89.

В Правилах Регистра и Ростехнадзора нет четких определений терминов, как это принято в стандартах, но, судя по описанию термина *освидетельствование*, его цель в значительной степени совпадает с целью *контроля технического состояния* по ГОСТ 20911–89 – установление вида технического состояния. Кроме того, предусматриваются и другие цели, в том числе проверка технологических процессов и организации эксплуатации поднадзорных объектов.

К целям освидетельствования по Правилам Регистра и Ростехнадзора не относится определение состава и объема операций ремонта или технического обслуживания.

Во взаимоотношениях с органами надзора, по-видимому, следует придерживаться терминологии, установленной правилами этих органов, поэтому далее останавливаться на них нет смысла.

**Определение термина дефектация**

Таблица 1

Стандарт	Термин	Определение термина
ГОСТ РВ 0101-001–2007 «Эксплуатация и ремонт изделий военной техники. Термины и определения»	Дефектация изделия военной техники	Определение технического состояния изделия военной техники, состава и объема операций, обеспечивающих восстановление его в соответствии с требованиями эксплуатационной или ремонтной документации
ГОСТ В 28118–89 «Ремонт кораблей и судов ВМФ. Термины и определения»	Дефектация судна ВМФ	Определение технического состояния судна ВМФ, состава и объема операций, обеспечивающих восстановление характеристик судна после ремонта до заданных значений
ГОСТ РВ 1905-012–2018 «Корабли и суда ВМФ. Система технического обслуживания и ремонта. Основные положения»	Предремонтная дефектация корабля	Предварительное определение технического состояния составных частей и комплектующих корабль изделий
ГОСТ РВ 1905-012–2018 «Корабли и суда ВМФ. Система технического обслуживания и ремонта. Основные положения»	Рабочая дефектация	Уточнение технического состояния составных частей и комплектующих изделий в начале ремонта и окончательное установление состава и объема операций, обеспечивающих восстановление технико-эксплуатационных характеристик составных частей и комплектующих корабль изделий до заданных значений
ОСТ В5Р.95122–2015 «Корабли и суда ВМФ. Дефектация. Основные положения»	Предремонтная дефектация	Соответствует определению ГОСТ РВ 1905-012–2018, дополнено примечанием: «целями предремонтной дефектации являются: определение необходимости и вида ремонта изделий, предварительное определение состава и объема работ по ремонту составных частей корабля и комплектующих изделий»

## Определение термина освидетельствование

Стандарт	Термин	Определение или описание термина
Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации <i>Российского морского регистра судоходства</i>	Освидетельствование (survey)	Составная часть технического наблюдения, включающая в себя: проверку судовых документов и одобренной технической документации, свідельств о соответствии на материалы и комплектующие изделия; проверку документов о проведении предусмотренного контроля компетентными лицами или организациями; осмотр, в т.ч. при необходимости, со вскрытием и демонтажем; проверку замеров, участие в испытаниях, проверку в действии; проверку технологических процессов; выдачу необходимых документов Регистра или их подтверждение; в необходимых случаях – клеймение и пломбирование объектов технического наблюдения.
	Общее освидетельствование (overall survey)	Освидетельствование, предназначенное для заключения об общем состоянии корпуса и определения объема дополнительных детальных освидетельствований
Инструкция по обеспечению в ВС России безопасной эксплуатации подъемных сооружений и оборудования, работающего под давлением, в составе В и ВТ (Пр. МО РФ № 662 от 30.10.2015)	Техническое освидетельствование	Техническое освидетельствование объекта гостехнадзора имеет целью установить, что: объект гостехнадзора соответствует своим паспортным данным; объект гостехнадзора находится в исправном состоянии, обеспечивающем его безопасную работу; организация безопасной эксплуатации объекта гостехнадзора соответствует предъявляемым к ней техническим требованиям.
ГОСТ РВ 1905-013–2018 «Корабли и суда ВМФ. Порядок продления установленных сроков службы. Основные положения»:	Освидетельствование	По результатам освидетельствования составных частей и комплектующих изделий корабля головной исполнитель выполняет анализ и оценку их технического состояния, определяет исполнителя (судоремонтные и ремонтные предприятия) и состав работ по ремонту и техническому обслуживанию
РДВ5.056.006–86 «Ремонт кораблей и судов ВМФ. Предремонтное освидетельствование. Основные положения»:	Предремонтное освидетельствование	Предремонтное освидетельствование представляет совокупность операций по входному контролю и прогнозированию технического состояния корабля с целью определения объема заводского ремонта, совершенствования технологической подготовки производств, организации и планирования производства на предприятии

Цели поиска места и определения причин отказа (неисправности) в полной мере соответствует термин *техническое диагностирование* по ГОСТ 20911–89. В некоторой степени этой цели соответствуют термин *дефектация* и производные от него, при этом под дефектацией понимается не столько поиск места и определения причин *отказа*, сколько определение места и величин *износов, повреждений и скрытых дефектов*, которые еще не привели к отказу.

Целями *дефектации* по ГОСТ РВ 0101-001–2007 и ГОСТ В 28118–89 являются *определение состава и объема операций, обеспечивающих восстановление объекта*. Такое определение термина применительно к кораблю в целом как к сложному инженерному сооружению некорректно. Практически невозможно назвать какую-либо операцию, являющуюся частью технологического процесса ремонта корабля, как невозможно определить технологический процесс ремонта корабля в целом. Любая технологическая операция относится к конкретной составной части корабля или к конкретному комплектующему изделию. В организационно-технической документации для описания процесса ремонта корабля применяются термины *этап ремонта и работа*, под которыми понимают комплекс технологических операций, например, этап – швартовные испытания, работа – замена настила палубы. Содержание работ в общекорабельных документах не детализируется. Состав и объем работ устанавливаются в ведомости ремонтных работ (ВРР) и в протоколе согласования объема работ (ПСОР). При разработке ГОСТ РВ 0119-005–2020 (взамен ГОСТ В 28118–89) вместо термина *операция* применен термин *работа*.

Наиболее полно процессы дефектации описаны в ОСТВ5Р.95122–2015, конкретно два этапа дефектации: *предремонтная дефектация корабля* в целом и *рабочая дефектация составных частей и комплектующих изделий*. Целями *предремонтной дефектации* согласно примечанию к этому термину являются определение необходимости и вида ремонта изделий, *предварительное определение состава и объема работ по ремонту составных частей корабля и комплектующих изделий*. По результатам предремонтной дефектации уточняются и согласовываются состав и объем работ по ведомости ремонтных работ заказчика, определяется ориентировочная стоимость ремонта корабля.

Цели *рабочей дефектации* полностью соответствуют целям дефектации по ГОСТ РВ 0101-001–2007: *«установление состава и объема операций, обеспечивающих восстановление ...»*.

Целью *освидетельствования* по ГОСТ РВ 1905-013–2018 является *определение состава и объема работ по ремонту* и техническому обслуживанию, обеспечивающих продление срока службы корабля.

Таким образом, *цели освидетельствования при продлении срока службы и предремонтной дефектации совпадают*.

Из описания термина *предремонтное освидетельствование* по РДВ5.056.006–86 и последующего текста этого документа можно сделать вывод, что *целью предремонтного освидетельствования* является определение объема ремонта корабля, что в полной мере *соответствует целям предремонтной дефектации* по ОСТВ5Р.95122–2015 и ГОСТ РВ 1905-012–2018.

Термины *предремонтная дефектация* и *предремонтное освидетельство-*

*вание* утвердились в ведомственных нормативных документах в 70–80-е гг. прошлого столетия, они совпадают по целям (и по содержанию), но в силу сложившихся традиций применяются параллельно предприятиями, ранее принадлежавшими различным ведомствам (СРЗ ВМФ – предремонтная дефектация, СРЗ Минсудпрома – предремонтное освидетельствование или просто освидетельствование). Наличие разных терминов, цели и содержание которых совпадают, приводит к непониманию, противоречиям сторон при разработке и согласовании документов, предназначенных для всех предприятий отрасли. Поэтому во вновь разработанном стандарте ГОСТ РВ 0119-005–2020 «Корабли и суда ВМФ. Система технического обслуживания и ремонта. Термины и определения» установлен термин *предремонтная дефектация (освидетельствование)*.

## Выводы

1. Термины *освидетельствование* и *предремонтное освидетельствование* по своим описаниям идентичны термину предремонтная дефектация,
2. Термины *дефектация* и *рабочая дефектация* идентичны и могут применяться как синонимы.

## Предложения

1. Межведомственные дискуссии о применении терминов предремонтная дефектация или освидетельствование в отношении кораблей ВМФ целесообразно прекратить и руководствоваться действующими стандартами;
2. Ведомственный руководящий документ Минсудпрома РДВ5.056.006–86 отменить как потерявший актуальность. ■

**А**лександр Сергеевич Бузаков родился 7 июля 1956 г. Вся его профессиональная деятельность неразрывно связана с ленинградским и Санкт-Петербургским судостроением. В 1980 г. после окончания Ленинградского кораблестроительного института (специальность – Судовые силовые установки) он пришел на Адмиралтейские верфи, где прошел трудовой путь от технолога до главного инженера предприятия.

В 2004–2009 гг. последовательно работал генеральным директором ОАО «Судостроительный завод Северная верфь», директором ФГУП «Средне-Невский судостроительный завод», возглавлял ОАО «Западный центр судостроения». 27 августа 2011 г. был назначен временно исполняющим обязанности генерального директора ОАО «Адмиралтейские верфи», а 30 июня 2012 г. утвержден в этой должности.

За этот период Адмиралтейские верфи добились существенных успехов в выполнении производственной программы, продвижении строительства заказов, получении новых контрактов на строительство кораблей в рамках гособоронзаказа и военно-технического сотрудничества, а также в подготовке и наборе кадров.

Под непосредственным руководством А. С. Бузакова в 2012 г. было построено и передано заказчику научно-экспедиционное судно «Академик Трёшников». В декабре 2015 г. в состав Военно-Морского Флота России вошло уникальное судно-спасатель «Игорь Белоусов» с глубоководным аппаратом «Бестер-1» на борту, с помощью которого проводится спасение экипажей затонувших подводных лодок на глубине до 720 м. В ноябре 2016 г. ВМФ РФ была передана подводная лодка «Колпино», последняя в серии из шести подводных лодок для Черноморского флота России. Вся серия была

## К 65-ЛЕТИЮ А.С. БУЗАКОВА

АО «Адмиралтейские верфи»,  
контакт. тел. (812) 495 2544



построена на Адмиралтейских верфях за шесть лет, с августа 2010 г. по ноябрь 2016 г. Начиная с 2014 г., предприятие передавало ВМФ по два корабля ежегодно. В ноябре 2017 г. в его состав был передан ледокол «Илья Муромец» – однопалубное многофункциональное судно, предназначенное для обеспечения базирования и развертывания сил флота в ледовых условиях. Впервые в истории отечественного судостроения предприятие-строитель выступило одновременно и в роли проектанта судна.

Сегодня на АО «Адмиралтейские верфи» идет строительство серии подводных лодок модернизированного пр. 636 для Тихоокеанского флота России. В постройке находятся две подводные лодки 4-го поколения пр. 677 «Лада», серия патрульных кораблей ледового класса для ВМФ, а также серия больших морозильных рыболовных траулеров и ледостойкая самодвижущаяся платформа «Северный полюс».

Александр Бузаков уделяет большое внимание модернизации и техническому развитию предприятия. В рамках реализации Федеральной целевой программы развития оборонно-промышленного комплекса выходит на финальный этап строительство современного комплекса неатомного подводного кораблестроения с замкнутым циклом производства.

За более чем 40-летний стаж работы в судостроении Александр Сергеевич принимал непосредственное участие в строительстве и сдаче в эксплуатацию десятков подводных и надводных кораблей, а также гражданских судов различного класса и назначения, в том числе не имеющих аналогов в отечественном и мировом судостроении. В 2003 г. за создание и проведение испытаний уникальной подводной лодки-лаборатории он был удостоен звания лауреата Премии Правительства РФ в области науки и техники.

Кандидат технических наук. Награжден медалями «300 лет Российскому флоту», «В память 300-летия Санкт-Петербурга», «Михаил Калашников», медалями ордена «За заслуги перед Отечеством» II и I степени, орденом «За морские заслуги».

*Коллектив АО «Адмиралтейские верфи» поздравляет Александра Сергеевича и желает ему здоровья, благополучия и свершений на благо отечественного судостроения.*

*Редсовет и редколлегия журнала «Морской вестник» поздравляют Александра Сергеевича Бузакова с юбилеем и желают ему здоровья, благополучия и дальнейших успехов в его сложной и ответственной деятельности. ■*



Современный этап развития судостроительной отрасли характеризуется острой конкуренцией и началом внедрения новых материалов и эффективных сварочных технологий, которые меняют эту консервативную отрасль. Это вызвано повышением требований к производительности и эффективности строительства судов при сохранении их конкурентоспособной стоимости. Одна

из важных составляющих этой задачи – повышение точности изготовления и сборки корпусных конструкций, а также достройки судна.

Сварка – один из основных технологических процессов, без которого невозможно представить себе судостроение. Ученые и инженеры интенсивно работали над проблемой снижения веса судов с момента зарождения судостроения и продолжают работать до сих пор. Решающую роль в этом сыграло внедрение электросварки. Благодаря ее применению вес корпуса судна уменьшился на 15–20%, а в некоторых случаях даже до 30%.

Масса металла, наносимого при сварке, может составлять от 3 до 4% от общей массы судового металла, и ее значение почти в 10 раз превышает значение такой же массы обычного металла [5]. Операции по сборке составляют примерно 50% от общего количества трудоемкости при строительстве судна как из-за прямых затрат, так и дополнительных пригоночных и правочных работ, которые вызваны тепловыми деформациями. Пригоночные работы могут составлять до 30% от общего объема работ при сборке корпуса. Также при выполнении монтажных и достроечных работ высокая температура сварочной дуги обычно противоречит операциям по оснащению и может повредить ранее установленное оборудование. Таким образом, точность и эффективность процесса сборки остаются ключевыми факторами для конкурентоспособности судостроительного производства.

В настоящее время используемые виды сварки характеризуются значительными термическими деформациями, которые тесно связаны с остаточными напряжениями и являются неизбежной проблемой при сварке. Также сварочные деформации ухудшают эстетический вид и создают угрозу структурной целостности судна, что, в свою очередь, может привести к его разрушению.

Кроме того, на качество и надежность сварных конструкций существенно влияет эффективность выполнения технологических операций, предшествующих процессу сварки, таких как резка, подготовка свариваемых поверхностей и сборка деталей. Устранение недостатков, возникших в результате выполнения указанных операций, в дальнейшем требует довольно больших материальных затрат и времени, а в ряде случаев исправить допущенные ошибки практически невозможно.

Учитывая, что сварочные работы обычно проводятся в крайне тяжелых условиях, эксплуатационные характеристики и удобство используемого оборудования и технологий должны соответствовать самым высоким требованиям.

Поэтому на сегодняшний день актуальны вопросы повышения качества и надежности готовой продукции, исключения дополнительных операций из-за проблем с надлежащей подготовкой деталей к сварке и тепловых деформаций, а также механизации и автоматизации производственных процессов применительно к тяжелым условиям труда на судостроительных и судоремонтных предприятиях.

**Лазерная резка и обработка деталей.** В настоящее время ни одно из стратегически важных технологических направлений в мире не обходится без использования лазеров при обработке материалов. Лазерные технологии во многом определяют развитие практически всех областей современной промышленности и активно используются в машиностроении, автомобилестроении, атомной, космической, авиационной и судостроительной отраслях. Судостроение стало одной из первых отраслей промышлен-

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОРПУСОСБОРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*К.О. Будников, инженер-технолог,*

*Д.А. Полянская, инженер-конструктор, АО «Адмиралтейские верфи»,  
контакт. тел. (812) 714 8597*

ности, проявившей интерес к технологическим лазерам [5]. В то же время внедрение лазерных технологий в судостроении идет довольно медленными темпами.

Целесообразность применения лазерной обработки и ее преимущества определяются возможностью быстрой, строго дозированной и интенсивной подачи энергии на поверхность изделия. Способы лазерной обработки бесконтактны и позволяют обрабатывать труднодоступные и локальные участки деталей без каких-либо вибраций и других негативных воздействий на материал. Обеспечивается локальность по глубине и площади физических процессов, происходящих в зоне термического влияния, при сохранении исходных свойств материала в другом объеме и отсутствии значительных деформаций обрабатываемых деталей. Сочетание перечисленных выше свойств этого способа термической обработки позволяет повысить надежность конструкции и срок ее службы.

Резка – одна из самых ответственных операций в судостроении, и темпы применения лазеров в этой области растут уже много лет. На судостроительных заводах использование станков для лазерной резки началось в 1995 г. Это связано с необходимостью резки толстых листов. Для этого использовались системы CO<sub>2</sub>-лазеров мощностью 6 кВт. Считалось, что лазерную резку будет трудно применить в судостроительной промышленности из-за сложных требований к подготовке фаски. Во многих случаях здесь обычно используются машины плазменной резки и механические станки. Ситуация изменилась в связи с развитием различных технологических операций резки, выполняемых с помощью лазерного резака. Было доказано, что лазерная резка позволяет достичь высокой точности и может сократить время и затраты на процессы после резки, прежде всего сборочные работы и сварку [6].

Лазерная резка имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с плазменной или газокислородной резкой (табл. 1). Прежде всего это высокая точность раскроя при практически полном отсутствии тепловых деформаций, что обеспечивается за счет минимальной ширины реза, отсутствия скошенных кромок и минимальных газопылевых выбросов. При использовании в станках лазеров мощностью 3–4 кВт можно получить точный раскрой деталей шириной до 20 мм. При этом рост затрат на раскрой деталей компенсируется исключением наладочных работ при сборке конструкций корпуса судна.

Лазерная резка – ключевой вид лазерной обработки, позволяющий кардинально модернизировать технологию сборочно-сварочных работ в судостроительном производстве, значительно повысить точность изготовления заготовок и, соответственно, снизить количество наплавленного металла при сварочных работах, что, в свою очередь, дает снижение трудоемкости сварочных,

*Таблица 1  
Сравнительные характеристики различных видов резки*

Характеристика	Вид резки		
	лазерная	плазменная	газокислородная
Ширина реза, мм	0,5–0,8	2–3	3–10
Скорость, м/мин	3–8	5	1,0
Ширина зоны термического влияния, мм	0,3–0,5	1–2	5
Шероховатость, мкм	10–80	300	500
Наклон, град.	Менее 1	3–10	Отсутствует

а затем пригоночных работ при сборке в 5–10 раз. При этом сокращается время строительства до 10–30%, а также вес стальных конструкций, удельного количества металла за счет увеличения шага ребер жесткости или уменьшения его толщины. Лазерная резка позволяет достичь точности 0,2–0,4 мм на длине до 10 м при ширине реза 0,5–0,8 мм. Дефекты на поверхности срезаемых кромок, в том числе размер заусенца сварного шва, не превышают 0,1–0,3 мм. Так, при лазерной сварке точность изготовления детали и размеры дефектов обработки измеряются десятками долями миллиметра, тогда как при традиционных технологиях разброс размеров и дефектов кромок достигает 1 мм и более [1].

Лазерную резку правильнее называть механической обработкой. При мощности лазерного источника 5% может выполняться маркировка деталей корпуса с указанием их порядковых номеров, нулевых точек и линий установки набора. Высокая точность и малая ширина резки также позволяют использовать этот процесс не только для профильной резки, но и для вырезания круглых отверстий диаметром до 3 мм вместо их сверления и пробивки.

При оценке преимуществ данного процесса обработки материалов следует принимать во внимание не только экономические показатели, но и высокие качественные характеристики поверхности металла после лазерной резки. Отсутствие деформации и заусенцев исключает необходимость проведения дополнительных операций по механической обработке кромок и правке заготовок после резки, а также дает возможность изготавливать детали точно в размер и сокращать время сборки узлов и секций.

**Лазерная сварка.** Как отмечалось ранее, технологические операции по правке деталей и пригонке готовых конструкций могут занимать до 30% от общего времени изготовления корпуса судна при использовании традиционных методов сварки. Применение лазерных технологий — это способ повысить производительность и улучшить качество конструкций.

Лазерная сварка — это процесс, во время которого нагрев и плавление соединяемых деталей осуществляются когерентным пучком монохроматического света. Из-за высокой концентрации энергии и небольшого пятна нагрева объем сварочной ванны при лазерной сварке в несколько раз меньше, чем при дуговой сварке. Этот фактор положительно влияет на набор характеристик как сварного шва, так и изделия. Во-первых, уменьшение ширины шва в 2–5 раз позволяет расширить круг деталей, где площадь выполнения шва ограничена как с точки зрения теплового эффекта, так и компактных размеров. Кроме того, уменьшение объема расплава и получение швов с большим отношением глубины проплавления к ширине шва позволяют добиться уменьшения деформации детали до 10 раз при небольшом объеме расплавленного металла и особой форме шва, а также в ряде случаев улучшения условий кристаллизации металлов [7].

При сварке с глубоким проплавлением ванна расплава имеет форму, вытянутую в направлении движения источника энергии (рис. 1). В передней части ванны находится канал или кратер, заполненный парами металла.

На передней стенке канала есть слой расплавленного металла, при этом наблюдается своеобразный ступенчатый изгиб передней стенки, изредка перемещающийся по высоте канала. По боковым стенкам канала происходит горизонтальный перенос расплавленного металла из передней части в хвостовую. Расплавленный металл хвостовой части ванны закрученными потоками поднимается к поверхности ванны расплава. Над этой поверхностью в процессе лазерной сварки наблюдается яркое плазменное пламя.

На формирование шва и механические свойства сварного соединения влияют процессы массопереноса расплавленного металла в ванне расплава. При соответствующей скорости движения лазерного луча созданная полость приобретает динамическую устойчивость и перемещается вместе с ней. В полости происходит плавление материала, а после этого — затвердевание. При наличии полости излучение поглощается не только на поверхности материала, но и в его глубине. После прохо-

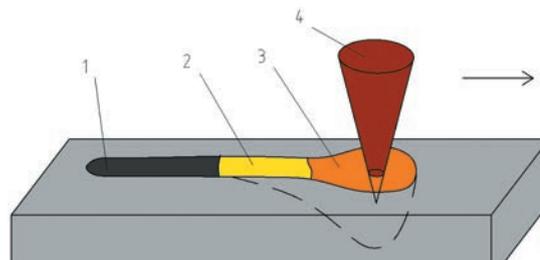


Рис. 1. Схема процесса лазерной сварки  
1 – сварной шов; 2 – ванна с расплавом; 3 – паровой капилляр; 4 – лазерный луч

ждения пучка полость заполняется расплавленным металлом, образуется узкий шов, глубина которого значительно превышает ширину. Глубина проникновения расплава при заданном уровне мощности излучения лазера обратно пропорциональна скорости сварки. Наибольшая скорость ограничена величиной, при которой металл кристаллизуется, не успевая протекать по сварочным кромок, с образованием усадочной пористости. Нижний предел скорости ограничен значением, при котором за счет теплопроводности металл плавится в стороны быстрее, чем вглубь, что сопровождается значительным увеличением ширины шва и зоны термического влияния, а также ростом зерна в шве металла. Оптимальные режимы сварки стали обеспечиваются при относительно высоких скоростях (до 1,5 – 2 м/мин). При этом мощность лазерного излучения может быть предварительно выбрана из условия 1 кВт на 1 мм толщины свариваемой детали.

Термический цикл лазерной сварки с высокими скоростями нагрева и остывания обеспечивает значительную технологическую прочность и пластичность сварных соединений, дает возможность значительно уменьшить зону термического влияния, позволяет снизить влияние фаз и структурные преобразования в районе шва [8].

С момента внедрения лазерных технологий в большинстве случаев использовались CO<sub>2</sub>-лазеры, мощность которых достигала десятков киловатт. Недостатком газовых лазеров является их небольшой КПД: например, для лазера мощностью 5 кВт, обеспечивающего сварку сталей толщиной 5 мм, потребляемая мощность составляет 100 кВт [8].

После появления на рынке волоконных лазеров мощностью до десятков киловатт в этом сегменте рынка начали происходить существенные изменения. Это связано с тем, что достигнутые силовые параметры позволяют сваривать материалы толщиной до 20–30 мм. За счет высокого КПД существенно снизилось энергопотребление, упростилось обслуживание и снизились массогабаритные характеристики. Инновационным элементом, создавшим предпосылки для появления такой конструкции, является волоконно-оптический кабель. Эксперименты показали, что при сварке сталей мощностью до 5000 Вт технологический процесс можно успешно применять в течение длительного периода и при этом могут быть получены сварные соединения хорошего качества.

Одним из основных показателей эффективности процесса сборки корпуса является скорость сварки [5]. В табл. 2 приведены сравнительные значения скорости для различных методов сварки. Из этих данных следует, что использование лазерной сварки значительно увеличивает скорость и эффективность производственных процессов при сборке узлов и секций судна.

Таблица 2  
Показатели скорости сварки различными методами

Характеристика сварки	Толщина, мм			
	4	6	8	12
Сварка, мм/с:				
дуговая	1,1	0,9	0,75	0,55
плазменная	0,45	0,35	0,25	-
лазерная	20	15	1,2	1,2

**Лазерная сварка с использованием волоконных лазеров** быстро распространяется в судостроении как эффективное средство, позволяющее экономить время и производственные затраты по сравнению с дуговой сваркой. Современные волоконно-оптические лазеры не требуют сложного обслуживания, легко интегрируются с промышленными роботами и создают сварные швы с глубоким проплавлением и высокой пропускной способностью. Высокое качество луча при высоких уровнях мощности и снижение цены за киловатт мощности лазера позволяют преодолеть предыдущие ограничения и открыть новые возможности.

Основным фактором, препятствующим более широкому использованию лазерной сварки, является ее чувствительность к точному позиционированию и высокие требования к механической обработке свариваемых поверхностей. При лазерной сварке допустимый зазор между кромками составляет до 0,2 мм. Большие зазоры приводят к таким дефектам, как провисание шва или отсутствие плавления [2].

Одним из эффективных способов компенсации прерываний и выполнения сварных швов приемлемого качества является применение *гибридной лазерно-дуговой сварки*. При гибридной сварке комбинируются два процесса сварки, которые действуют одновременно в одной и той же области: дуга нагревает металл и дополняет эффект лазерного излучения (рис. 2). Поэтому для гибридной сварки требуются лазеры меньшей мощности по сравнению с лазерной сваркой, и процесс становится дешевле. Скорость сварки и глубина проплавления значительно превышают соответствующие значения каждого из этих процессов в отдельности.

Лазерно-дуговая сварка имеет значительные технологические преимущества и позволяет контролировать формирование сварного шва путем регулировки параметров дуги; кроме того, это увеличивает пропускную способность промежутка [9]. В лазерно-гибридном процессе энергия лазера используется исключительно для эффекта глубокого проплавления, что также позволяет сваривать более толстые пластины. Остальная энергия обеспечивается более дешевой дуговой сваркой в защитных газах, которая гарантирует лучшее перекрытие зазоров благодаря использованию плавящегося электрода. Преимуществом лазерно-дуговой сварки являются в глубоком проплавлении, низком уровне остаточных деформаций и снижении требований к примыканию свариваемых кромок.

За счет нагрева свариваемого металла электрической дугой увеличивается коэффициент лазерного излучения, что приводит к снижению потерь энергии лазера и увеличению скорости сварки. Тот же эффект проявляется в увеличении площади поперечного сечения металла, расплавленного при гибридной сварке, по сравнению с суммой площадей поперечного сечения валиков, полученных при раздельной дуговой и лазерной сварке [10].

Металл увеличивает глубину проплавления и скорость сварки [9]. Это приводит к снижению подвода тепла и дает возможность выполнять однопроходную одностороннюю сварку при неточном позиционировании заготовок. Односторонние сварные швы более просты в исполнении и наименее трудоемки. Модификация термического цикла лазерной сварки, происходящая под действием дуги, улучшает структуру сварных швов.

При совмещении лазерной сварки с электрической дугой, дуга улучшает качество заполнения шва. Поэтому при использовании гибридной лазерной сварки получаются швы лучшего свойства, достигаются более высокие скорости сварки и образуется меньше деформаций. Также наблюдается снижение выбросов загрязняющих газов и УФ-излучения, что соответствует высоким экологическим стандартам и создает более безопасную и комфортную рабочую среду [10]. Сравнение рассчитанных термических циклов показывает, что гибридная лазерно-дуговая сварка обеспечивает лучшие условия формирования сварного шва, регулирования нагрева и добавления расплава, чем лазерная сварка.

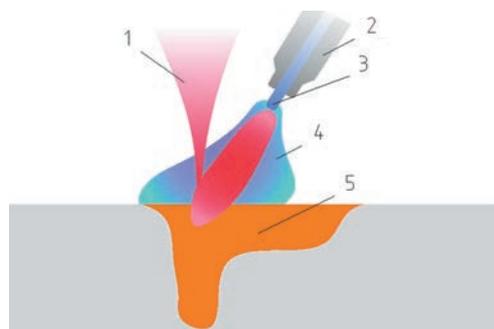


Рис. 2. Схема процесса гибридной лазерно-дуговой сварки  
1 – лазерный луч; 2 – сопло; 3 – электрод; 4 – сварочная дуга; 5 – зона проплавления

В статье [11] рассматривается сравнение лазерно-гибридной сварки с другими технологиями. Очевидно, что скорость сварки сильно отличается для различного оборудования и зависит от толщины свариваемого металла. В этом случае скорость сварки для технологии гибридной лазерной сварки достигает 3 м/мин. Данные испытаний на усталость в табл. 3 подтверждены другими источниками. Так, согласно [3], металлические образцы толщиной 20 мм выдержали 106 циклов нагружения с максимальными напряжениями 420 МПа.

Таблица 3

Сравнительные характеристики различных видов сварки

Характеристика	Сварка		
	гибридная	лазерная	дуговая под флюсом
Скорость сварки, мм/с	300	150	100
Толщина, мм	< 15	< 15	< 12
Зазор, мм	0–1	0–0,4	2–5
Деформация, мм/м	< 0,2	< 0,1	< 1,5
Усталостные характеристики	Превосходные	Критические	Хорошие

Исследования проводились на стыковых соединениях материала толщиной до 15 мм. Технология сварки под флюсом обеспечивает перекрытие зазора от 2 до 5 мм при толщине материала до 12 мм. При использовании гибридной лазерной технологии можно достичь зазоров до 1 мм при толщине материала до 15 мм, но при этом скорость сварки в 3 раза выше скорости дуговой сварки под флюсом и в 2 раза выше, чем при сварке лазерной проволокой. Применение технологии лазерной сварки проволокой позволяет достичь зазоров до 0,4 мм при толщине материала до 15 мм. Для оценки максимальной скорости сварки при максимальном значении зазора использовались материалы толщиной 5, 8, 12 и 15 мм. Влияние защитных газов гелия и аргона на технологию гибридной сварки исследовали стандартными методами. Для сварки с использованием мощных лазеров на диоксиде углерода в основном требуется гелиевая фракция защитного газа.

Гибридная лазерная сварка сводит к минимуму недостатки как лазерной, так и дуговой сварки. Чтобы добиться больше преимуществ гибридной лазерной сварки, необходимо правильно подобрать параметры процесса.

Несмотря на очевидные преимущества лазерно-дуговой сварки, этот процесс все еще находится на начальной стадии внедрения в современных областях промышленности. Причины медленных темпов промышленного внедрения – высокая инвестиционная стоимость и сложность процесса, связанная с большим количеством его параметров.

**Сварка сэндвич-панелей.** Особенностью судостроения является использование сэндвич-панелей, которые уменьшают массу конструкций судна. Анализ корпусов современных судов показывает, что плоские панели широко используются в конструкциях платформы, борта, днища и перегородок и составляют от 70–75% до 85–90% корпуса судна [5].

Одним из основных дефектов панельных конструкций являются остаточные напряжения, вызывающие значитель-

ный изгиб. Эти проблемы можно разрешить с помощью лазерной сварки.

Производство металлических сэндвич-панелей с лазерной сваркой выявило потенциал ее применения для создания совершенно новых конструкций. Так, с помощью технологии лазерной сварки производительность изготовления панелей с длиной сварных швов до 16 м увеличивается на 100% за счет значительного увеличения скорости сварки, а также низкого тепловложения и, как следствие, исключения дальнейшей правки. Сравнение дуговой сварки в защитном газе с лазерной сваркой показывает, что в последнем случае можно либо уменьшить толщину панели, либо увеличить расстояние между элементами жесткости без потери устойчивости. При использовании корпусных сэндвич-панелей, помимо снижения веса, упрощается выполнение теплоизоляционных и звукоизоляционных работ.

Интерес представляют проекты модернизации производства компании MV Shipyard, имеющей одни из самых современных лазерно-гибридных сварочных аппаратов. С помощью автоматизированных процессов они производят на сварочных аппаратах большие стальные панели размерами до 25×16 м. Место для односторонней стыковой сварки с лазерно-гибридной сварочной головкой дополнено автоматизированной сборкой профилей с двухсторонней сваркой профилей с помощью гибридной лазерной технологии. Для судостроительной верфи автоматизированная линия сварки тонких панелей является частью реализации широкой концепции цифровизации в рамках перехода к четвертой промышленной революции.

Сэндвич-панели обладают значительными преимуществами по сравнению с обычными конструкциями, среди них – высокая прочность и жесткость, повышенная пожаробезопасность и теплоизоляция, коррозионная стойкость, а также высокая точность, модульная структура и простота сборки. В некоторых случаях вес конструкции может снизиться до 50% [6].

На основании исследований, проведенных в последние годы, можно сделать вывод, что гибридная лазерно-дуговая сварка обеспечивает лучшие условия для формирования шва, регулировки нагрева и добавления материала наполнителя, чем лазерная сварка или дуговая сварка по отдельности [6].

Использование сэндвич-панелей в конструкции судна постепенно меняет судостроительные верфи. Вместо изготовления металлоконструкций все больше выполняется монтажных работ, связанных со сборкой специальных панелей, выпускаемых на узкоспециализированном производстве.

**Лазерная сварка в различных пространственных положениях.** В то время как при предварительной сборке конструкций можно использовать простые кинематические схемы выполнения прямых сварных швов, системы с более управляемой осью необходимы для реализации конструкций сложной геометрии из трехмерных и прямолинейных горизонтальных швов, например, в точках пересечения профиля и балки. Благодаря гибкому наведению луча, твердотельные лазерные волоконно-оптические системы подходят для эффективной интеграции в роботизированные машины.

Авторами [3] разработан роботизированный комплекс оборудования для лазерной резки и сварки конструкций сложной геометрии в различных пространственных положениях. Комплекс основан на модульной системе и выполняет лазерную и гибридную лазерно-дуговую сварку стальных конструкций толщиной до 20 мм и алюминиевых сплавов толщиной до 12 мм. Уникальность станка заключается в использовании лазера LS-25 мощностью 25 кВт, а также оптического 4-канального переключателя, что, в свою очередь, позволяет использовать лазерные оптические головки для сварки и резки на одном станке, благодаря чему значительно сокращается время изготовления сварных конструкций. Применение такого комплекта оборудования в судостроении снижает стоимость изготовления корпуса на 30%, увеличивает производственную мощность на 10% и снижает сварочные деформации на 30% по сравнению с традиционными методами сварки.

Перспективна для использования в судостроении лазерно-гибридная технология компании Fronius. Данная технология обеспечивает оптимальное перекрытие зазоров и легкую подготовку сварного шва, характерную для дуговой сварки, а также низкое тепловое воздействие, глубокое проплавление и скорость лазерной сварки. Благодаря этому можно выполнять соединения различных стальных и алюминиевых деталей с высоким качеством при скорости до 8 м/мин.

Основой гибридной лазерной сварочной системы является компактная гибридная лазерная головка со встроенной сварочной горелкой и лазерной оптикой. Держатель робота соединяет лазерно-гибридную головку со стандартной промышленной роботизированной системой. Это придает головке необходимую гибкость для работы с труднодоступными участками детали. Сварочную проволоку можно размещать в любом положении относительно лазерного луча, что позволяет точно адаптировать процесс к самым разнообразным способам подготовки сварного шва, типам и классам проволоки в зависимости от сварочных задач.

Стоит отметить, что при сварке крупных стальных конструкций самая большая проблема заключается в несоответствии геометрических размеров, вызванных неточностями на предыдущих этапах производства. Эти несоответствия размеров и форм являются решающими факторами, которые часто блокируют и замедляют эффективную роботизированную сварку.

Проблема в том, что несоответствия вызывают колебания поперечного сечения и положения канавки. Модельная конструкция и готовая конструкция имеют большие геометрические отклонения, которые не всегда удается устранить стандартными методами. Для решения этой проблемы на сегодняшний день существуют контролирующие сканеры. Их система сканирует реальную геометрию канавки и передает сварочному роботу ее контуры. Программа учитывает фактически полученную информацию, и таким образом обрабатываемая деталь и ее положение будут соответствовать действительности, что позволит уточнить необходимое количество сварочных материалов и параметры процесса сварки.

**Выводы.** Внедрение комплекса технических решений, прогрессивных способов и новых технических средств выполнения работ, включая резательные, сварочные и сборочные, а также реализация мероприятий по модернизации производств способствуют повышению качества и эффективности корпусостроительного производства.

Применение лазерных технологий при строительстве судов может снизить стоимость изготовления корпуса до 30%, увеличить производственные мощности до 10% и снизить сварочные деформации до 30% по сравнению с методами дуговой сварки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горбач В.Д., Соколов О.Г., Левшаков В.М., Чабан В.Л., Васильев А.А., Игнатов А.Г. Опыт использования лазерных технологий в судостроении // Судостроение. – 2000. – №1.
2. Кривцун И.В. Промышленное применение гибридной лазерно-дуговой сварки // Автоматическая сварка. – 2015. – №7.
3. Левшаков В.М., Стешенкова Н.А., Туричин Г.А., Носырев Н.А. Промышленные лазерные технологии в судостроении. – Лазеры в производстве, 2015.
4. ОСТ5.9092–91. Отраслевой стандарт. Корпуса стальных судов. Основные положения по технологии изготовления.
5. Andritsos F., Perez-Prat J. The Automation and Integration of Production Processes in Shipbuilding. – European Commission, 2000.
6. Kujala P., Kanac A. Steel Sandwich Panels in Marine Applications // Brodogradnja. - 2005. – №4.
7. Weman K. Welding processes handbook. – Woodhead publishing. – 2011.
8. Ha E., Kim W. A study of low power density laser welding process with evolution of free surface // International Journal of Heat and Fluid Flow. – 2005. – №4.
9. Steen W., Mazumder M.J., Watkins K.G. Laser material processing. – 4th ed. – Springer. – 2010.
10. Kah P., Ph Thesis D. Usability of laser-arc hybrid welding processes in industrial applications. – Lappeenranta University of Technology. – 2011.
11. Staufer H.M. Hybrid laser welding in shipbuilding // Welder. – 2011. – №79. ■

**Г**енеральный директор Открытого акционерного общества «Ленинградский судостроительный завод «Пелла» Герберт Робертович Цатуров родился 20 мая 1941 г. в Тбилиси. С 1961 г. по 1968 г. работал на судостроительном заводе им. Серго Орджоникидзе в г. Поти, сперва в должности помощника мастера, затем помощника начальника цеха и начальника бюро. В том же году он переехал в Ленинград и поступил на судостроительную верфь «Пелла» в г. Отрадное Кировского района Ленинградской области, где прошел путь от строителя, заместителя начальника и начальника цеха, начальника планово-производственного отдела, заместителя директора по производству, главного инженера до директора и генерального директора завода. В 1972 г. он поступил в Ленинградский институт водного транспорта, который окончил в 1978 г., получив специальность инженера-механика.

Такие качества Герберта Робертовича, как высокий профессионализм, инициативность позволили ему в сложный период перехода страны к новым экономическим условиям сохранить предприятие и создать условия для его дальнейшего развития. Благодаря грамотному управленческому подходу и современному видению развития предприятие сегодня занимает лидирующее положение в судостроительной отрасли. По государственным оборонным заказам для военно-морского флота Минобороны России судостроительный завод «Пелла» проектирует, строит и вводит в эксплуатацию суда специального назначения, технического флота, а также скоростные служебно-разъездные катера. За свою многолетнюю историю ОАО «Пелла» в совершенстве освоило выпуск высокотехнологичных, многофункциональных буксиров и других судов специального назначения. Линейка продукции, производимой предприятием, расширяется. В настоящее время завод строит также

## Г.Р. ЦАТУРОВУ - 80 ЛЕТ

ОАО «Ленинградский судостроительный завод «Пелла»,  
контакт. тел. (812) 336 4066



ледоколы, морские транспортные и промысловые суда.

За высокие достижения ОАО «Пелла» было неоднократно отмечено различными специальными наградами: Дипломом участника конкурса «Общественное признание» (2001), медалями «Лидер отрасли» (2012, 2013), Памятной медалью Департамента Министерства обороны за выполнение госзаказов (2013).

Г. Р. Цатуров активно поддерживает инициативы Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, являлся инициатором приоритетного инвестиционного проекта создания в Ленинградской области нового высокотехнологичного судостроительного комплекса. Проект был одобрен Наблюдательным советом АНО «Агентство стратегических инициатив» под председательством Президента России В. В. Путина 14 ноября 2013 г. Презентация построенного судостроительного комплекса – компакт-верфи в присутствии Президента состоялась 21 июля 2016 г.

За выдающиеся профессиональные достижения, личный вклад в производственный процесс и решение бизнес-задач, за преданность своему делу Г. Р. Цатурову был вручен сертификат «Руководитель года 2013». Герберт Робертович награжден также серебряной медалью ВДНХ СССР (1983) и орденом «Знак Почёта» (1985). В числе его наград – медали Министерства обороны Российской Федерации «За возвращение Крыма» (2014) и «За укрепление боевого содружества» (2016). Он носит звания «Почетный судостроитель» (2015) и «Почетный гражданин Кировского муниципального района Ленинградской области» (2015). В 2017 г. ему был вручен Памятный знак «90 лет Ленинградской области».

Требовательность к себе и подчиненным Герберт Робертович сочетает с чутким вниманием к людям. Созданная на предприятии служба помощи ветеранам завода оказывает им материальную и моральную поддержку.

Возглавляемый Г. Р. Цатуровым судостроительный завод является градообразующим предприятием в г. Отрадное, благоустройству и развитию которого предприятие по инициативе его генерального директора постоянно оказывает существенную помощь.

**Коллектив ОАО «Пелла» поздравляет Герберта Робертовича с юбилеем и желает ему доброго здоровья, благополучия и успехов в столь непростой деятельности.**

**Редсовет и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают Герберту Робертовичу здоровья и реализации всех намеченных планов на благо отечественного судостроения. ■**



**В**оенно-Морской Флот (ВМФ) России вступил в активную фазу обновления своего боевого состава. Основу его надводных сил в ближайшей и отдаленной перспективах будут составлять многоцелевые корабли классов «корвет» и «фрегат», которые строятся серийно на отечественных верфях, а также малые артиллерийские и малые ракетные корабли. Указанное направление развития флота подтверждается Государственной программой вооружения (ГПВ) 2018–2027 гг., предусматривающей серийное строительство кораблей относительно небольшого водоизмещения, а разработка и строительство кораблей классов «эскадренный миноносец» и «авианосец» переносятся на более отдаленную перспективу.

Смещение акцента в сторону серийного строительства относительно недорогих кораблей для поддержания вымпельного состава флота наблюдается не только в ВМФ РФ, но и в ВМС основных морских государств. Это связано с тенденцией устойчивого роста стоимости морского вооружения и, как следствие, удорожанием тонны водоизмещения кораблей, а также с постепенным сокращением военных бюджетов основных морских держав в связи с уходом в прошлое планов глобальной ракетно-ядерной войны [1].

В свою очередь, опыт применения надводных кораблей в миротворческих операциях ООН в Ливане, операциях по борьбе с пиратством, гуманитарных операциях в Ливии и Тунисе свидетельствует о том, что корабли нового поколения должны проектироваться с учетом их адаптации под решение многих новых задач, ранее им не свойственных [2]. Показательным примером создания перспективных многоцелевых кораблей с учетом решения новых задач является проектирование фрегатов пр. F125 ВМС Германии [3]. Эти корабли создаются с учетом условия длительного нахождения на боевой службе в различных регионах Мирового океана (до двух лет) без захода в свою базу приписки. В связи с этим к системам и механизмам фрегата предъявляются повышенные требования к надежности, живучести, долговечности и ремонтнопригодности. Основной целью разработчиков является ведение коэффициента оперативной готовности до 5000 ч в год (коэффициент оперативного напряжения  $K_{оп} = 0,57$ ) для каждого корабля и обеспечение ресурса главных двигателей до проведения капитального ремонта 30 000 ч. Интервал между доковыми ремонтами определен в пять лет. Предполагаемый срок службы фрегата пр. F125 – 30 лет.

Решение подобного рода задач кораблями относительно небольшого во-

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МНОГОЦЕЛЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

*А.В. Шляхтенко, д-р техн. наук, проф., ген. директор,  
И.Г. Захаров, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора  
по перспективному проектированию,*

*В.В. Барановский, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора  
по энергетическим установкам, судовым системам и устройствам,  
АО «ЦМКБ «Алмаз»,  
контакт. тел. (812) 373 8300, 369 1233*

доизмещения предполагает расширение театра оперативного их использования далеко за пределами прибрежной или даже ближней морской зоны. Появляется серьезная мотивация у конструкторов по приданию многоцелевым кораблям высокой автономности, т. е. увеличению дальности плавания и обеспечению возможности длительного пребывания в районах выполнения задач без необходимости пополнения запасов и восстановления технической готовности в местах базирования, что не может не сказаться на облике энергетической установки.

Еще в середине прошлого века стало понятно, что корабельные паросиловые установки (ПСУ) подошли к максимуму своего эффективного развития, т. е. когда дальнейшее их совершенствование сопровождается ценой значительных затрат при незначительном полученном эффекте. И, несмотря на использование данного типа ЭУ на отдельных, сохраняющихся до сих пор в составе ВМФ кораблях, вряд ли следует ожидать использования ПСУ в перспективе.

Атомные ЭУ в силу высокой стоимости создания, эксплуатации (обеспечение ядерной безопасности и специальных условий базирования) и утилизации, а также значительных габаритов и массы имеют весьма ограниченное распространение на надводных кораблях. В зарубежных ВМС использование атомной ЭУ на надводных кораблях ограничивается только авианосцами ВМС США.

Энергетические установки современных и перспективных многоцелевых надводных кораблей представлены, как правило, дизельными и газотурбинными двигателями, входящими в состав дизель-дизельных или дизель-газотурбинных агрегатов, составляющих основу пропульсивных комплексов кораблей, а также используемых в качестве приводов электрических генераторов. Они не утратили потенциала своего совершенствования и по настоящее время, продолжают активно развиваться и используются на надводных кораблях практически всех классов.

### ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Дизельные двигатели обладают самой высокой топливной экономичностью по сравнению со всеми остальными тепловыми двигателями, в отличие от газотурбинных двигателей их экономичность остается высокой во всем диапазоне нагрузок [4].

На производство корабельных дизелей ориентированы такие мировые производители, как MTU и MAN (Германия), SEMT Pielstick (Франция), Wärtsilä (Финляндия), Sulzer (Швейцария), Mitsubishi (Япония), Caterpillar (США), Paxman-Valenta (Великобритания) и многие другие.

На надводных кораблях в подавляющем большинстве случаев используются высокооборотные ( $1500 \leq n \leq 2500$  об/мин) и среднеоборотные дизели ( $750 \leq n < 1500$  об/мин) с одной или двумя ступенями наддува. На сегодняшний день зарубежными производителями разработаны высокоэффективные корабельные дизели большой агрегатной мощности, позволяющей использовать их не только в качестве вспомогательных двигателей, но и в качестве главных в составе пропульсивной установки.

Так, например, фирмой MTU разработан мощный ряд высокооборотных дизелей (рис. 1). Указанные двигатели имеют удельный расход топлива в пределах 220–225 г/(кВт·ч), частоту вращения соответственно 2450, 1500 и 1300 об/мин, двухступенчатый регулируемый турбонаддув с промежуточным охлаждением воздуха, электронную систему подачи топлива Common Rail. Ресурс до капитального ремонта дизелей MTU ряда составляет не менее 50 000 ч, что свидетельствует о возможности их использования в качестве главных двигателей в составе пропульсивной установки на кораблях от ракетного (артиллерийского) катера (водоизмещением до 500 т) до фрегата включительно (водоизмещением до 8000 т).



Рис. 1. Семейство дизельных двигателей фирмы MTU (Германия)

Мировым лидером по производству корабельных среднеоборотных четырехтактных дизелей является концерн Wärtsilä, производящий двигатели в самом широком диапазоне мощностей. Так, например, четырехтактный дизельный двигатель Wärtsilä 31 (рис. 2), производство которого было недавно налажено финской компанией Wärtsilä Ship Power, попал в Книгу мировых рекордов Гиннеса и удостоился звания самого эффективного дизельного двигателя в мире [5]. Вес двигателя Wärtsilä 31 составляет от 56 до 85 т., длина – от 6 до 9 м при ширине порядка 3,5 м, т.е. двигатель имеет весьма существенные габариты и массу, ограничивающие его широкое использование на кораблях небольшого водоизмещения.

На кораблях классов «эскадренный миноносец» и «авианосец» ограничения по массе и габаритам для двигателей Wärtsilä не столь существенны, о чем свидетельствует опыт применения дизелей указанной фирмы на современных британских эсминцах типа 45 «HMS Daring» (2×Wärtsilä V12 VASA32 (2×2000 кВт)) и авианосцах типа «HMS Queen Elizabeth» (2×Wärtsilä V14 46F 2×9000 кВт и 2×Wärtsilä V16 46F 2×11000 кВт).



Рис. 2. Четырехтактный дизельный двигатель Wärtsilä 31

### ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

К сожалению, российское дизелестроение пока не может демонстрировать аналогичные успехи в силу длительного нахождения отрасли в кризисе. Неблагополучное состояние предприятий стало следствием долговременного развития следующих негативных факторов [6]:

- банкротства и перепрофилирования в процессе приватизации и после нее ряда дизелестроительных предприятий и ведущих организаций отраслевой науки;
- значительной изношенности основных производственных фондов;
- отсутствия прикладных научных исследований и опытно-конструкторских работ, определяющих прогресс в дизелестроении;
- ликвидации (как нерентабельных) опытно-конструкторских подразделений и производств на дизелестроительных заводах и др.

Отечественные дизелестроительные заводы производят дизельные двигатели в ограниченных диапазонах мощности и ориентированы на определенный круг потребителей.

Основными производителями корабельных дизельных двигателей в России являются ПАО «Звезда», ОАО «Коломенский завод» и ООО «Уральский дизель-моторный завод» (УДМЗ).

В стране образовалась свободная ниша на рынке мощных среднеоборотных дизелей для ВМФ, такую продукцию выпускает только ОАО «Коломенский завод», но его приоритетным направлением является выпуск тепловозных дизелей типа Д49. ВМФ в первую очередь требуются высокооборотные дизели агрегатной мощностью в диапазоне 700–6000 кВт и среднеоборотные дизели в качестве главных двигателей агрегатной мощностью от 4500 до 12000 кВт.

В начале 60-х гг. на заводе «Звезда» было освоено серийное производство принципиально новых сверхлегких, мощных звездообразных дизельных двигателей ЧН16/17, не имеющих аналогов в мире. В настоящее время ПАО «Звезда» производит легкие высокооборотные кора-

бельные дизельные двигатели и агрегаты размерности ЧН16/17 и ЧН18/20 в мощностном диапазоне 500–7400 кВт, а также дизель-генераторы на базе дизельных двигателей собственного производства мощностью 315–1000 кВт.

Например, корабельный дизель ЧН16/17 М507А (рис. 3) имеет габаритные размеры 7 × 1,82 × 2,49 м, а его масса составляет 17,1 т. На частоте 2000 об/мин дизель развивает мощность 7350 кВт, при этом удельный расход топлива составляет 226–232 г/(кВт·ч). Удельная масса дизеля является минимальной среди всех возможных отечественных и зарубежных корабельных аналогов и составляет ок. 2,5 кг/кВт.

При относительно минимальных габаритах и массе корабельных дизельных двигателей ПАО «Звезда» их существенными недостатками, по сравнению с зарубежными аналогами, являются крайне низкий ресурс, высокий расход топлива и сложность конструкции, что мешает их широкому внедрению на многоцелевых кораблях ВМФ. Ресурс до переборки современных дизелей этого предприятия не превышает 4000 ч, а ресурс до списания – не более 12000 ч.



Рис. 3. Четырехтактный дизель ПАО «Звезда» М507А

Двигатели ПАО «Звезда» в настоящее время устанавливаются на малых ракетных и артиллерийских кораблях, тральщиках и катерах ВМФ, а также на кораблях и катерах Погранвойск ФСБ России.

АО «Коломенский завод» является разработчиком, изготовителем и поставщиком среднеоборотных дизельных двигателей. Основной его продукцией в последние годы стали четырехтактные среднеоборотные двигатели с га-

зотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха типа Д49 размерности ЧН26/26 (рис. 4). Семейство четырехтактных дизелей типа Д49 модульной конструкции с числом цилиндров от 8 до 20 на заводе разработано в начале 60-х гг. и выпускается до сих пор.



Рис. 4. Четырехтактный дизельный двигатель типа Д49

Для кораблей ВМФ двигатели ЧН26/26 выпускаются в 16-цилиндровом исполнении в двух модификациях: 10Д49 мощностью 3825 кВт при 1000 об/мин (для больших десантных кораблей пр. 11711 и фрегатов пр. 22350) и 16Д49 мощностью 4412 кВт при 1100 об/мин (для корветов пр. 20380 и пр. 20385).

Основные преимущества двигателей производства Коломенского завода – их надежность и высокая ремонтпригодность, которая обусловлена модульным принципом конструкции дизелей, подвесными коленчатым валом и цилиндропоршневым комплектом, что позволяет проводить текущие и капитальные ремонты на месте их установки. Немаловажными преимуществами являются топливная экономичность и меньшая, по сравнению с импортными аналогами, цена как самих двигателей, так и запасных частей, применяемых отечественных масел и оказываемых сервисных услуг.

На ООО «Уральский дизель-моторный завод» (УДМЗ) для ВМФ развернуты работы по производству V-образных дизелей в 6-, 8- и 12-цилиндровом исполнении размерностью 21/21 (ДМ-21), что частично компенсирует отсутствие современного серийного высокооборотного двигателя для ВМФ, способного обеспечить потребные мощности от 500 до 2000 кВт (рис. 5).



Рис. 5. Дизель-генератор АДГ-1600 с дизелем 12ДМ-21

Большой опыт разработки и производства дизельных двигателей позволил заводу в 1990-х гг. взяться за создание автоматизированных дизель-генераторов кораблей и судов с неограниченным районом плавания. Дизель-генераторы производства УДМЗ АДГ-630 с дизелем 6ДМ-21 устанавливаются на современных корветах пр. 20380 и пр. 20385, а АДГ-1000НК с дизелем 8ДМ-21 – на фрегатах пр. 22350 и больших десантных кораблях пр. 11711.

Для придания нового импульса развитию отечественного дизелестроения было принято Распоряжение Правительства РФ от 21 апреля 2011 г. № 710-р, утвердившее концепцию подпрограммы «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 гг. дизельных двигателей и их компонентов нового поколения». Позже было принято Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 336 «О внесении изменений в подпрограмму «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» Федеральной целевой программы (ФЦП) «Национальная технологическая база» на 2007–2011 годы». Основная цель реализации ФЦП – создание типоразмерного ряда дизелей новой размерности, которая продиктована требованиями стратегического развития отраслей экономики России.

К сожалению, ФЦП в области дизелестроения до настоящего времени не реализована. Тем не менее в рамках данной программы на ОАО «Коломенский завод» ведутся опытно-конструкторские работы (ОКР) по созданию дизеля Д500К (рис. 6) новой размерности 26,5/31 (ЧН26,5/31) с цилиндровой мощностью ~ 370 кВт (500 л. с.) при частоте вращения 1000 об/мин.



Рис. 6. Дизельный двигатель ЧН26,5/31 Д500К разработки ОАО «Коломенский завод»

Современный четырехтактный, комбинированный двигатель внутреннего сгорания размерностью 26,5/31 V-образный 12-, 16- и 20-цилиндрового исполнения с газотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха предназначен для широкого ряда промышленных изделий нового поколения, в том числе тепловозов, надвод-

ных кораблей и судов, атомных электростанций.

В зависимости от числа цилиндров двигатели будут охватывать диапазон мощностей от 3500 до 7360 кВт, образующих типоразмерные ряды, в которых объединены унифицированные по конструкции модификации, отличающиеся числом цилиндров, уровнем форсирования, комплектацией и др.

На предприятии также разработали дизели нового поколения Д300 типоразмерного ряда ЧН26/28, которые можно применять для судостроения, локомотивостроения, в атомной и малой энергетике. Типоразмерный ряд двигателей Д300 создан для замены устаревших двигателей типа Д49. В конструкторском облике этого двигателя сохранены лучшие технические решения двигателя Д49.

Использование инновационных технологий, применение новейших разработок в создании двигателей типа Д500 и Д300 позволит удовлетворить современные требования к техническим, экологическим и экономическим показателям.

В рамках ФЦП на ООО «УДМЗ» создается также линейка дизелей ДМ-185 (проект «Энергодизель»). Контракт с Минпромторгом на разработку линейки дизелей мощностью 1000–3000 кВт для различных отраслей был подписан в 2012 г. В эту работу также инвестировал собственные средства машиностроительный холдинг «Синара-Транспортные Машины», куда входит УДМЗ.

Осознание острой потребности в отечественных высокооборотных корабельных дизельных двигателях, по характеристикам не уступающим лучшим зарубежным аналогам, в АО «ЦМКБ «Алмаз» были разработаны и выданы ООО «УДМЗ» технические задания в рамках составной части опытно-конструкторских работ (СЧ ОКР) по созданию автоматизированных дизель-генераторов АДГ-800 (800 кВт) и АДГ-1600 (1600 кВт) на основе дизелей серии ДМ-185, в счет строительной стоимости корвета пр. 20386.

После успешной разработки и проведения испытаний перспективные двигатели серии ДМ-185 (рис. 7) смогут покрывать мощностной диапазон в пределах 700–4800 кВт.



Рис. 7. Дизельный двигатель нового поколения ДМ-185 разработки ООО «УДМЗ»

Основным их предназначением станет замена относительно устаревших и менее надежных дизелей серии ДМ-21, а также использование в пропульсивных комплексах и в составе автоматизированных дизель-генераторов перспективных кораблей. Для реализации указанных целей на УДМЗ 12 июля 2018 г. был запущен сборочный цех и комплекс по выпуску высокооборотных дизелей нового поколения.

Ожидается, что такие двигатели не только не будут уступать ведущим мировым аналогам, но по ряду параметров будут иметь лучшие показатели, чем прямые аналоги иностранных конкурентов. Двигателями серии ДМ-185 можно будет оснащать надводные корабли классов «корвет», «фрегат», а также дизель-электрические и атомные подводные лодки. Ресурс двигателя рассчитан на 70 000 часов без капитального ремонта.

В рамках реализации проекта на УДМЗ планируется создание полноценного семейства высокооборотных дизельных двигателей как в V-образном, так и в рядном исполнении, в частности: L6, L8, V12, V16, V20. Важно отметить, что в цехах предприятия установлено новейшее технологическое оборудование.

После организации опытного производства, начала и завершения испытаний опытных образцов завод сможет выйти на плановые мощности – 300 двигателей в год в ближайшей перспективе, а в среднесрочной перспективе ежегодно выпускать 500 моторов с учетом модернизации дизеля и форсировки по мощности до 6000 кВт.

После реализации проектов по разработке двигателей серий Д500 К (ОАО «Коломенский завод») и ДМ-185 (ООО «УДМЗ») Россия сможет приблизиться к лучшим мировым аналогам зарубежных высокооборотных и среднеоборотных корабельных дизелей.

## ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Создание корабельных газотурбинных установок началось в 20-х гг. XX в., использование на кораблях – с 50-х гг., а совершенствование продолжается и по настоящее время [3].

Быстрому внедрению газотурбинных двигателей (ГТД) на надводных кораблях способствовали их неоспоримые преимущества перед другими тепловыми двигателями, такие как:

- большая мощность в одном агрегате;
- компактность, малая масса (рис. 8);
- уравновешенность движущихся элементов;
- легкий и быстрый запуск, в том числе при низких температурах;
- хорошие тяговые характеристики;

- высокая приемистость и хорошая управляемость.



Рис. 8. Соотношение габаритов дизельного и газотурбинного двигателя одинаковой мощности

Основным недостатком морских ГТД первого и второго поколений была относительно низкая экономичность. Однако по мере их развития и совершенствования от поколения к поколению эта проблема достаточно быстро преодолевалась, чему способствовало опережающее развитие технологически близких авиационных ГТД и перенос передовых технологий в морские двигатели. Следует отметить, что и в настоящее время морские ГТД простого открытого цикла 4-го и даже 5-го поколений уступают по экономичности современным дизельным двигателям, в особенности на частичных нагрузках (менее 70% от номинальной).

Мировыми зарубежными лидерами в области производства корабельных ГТД являются компании General Electric (GE, США) и Rolls-Royce (RR, Великобритания).

Самым популярным морским ГТД, используемым на кораблях ВМС 24 стран мира, является двигатель GE LM2500 агрегатной мощностью 18,4 МВт и КПД – 35,4%, разработанный в 1969 г. Первыми боевыми кораблями, на которых стал устанавливаться данный двигатель, были эсминцы серии «Spruance», строившиеся для ВМС США в период с 1972 по 1983 г.

ГТД GE LM2500 представляет собой двухвальный двигатель простого открытого цикла, разработанный на базе авиационных двигателей GE TF39 и CF6–6. Данная модель является самой «опытной» высокоэффективной газовой турбиной в диапазоне мощности от 22 до 33 МВт. В настоящее время компанией GE отгружено около 2100 единиц ГТД, находящихся в разных точках мира. Газовая турбина LM2500 – одна из самых продаваемых уже более чем 40 лет и поддерживает репутацию самого надежного ГТД в своем классе. Семейство ГТД LM2500 продолжает развиваться (рис. 9).

Так, в период с 1991 по 1995 г. двигатель был доработан до модели GE LM2500+ мощностью 29 МВт и КПД 37,2%, а к 2005 г. – до модели GE LM2500+G4 мощностью 35,32 МВт и КПД 37,2%.

Газотурбинными двигателями семейства GE LM2500 оснащаются зарубежные корабли самого широкого спектра классов, в частности:

- фрегаты серии «Oliver Hazard Perry» (находились на вооружении 8 государств) и серии FREMM (ВМС Франции и Италии);
- эскадренные миноносцы серий «Spruance» (выведены из состава ВМС США), «Kidd» (выведены из состава ВМС США и проданы Тайваню), «Arleigh Burk» (ВМС США), а также серии «Kongo» и «Atago» (ВМС Японии);
- ракетные крейсера серии «Ticonderoga» (ВМС США);
- авианосцы «Cavour» (ВМС Италии) и «Principe de Asturias» (ВМС Испании) и др.

Анализируя развитие корабельных ГТД за рубежом, нельзя не упомянуть о разработке компанией Rolls-Royce двигателей типа WR-21 и MT30, которые следует соотносить к ГТД 5-го поколения.

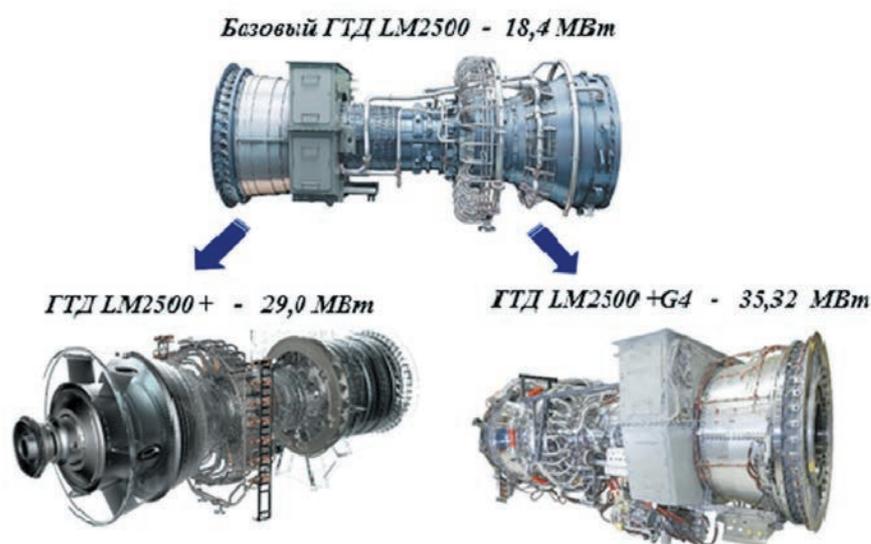


Рис. 9. Развитие семейства корабельных ГТД GE LM2500

Двигатель WR-21 (рис. 10) был разработан и произведен международным консорциумом, запущенным Northrop Grumman.



Рис. 10. ГТД WR-21 сложного цикла фирмы Rolls-Royce

Контракт на создание ГТД WR-21 был заключен в декабре 1991 г. с группой, возглавляемой фирмой Westinghouse. В эту группу входили: Westinghouse Marine Division – генеральный подрядчик и создатель агрегата, Rolls-Royce – проектирование ГТД и проведение ОКР, Allied-Signal – разработчик регенератора и охладителя, CAE Electronics – разработчик системы управления.

К 2004 г. были завершены разработка и испытания двигателя. Временные затраты на его создание составили порядка 15 лет, а финансовые – более 2,0 млрд. долл., что свидетельствует о сложности и трудоёмкости проведенных работ. На сегодняшний день этот двигатель используется в составе ЭУ британских эсминцев пр. 45 серии «Daring» (в ВМС – 6 единиц).

ГТД WR-21 работает по сложному циклу с промежуточным охлаждением рабочего тела и регенерацией тепла уходящих газов (рис. 11) и обеспечивает порядка 30% экономии топлива на корабле по сравнению с ГТД простого открытого цикла. КПД двигателя продолжает оставаться высоким даже при существенном снижении нагрузки [7].

Такая экономичность обеспечивается поддержанием постоянной температуры рабочего тела перед рекуператором (регенератором) при снижении мощности ГТД за счет прикрытия соплового аппарата свободной силовой турбины. Промежуточный охладитель выполнен в виде компактного воздушно-жидкостного теплообменника, расположенного по периметру между компрессорами высокого и низкого давлений вокруг двигателя (см. рис. 11).

Так, на нагрузке ГТД порядка 30% КПД ГТД WR-21 составляет около 43%, что сопоставимо с дизельными двигателями, имеющими самую высокую термодинамическую эффективность [7–9].

Невзирая на колоссальные преимущества ГТД WR-21 в плане топливной экономичности по сравнению с ГТД простого открытого цикла, зарубежный опыт эксплуатации ЭМ УРО пр. 45 типа «Daring» при плавании кораблей в тропических условиях в Персидском заливе показал низкую надежность из-за выхода из строя регенераторов.

В настоящее время командование британских ВМС планирует модернизировать ЭУ эсминцев пр. 45 путем установки дополнительного дизель-генератора фирмы Wärtsilä мощностью ок.6,0 МВт с целью обеспечения воз-

можности плавания эсминцев в тропиках маршевыми ходами.

Вторым зарубежным корабельным ГТД 5-го поколения считается самый мощный корабельный двигатель типа MT30 корпорации Rolls-Royce, агрегатной мощностью 36 МВт и КПД более 40%, находящий широкое применение на кораблях новых проектов ВМС Великобритании, США, Японии, Южной Кореи и Италии.

ГТД простого открытого цикла MT30 представляет собой морской вариант авиационного двигателя Trent 800 фирмы Rolls-Royce (рис. 12), разработанный для применения на боевых кораблях и торговых судах, где требуется высокая энергетическая плотность при компоновке с минимальными массогабаритными характеристиками стандартного промышленного двигателя мощностью не менее 25 МВт.

Компания Rolls-Royce начала разработку ГТД MT30 на инициативной основе в 2000 г., а производство и поставка нового двигателя начались с 2005 г., что свидетельствует о сжатых сроках проведения комплекса работ: НИР, ОКР, испытания, серийное производство. Финансовые затраты также составили существенно меньшую величину по сравнению с затратами на создание ГТД типа WR-21.

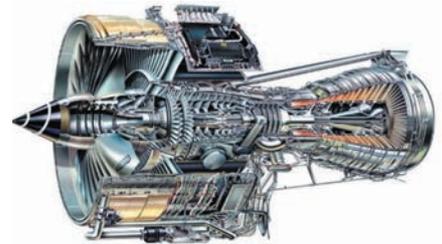


Рис. 12. Морской ГТД MT30 и авиационный ГТД Trent 800

ГТД MT30 имеет габариты 8,6 × 3,95 × 4,14 м, массу – 6,2 т (масса установки вместе с фундаментом и газоходами – 24 т), его КПД на полной нагрузке составляет 40,7% при удельном расходе топлива – 0,207 кг/(кВт·ч).

Корабельные газотурбинные двигатели серии MT30 являются самыми мощными в мире, их отличают эффективность и надежность при лучшем соотношении мощности и массы. Данные



Рис. 11. Особенности конструктивного исполнения ГТД WR-21 сложного цикла компании Rolls-Royce

двигатели используются на таких боевых кораблях, как авианосцы британского флота HMS «Queen Elizabeth» и HMS «Prince of Wales», а также перспективные фрегаты серии 26 (Global Combat Ship), корабли береговой обороны ВМС США класса LCS (Littoral Combat Ship) «Freedom» и эсминцы DDG-1000 «Zumwalt», фрегаты ВМС Южной Кореи класса Daegu, новый многоцелевой универсальный десантный корабль ВМС Италии «Trieste», фрегаты серии 30FFM «Kumano» морских сил самообороны Японии.

### ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

После 1990 г. и по настоящее время, когда ведущие мировые энергомашиностроительные корпорации достигли серьезных успехов в развитии и совершенствовании корабельных ГТД, в России решалась задача освоения и локализации производства морских ГТД на отечественных предприятиях после потери базы газотурбостроения СПБ «Машпроект» и ПО «Зоря» в г. Николаеве (Украина) в связи с распадом СССР. Этот сложный процесс растянулся на период более 20 лет.

Отечественным энергомашиностроительным предприятием ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск) на базе унифицированного газогенератора ГТД-4 РМ (Е70/8 РД) была завершена разработка корабельных ГТД 4-го поколения типа М75РУ (ГСИ 2006 г.) и М70ФРУ (ГСИ 2008 г.), мощностью соответственно 5000 и 10 000 кВт (рис. 13). К 2018 г. также была завершена локализация производства ГТД М90ФР мощностью 20 000 кВт (рис. 14), который до этого времени создавался совместными усилиями между предприятиями России и Украины, соответственно на ПАО «ОДК-Сатурн» и ГП НПКГ «Зоря-Машпроект».

Локализация производства указанных двигателей на отечественном предприятии ознаменовала собой своеобразный этап освобождения отечественного ВМФ от иностранной зависимости, связанной с поставками ГТД и их комплектующих для надводных кораблей.

Развитие корабельных ГТД с начала их использования на кораблях от поколения к поколению осуществлялось в соответствии с ужесточением требований к силовой установке и обеспечивалось повышением параметров рабочего процесса, применением новых материалов, перспективных технологий и новых технических решений.

С учетом наличия в ВМС передовых морских держав ГТД, которые могут быть отнесены к двигателям 5-го поколения, проблема целесообразности их



Рис. 13. Семейство корабельных ГТД разработки ПАО «ОДК-Сатурн»

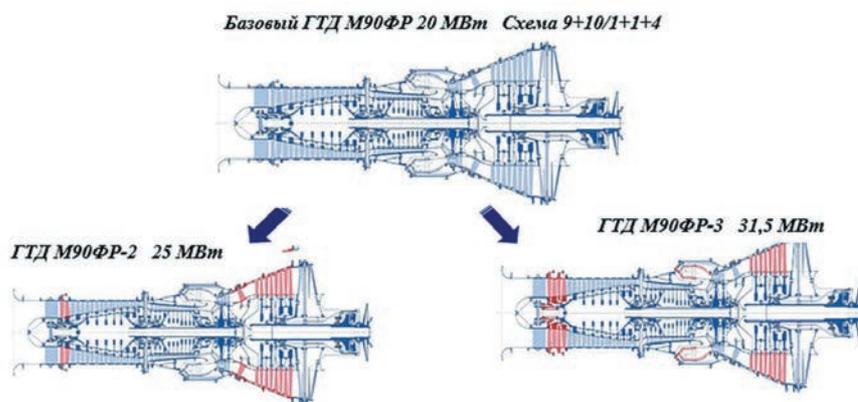


Рис. 14. Варианты совершенствования базового ГТД М90ФР

разработки для ВМФ РФ, как никогда, актуальна. К такой проблеме с пониманием подходят инженеры ПАО «ОДК-Сатурн», где ведутся работы по формированию научно-технического задела, необходимого для создания перспективных морских ГТД.

Совместно с отраслевыми институтами, в том числе ЦИАМ им. Баранова и «Крыловским государственным научным центром», выполнен ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по формированию облика морских газотурбинных двигателей 5-го поколения. По итогам этих работ выполнено предварительное проектирование в рамках НИР, разработано техническое задание и соответствующие предложения для федеральной целевой программы [10], а также в рамках ОКР «Динамика» разработана Программа создания морских ГТД.

ПАО «ОДК-Сатурн» рассматривает несколько вариантов разработки перспективного двигателя, один из них – развитие семейства морских ГТД на базе ГТД М90ФР или М70ФРУ по аналогии с развитием корабель-

ного ГТД компании General Electric LM2500 [11, 12]. Так, путем добавления одной или двух нулевых ступеней компрессора низкого давления к базовому ГТД М90ФР и форсированием параметров рабочего тела можно создать линейку ГТД мощностью соответственно 25 и 31,5 МВт (до 34 МВт включительно) (см. рис. 14). Характеристики различных вариантов модернизации базового ГТД М90ФР представлены в [11, 12, табл. 1].

Существует еще одна, принципиально новая, концепция создания перспективного двигателя, также анонсированная ПАО «ОДК-Сатурн» [11, 12], ознаменованная как разработка перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью до 35 МВт (рис. 15). При ее реализации используются отдельные отработанные технологии по двигателю М70ФРУ, изделию 30 (авиационный двигатель для самолета 5-го поколения СУ-57) и ГТД-110 М.

Из анализа характеристик двигателя следует, что он не будет уступать разработанным зарубежным аналогам по агрегатной мощности и по КПД.

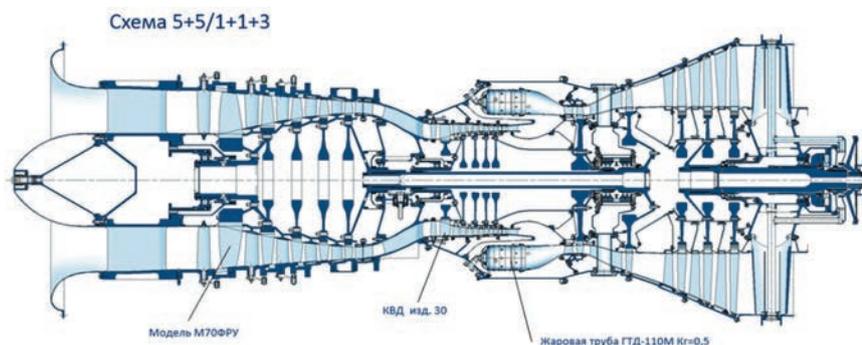


Рис. 15. Разрез перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35 (проект ПАО «ОДК-Сатурн»)

Масса перспективного двигателя, без рамы и газоотвода, должна составить ок. 6,4 т, что практически в два раза меньше массы базового ГТД М90ФР (ок. 11,6 т).

Существенное снижение массы перспективного ГТД происходит за счет уменьшения числа ступеней КНД и КВД практически в два раза по сравнению с базовым двигателем, а также числа ступеней силовой турбины (схема двигателя 5+5/1+1+3), при улучшении его теплофизических характеристик. Габариты двигателя по сравнению с ГТД М90 ФР также снижены ( $L = 4040$  мм,  $D_{вх} = 1054$  мм,  $D_{ис} = 1947$  мм,  $D_{ст} = 1676$  мм).

Для разработки и создания такого двигателя одновременно с желанием ПАО «ОДК-Сатурн» и готовностью Минпромторга РФ финансировать проект в рамках реализации федеральной целевой программы необходимо консолидировать усилия многих организаций в области корабельной энергетики в понимании необходимости его разработки, в частности: НИИ КиВ ВУНЦ ВМФ «ВМА», Главного штаба ВМФ и разработчиков боевых кораблей – проектно-конструкторских бюро.

В заключение настоящего обзора следует отметить, что ведущими зарубежными корпорациями разработаны эффективные корабельные высокооборотные и среднеоборотные дизельные двигатели высокой агрегатной мощности и моторесурса, что позволяет использовать их в качестве главных двигателей в составе пропульсивных установок и приводов генераторов многоцелевых надводных кораблей.

Для ВМФ РФ компаниями АО «Коломенский завод» и ООО «УДМЗ» ведутся опытно-конструкторские работы по созданию дизельных двигателей, по характеристикам не уступающим зарубежным аналогам.

Основной тенденцией в развитии корабельных газотурбинных двигателей является увеличение их агрегатной мощности путем форсирования разработанных и хорошо зарекомендовавших в эксплуатации двигателей либо путем их конвертации из мощных, хорошо себя зарекомендовавших в эксплуатации авиационных двигателей.

В ПАО «ОДК-Сатурн» имеется научно-технический и производственный задел для форсирования разработки базового двигателя М90ФР мощностью соответственно 25 и 34 МВт или перспективного ГТД 5-го поколения мощностью 35 МВт и КПД более 40%, что позволит таким двигателям по характеристикам соответствовать уровню развития лучших мировых аналогов GE LM2500+G4 или RR MT30.

Для разработки и создания перспективных отечественных тепловых двигателей, по своим характеристикам не уступающих лучшим мировым аналогам, необходима консолидация усилий ведущих проектно-конструкторских бюро, научно-исследовательских организаций, таких как НИИ КиВ ВУНЦ ВМФ «ВМА», Управления кораблестроения ВМФ, Крыловского государственного научного центра и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров И. Г., Шляхтенко А. В. Корветы: концептуальное проектирование. – СПб.: ООО «Береста», 2012. – 228 с.
2. Шляхтенко А. В., Захаров И. Г. Тенденции развития многоцелевых кораблей океанской зоны // Национальная оборона. 2019. – № 7. – С. 86–90.
3. Захаров И. Г., Арефьев Я. Д., Воронович Н. А. Научные проблемы корабельной энергетики. РАН. – Российская наука Военно-Морскому Флоту. – М., 1997, с. 210–254.
4. Хализов А. Перспективный фрегат проекта F-125 ВМС Германии // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5. – С. 67–74.
5. Интернет ресурс: <https://www.wartsila.com/rus/home/02-06-2015-new-wartsila-31-engine-achieves-guinness-world-records-title-ru>.
6. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 336 «О внесении изменений в подпрограмму «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» Федеральной целевой программы «Национальная технологическая база» на 2007 – 2011 годы».
7. Commander Colin R English Royal Navy. The WR-21 Intercooled Recuperated Gas Turbine Engine – Integration Into Future Warships. – Proceedings of the International Gas Turbine Congress, 2003, Tokyo, November 2–7.
8. Шинкоренко Д. Перспективы развития энергетических установок надводных кораблей ВМС зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – № 1. – С. 54–61; № 3. – С. 58–61.
9. Шинкоренко Д. Разработка новых энергетических установок за рубежом – шаг к кораблям нового поколения // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 11. – С. 62–70.
10. ОДК формирует научно-технический задел для создания морских двигателей 5-го поколения. – Интернет ресурс: <https://www.aviaport.ru/digest/2018/03/01/529125.html>.
11. Чушин П. В. Российский газотурбинный двигатель М90 ФР. – Доклад на секции НТО им. А. Н. Крылова, СПб., 21.03.2018 г.
12. Чушин П. В. Результаты работы по импортозамещению украинских морских ГТД. – Доклад на межотраслевой науч.-практ. конфер. «ВОКОР-2018», ВУНЦ ВМФ «НИИ КиВ», СПб., 2018. ■

Начало XXI в. характеризуется интенсивным изменением военного кораблестроения, облика надводных кораблей, расширяется спектр решаемых ими задач, приоритетное развитие получают ракетные системы с унифицированными вертикальными пусковыми установками, существенный скачок происходит в развитии радиоэлектронного вооружения и средств радиоэлектронной борьбы. По мере эволюционного развития оружия и вооружения кораблей происходит совершенствование и развитие корабельных тепловых двигателей и энергетических установок (ЭУ), созданных на их основе. Конструкторы переосмысливают идеологию обоснования облика ЭУ (т.е. типа, состава и схемного исполнения) и архитектуры ее комплектования при размещении внутри корпуса корабля.

Направленность развития корабельных ЭУ, в первую очередь, предопределяют достигнутый уровень совершенства корабельных тепловых двигателей, их термодинамической эффективности, агрегатной мощности, надежности и степени автоматизации [1]. Однако, как показывает многолетний опыт, этот уровень определяется не только характеристиками используемых тепловых двигателей, но и схемного исполнения ЭУ. В данном случае подразумевается рациональное сочетание количества используемых в составе ЭУ главных двигателей (как правило, газотурбинных и дизельных), их агрегатной мощности, способов передачи крутящего момента на винт (механический или электрический), а также способов обеспечения работоспособности главных двигателей в составе одного агрегата (совместная или раздельная работа). Все перечисленное выше определяет архитектуру комплектования ЭУ, или ее облик.

Анализируя тенденции развития ЭУ многоцелевых кораблей в последние десятилетия, можно утверждать, что их совершенствование направлено на удовлетворение ужесточающихся от поколения к поколению тактико-технических требований к кораблям. Так, например, при неснижающихся требованиях к маневренности и скорости полного хода ужесточаются требования к дальности плавания и автономности кораблей. Для современных кораблей класса фрегат или эскадренный миноносец дальность плавания должна составлять не менее 7000 миль, хотя в недавнем прошлом она не превышала 5000 миль.

## ОБОСНОВАНИЕ НАИБОЛЕЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ГЛАВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК МНОГОЦЕЛЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

**П.Г. Печковский**, канд. техн. наук, начальник управления Департамента Министерства обороны РФ по обеспечению госзаказа, контакт. тел. +7 (916) 029 0096

Перспективные многоцелевые корабли проектируют, исходя из условия длительного нахождения на боевой службе в различных регионах Мирового океана (до двух лет) без захода в свою базу приписки [2]. В связи с этим к надежности, живучести, долговечности и ремонтпригодности систем и механизмов ЭУ предъявляются повышенные требования. Проектанты одной из основных целей ставят доведение коэффициента оперативной готовности до 5000 часов в год (коэффициент оперативного напряжения  $K_{оп} = 5000/8760 = 0,57$ ) и обеспечение ресурса главных двигателей до проведения капитального ремонта в 30 000 часов. Интервал между доковыми ремонтами определен в пять лет [4]. Весьма серьезно ужесточились требования к акустической скрытности кораблей и плавности изменения хода при выполнении поисковых задач с буксируемой ГАС.

Однако одним из основных требований при развитии и совершенствовании ЭУ остается минимизация расхода топлива кораблем в широком диапазоне ходовых режимов. Реализация указанного требования представляет собой сложную оптимизационную задачу при формировании облика ЭУ перспективного корабля.

Эта сложность особенно проявляется при использовании в составе главной энергетической установки (ГЭУ) газо-газотурбинной установки, т.е. когда в качестве главных двигателей ГЭУ используются исключительно газотурбинные двигатели (ГТД).

Сложность оптимизации режимов использования ГТД в составе пропульсивного комплекса корабля в обеспечение высокой топливной экономичности обусловлена особенностями изменения удельного расхода топлива ГТД в зависимости от нагрузки [3, 4].

Рассмотрим это на примере ГТД М90ФР производства ПАО «ОДК-Сатурн», кривая изменения удельного расхода топлива которого представлена на рис. 1. Из анализа рисун-

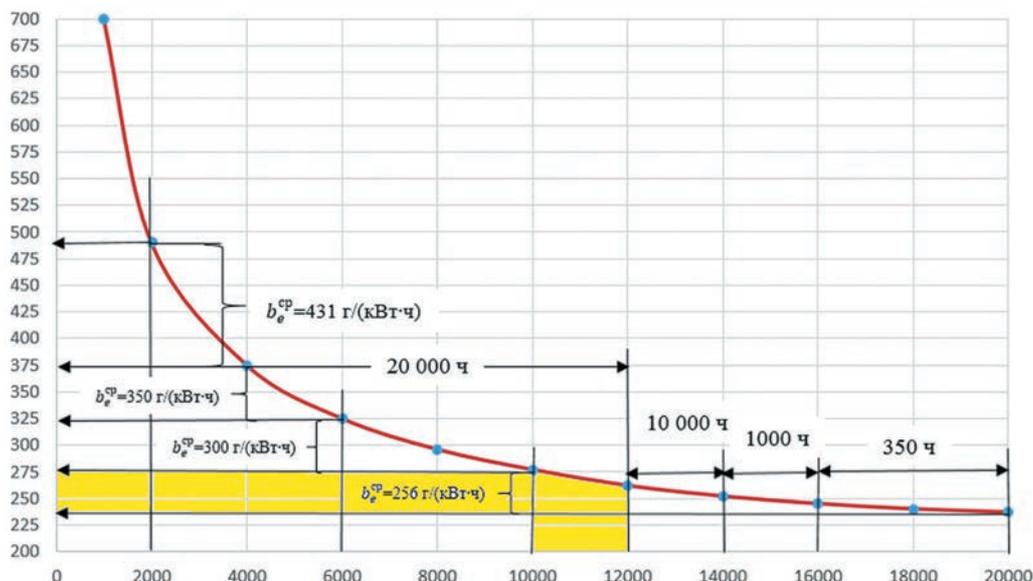


Рис. 1. Изменение удельного расхода топлива ГТД М90ФР в зависимости от нагрузки

ка следует, что наименьший расход топлива ГТД М90ФР – 243 г/(кВт·ч) наблюдается на номинальном режиме [3, 4]. Однако этот режим использования двигателя существенно ограничен ускоренным истощением ресурса. Так, при работе ГТД на нагрузке в диапазоне от 80 до 100% от номинальной (16,0 – 20,0 МВт) и заявленном производителем ресурсе двигателя до капитального ремонта в 20 000 часов истощение его полного ресурса произойдет всего через 350 часов (см. рис. 1) [5]. При работе ГТД на нагрузке в диапазоне от 70 до 80% от номинальной (14,0 – 16,0 МВт) полное израсходование ресурса произойдет через 1000 часов, а при работе с нагрузкой в диапазоне от 60 до 70% от номинальной (12,0 – 14,0 МВт) – через 10 000 часов [5]. Таким образом, заявленный ресурс до капитального ремонта в 20 000 часов обеспечивается на нагрузках менее 60% от номинальной, т.е.  $\leq 12,0$  МВт [5].

Указанная зависимость скорости истощения ресурса ГТД от нагрузки двигателя может поставить под сомнение возможность обеспечения скорости полного хода, зафиксированного в ТТЗ. По крайней мере, продолжительность таких режимов должна специально оговариваться.

В плане оптимизации режимов использования ГТД в обеспечение минимального расхода топлива наблюдается серьезное противоречие, выражающееся в том, что режимы работы ГТД с относительно высокой экономичностью (на нагрузках более 60% от номинальной) существенно ограничены ускоренным истощением ресурса. Режимы работы ГТД с приемлемой экономичностью (при  $b_e \approx 255 \div 275$  г/(кВт·ч), где нет ограничений по ускоренному истощению ресурса, также ограничены узкой полосой в диапазоне нагрузок 10 000 – 12 000 кВт (см. рис. 1). Все режимы работы ГТД на нагрузках менее 50% от номинальной сопровождаются повышением удельного расхода топлива, который стремительно увеличивается по мере снижения нагрузки.

Таким образом, конструкторам при формировании облика ГЭУ перспективного корабля с газо-газотурбинной установкой и оптимизации режимов использования ГТД с целью разрешения противоречия, связанного с обеспечением регламентированного ресурса двигателей и минимизацией расхода топлива в широком диапазоне ходовых режимов, необходимо «уложиться» в узкий диапазон нагрузок использования двигателей – в 50 – 60% от номинальной, что практически невозможно.

Данное утверждение поясним учебным примером формирования облика ГЭУ перспективного эскадренного миноносца водоизмещением около 10 000 т, приблизительный вид буксировочной кривой которого представлен на рис. 2.

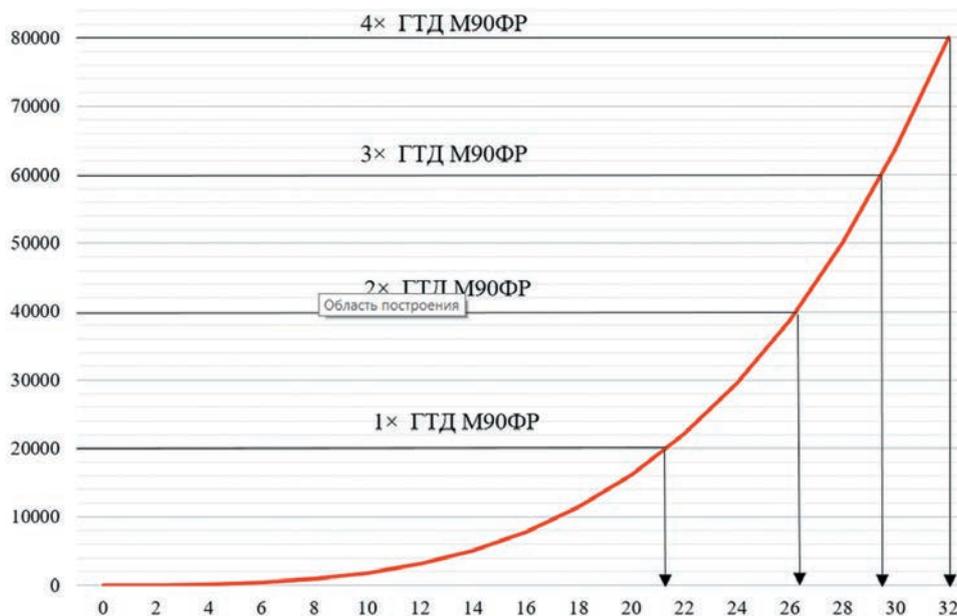


Рис. 2. Приблизительный вид буксировочной кривой перспективного эскадренного миноносца водоизмещением 10 000 т

Конструкторам необходимо, исходя из имеющегося в распоряжении типомощностного ряда корабельных двигателей и агрегатов, созданных на их основе, сформировать ГЭУ таким образом, чтобы обеспечить кораблю скорость полного хода не менее 32 уз, а также высокую топливную экономичность в широком диапазоне ходовых режимов корабля, в особенности режимах поиска подводной лодки с буксируемой ГАС (8 – 12 уз).

Самым простым способом реализации такого замысла является использование двухвальной ГЭУ в виде «спарки» двух ГТД М90ФР в одном агрегате (рис. 3).

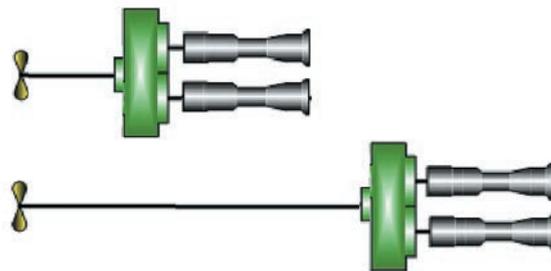


Рис. 3. Структурная схема ГЭУ эсминца («спарка» двух ГТД М90ФР)

Использование двух агрегатов в виде «спарки» двух ГТД М90ФР, как следует из анализа рис. 2, обеспечит скорость полного хода в 32 уз при работе четырех ГТД, при работе любого сочетания трех ГТД будет обеспечена скорость хода порядка 29 уз, при работе двух ГТД (по одному ГТД в эшелоне) – скорость хода не менее 26 уз и при работе одного из четырех ГТД будет обеспечена скорость хода не менее 21 уз.

Поскольку в состав ГЭУ корабля включаются четыре ГТД М90ФР, при разработке совмещенных графиков изменения удельных расходов топлива по аналогии с представленным на рис. 1 необходимо учитывать возможность их совместной, т.е. параллельной, работы. В этом случае кривая удельных расходов топлива растягивается по оси абсцисс, или по длине, пропорционально суммарной мощности параллельно работающим двигателям.

Ниже, на рис. 4, представлены кривые изменения удельного расхода топлива для различного состава работающих ГТД М90ФР перспективного эскадренного миноносца.

Из анализа информации, представленной на рис. 4, следует, что обеспечение приемлемых значений удельного расхода топлива [не более 275 г/(кВт·ч)] при использовании двухвальной ГЭУ в виде «спарки» двух ГТД М90ФР в каждом эшелоне возможно путем сочетания различного состава од-

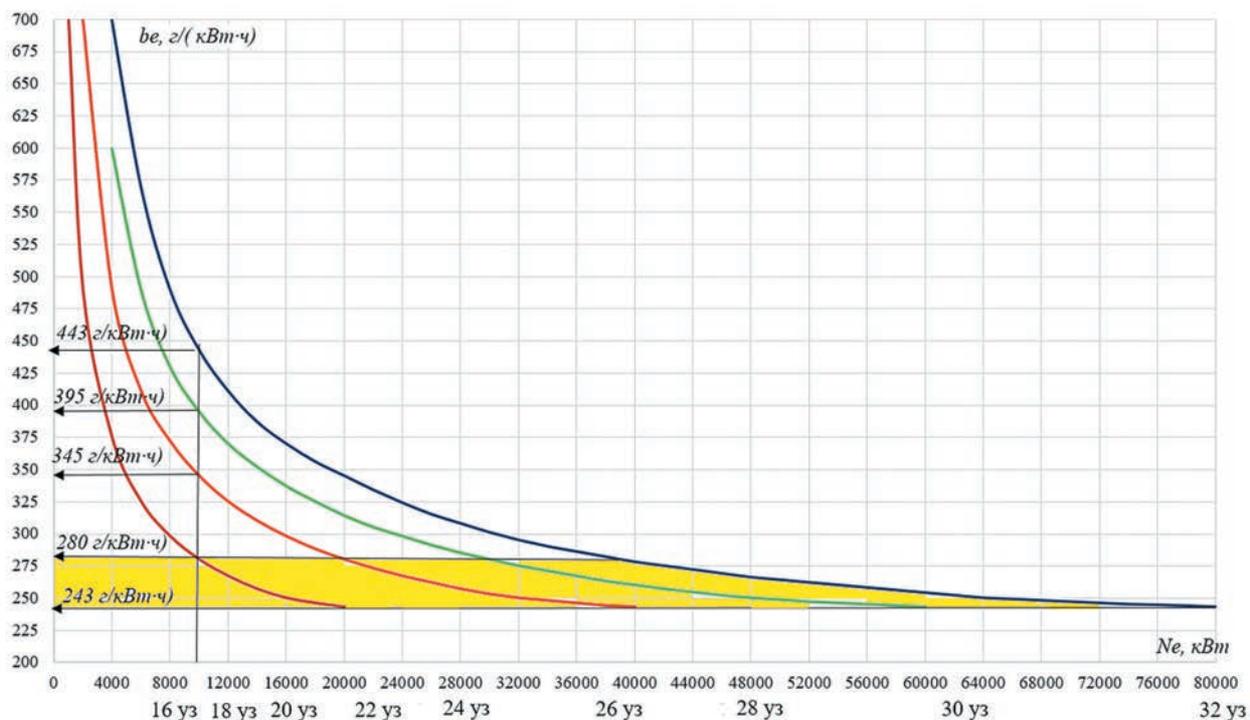


Рис. 4. Изменение удельного расхода топлива различным составом работающих ГТД М90ФР эсминца водоизмещением примерно 10 000 т

— 1 ГТД М90ФР; — 2 ГТД М90ФР; — 3 ГТД М90ФР; — 4 ГТД М90ФР

новременно работающих двигателей на скоростях хода лишь от 17 уз и более.

На скоростях хода менее 17 уз, доля миссий которых составляет не менее 60% общего ходового времени, экономичность стремительно снижается в связи с увеличением удельного расхода топлива выше 300 г/(кВт·ч) и более, что для современных боевых кораблей недопустимо в принципе. Для сравнения, удельный расход топлива современных корабельных высокооборотных и среднеоборотных дизельных двигателей при самом худшем режиме работы не превышают 230 г/(кВт·ч).

Как вариант улучшения экономичности возможно включение в состав ГЭУ перспективного эсминца дополнительных маршевых двигателей меньшей мощности – М70ФРУ (рис. 5), а в качестве форсажных использовать те же ГТД М90ФР, по аналогии с газотурбинными агрегатами типа М5 (БПК пр. 1134Б) или М21 (РКР пр. 1164).

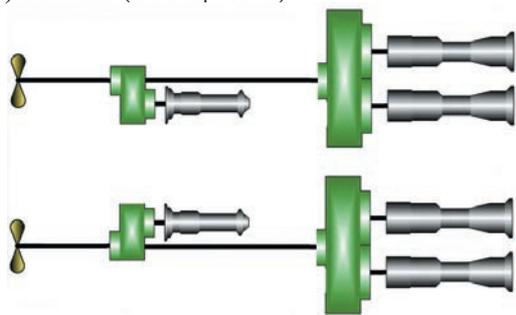


Рис. 5. Структурная схема ГЭУ эсминца (по аналогии с агрегатом М5 БПК пр.1134Б)

Такое решение за счет включения в структурную схему ГЭУ двух маршевых ГТД расширяет диапазон приемлемой экономичности корабля на скоростях хода от 14 уз и более (рис. 6) за счет работы одного маршевого двигателя М70ФРУ. Однако оно не исключает проблему полностью, так как поисковые режимы с буксируемой ГАС на скоростях хода 8 – 12 уз все равно не входят в диапазон экономичной работы ГЭУ.

Кроме того, использование агрегатов, включающих шесть ГТД и четыре редуктора, значительно усложняет структурную схему ГЭУ и удорожает установку не менее чем на 1,5 млрд.

руб. Кроме того, выработка ресурса четырех форсажных ГТД М90ФР при данном схемном исполнении будет весьма незначительной, даже при высоких значениях коэффициента оперативного напряжения ( $K_{оп} \geq 0,5$ ), и составит не более 10% от назначенного ресурса ГТД до капитального ремонта. Это связано с тем, что основная доля миссий корабля – не менее 75% от общего ходового времени на скоростях хода до 21 уз включительно – будет обеспечиваться работой маршевых ГТД М70ФРУ и лишь в 25 % общего ходового времени в работу будут включаться форсажные двигатели, причем не все, а лишь в различном сочетании в соответствии с потребной скоростью хода корабля.

Следующим альтернативным вариантом может быть рассмотрена схема ГЭУ (рис. 7) по аналогии с агрегатами М7 (СКР пр. 1135) или М9 (БПК пр. 1155), включающая два маршевых ГТД М70ФРУ с межредукторной перекидкой (МРП) и два форсажных ГТД М90ФР.

Суммарная мощность совместно работающих маршевых и форсажных ГТД при таком схемном исполнении ГЭУ составит 60 000 кВт, что позволит кораблю развивать скорость полного хода не более 29,5 уз (см. рис. 2). Недостатком данного схемного исполнения является невозможность достижения скорости полного хода корабля 32 уз, а достоинством то, что количество форсажных двигателей уменьшено в 2 раза по сравнению с предыдущим вариантом ГЭУ при сохранении диапазона экономичной работы ГЭУ от 14 уз до скорости полного хода, по аналогии с предыдущим вариантом схемного исполнения.

Как вариант, в развитие схемы ГЭУ типа М7 или М9 (см. рис. 7), можно рекомендовать к использованию перспективные форсажные ГТД М90ФРМ мощностью 25 МВт или ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью 35 МВт, о готовности разработки которых уже не первый год сообщает ПАО «ОДК-Сатурн» [3, 4].

ПАО «ОДК-Сатурн» разрабатывает несколько вариантов перспективного двигателя. Один из них – развитие семейства морских ГТД на базе ГТД М90ФР [3, 4] путем добавления одной или двух нулевых ступеней компрессора низкого давления к базовому ГТД М90ФР и форсированием параметров рабочего тела, так можно создать линейку ГТД мощностью соответственно 25 и 31,5 МВт (до 34 МВт включительно).

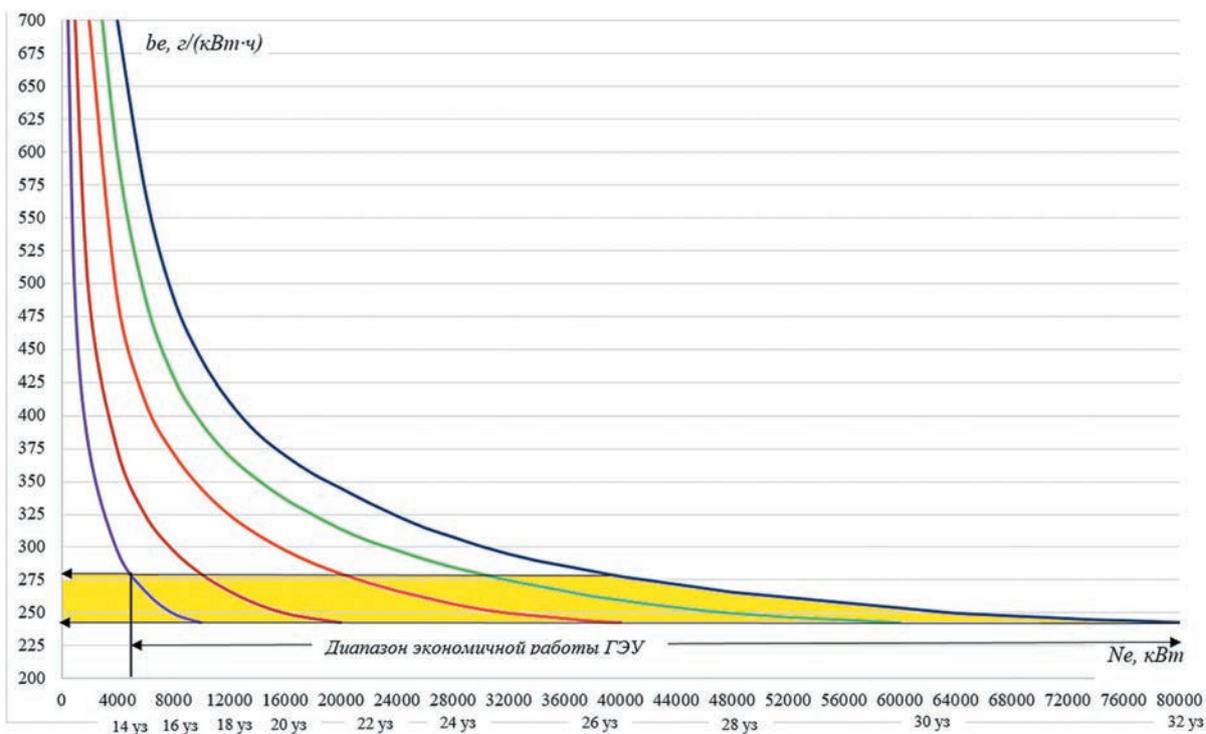


Рис. 6. Изменение удельного расхода топлива различным составом работающих ГТД М90ФР эсминца водоизмещением примерно 10 000 т

— 1 ГТД М90ФР или 2 ГТД М70ФРУ; — 2 ГТД М90ФР; — 3 ГТД М90ФР; — 4 ГТД М90ФР; — 1 ГТД М70ФРУ

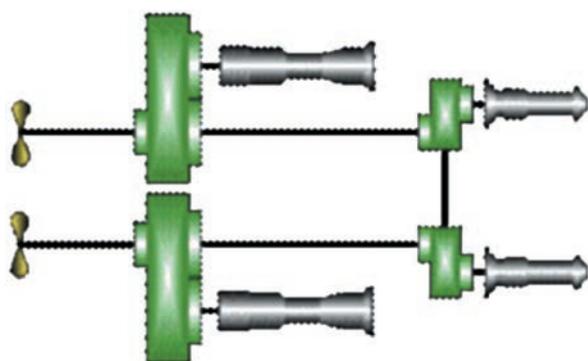


Рис. 7. Структурная схема ГЭУ эсминца (по аналогии с агрегатом М7 СКР пр.1135 или М9 БПК пр. 1155)

Характеристики различных вариантов модернизации базового ГТД М90ФР представлены в табл. 1 [3, 4].

Из анализа характеристик, представленных в табл. 1, следует, что форсируя параметры рабочего тела по температуре в пределах 35–140 К и увеличением степени повышения давления в компрессоре с  $\pi_k = 18,85$  до  $\pi_k = 29,19$ , а также совершенствуя компрессор низкого давления с добавлением одной или двух нулевых ступеней, можно разработать ли-

нейку корабельных ГТД мощностью от 20 до 34 МВт включительно [3, 4].

Принципиально новой концепцией создания перспективного двигателя, анонсированной ПАО «ОДК-Сатурн» [3, 4], является разработка перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью до 35 МВт (рис. 8). При ее реализации используются отдельные отработанные технологии по двигателю М70ФРУ, изделию 30 (авиационный двигатель для самолета 5-го поколения СУ-57) и ГТД-110М. Характеристики перспективного двигателя представлены в табл. 2.

Характеристики перспективного ГТД МГТД-35 свидетельствуют о том, что он не должен уступать уже созданным зарубежным аналогам по агрегатной мощности и КПД.

Таким образом, использование в схеме типа М7 (см. рис. 7) форсажных ГТД М90ФРМ мощностью 25 МВт позволит увеличить суммарную мощность ГЭУ до 70 МВт, что соответствует скорости полного хода 31 уз, а использование перспективных ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью 35 МВт – скорости полного хода более 32 уз.

Кроме того, использование более мощных ГТД по сравнению с базовым М90ФР позволит нивелировать противоречие, обозначенное выше (см. рис.1), выражающееся в том, что режимы работы ГТД с относительно высокой экономичностью (на нагрузках более 60% от номинальной) существенно огра-

Характеристики вариантов совершенствования ГТД М90ФР

Таблица 1

Характеристика ГТД	М90ФР $N_{ном}$	М90ФРМ максимальный Суперсплавы	М90ФРМ1 с нулевой ступе- нью $N_{ном}$	М90ФРМ2 с двумя доп. ступе- нями, $N_{ном}$	М90ФРМ3 максимальный Суперсплавы
Мощность $N_e$ , МВт	20	25	25	25	34
КПД $\eta_s$	0,347	0,359	0,359	0,357	0,378
Удельный расход топлива $b_e$ , г/(кВт·ч)	0,243	0,234	0,234	0,236	0,223
Степень повышения давления $\pi_k$	18,85	21,1	23,75	24,63	29,19
Расход воздуха $G_a$ , кг/с	68,86	74,5	83,8	89,0	101,1
Температура газа перед турбиной $T_p$ , К	1461	1561	1503	1480	1597
Частота вращения, об/мин:					
СТ,	3450	3716	3716	3716	4118
КНД	7132	7600	7384	7211	7600
КВД	9019	9312	9274	9038	9398

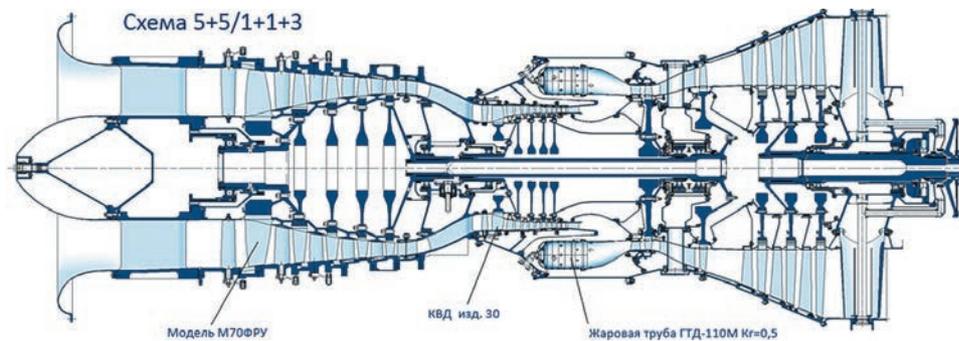


Рис. 8. Разрез перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35 (проект ПАО «ОДК-Сатурн»)

Таблица 2  
Сравнительные характеристики корабельных ГТД

Характеристика	LM2500+	LM2500+G4	RR МТ30	МГТД-35
Мощность, МВт	29,0	35,32	36,0	25...35
КПД на валу СТ (ISO), %	39	39,5	39,7	≥40
$\pi_{\Sigma}$	25...30	-	-	-
Температура газа перед 1-м сопловым аппаратом турбины, К	1500...1580	-	-	-

нижены ускоренным истощением ресурса. Использование ГТД большей мощности позволит существенно расширить диапазон режимов использования ГТД с относительно высокой экономичностью (рис. 9).

Как следует из анализа рис. 9, диапазон нагрузок ГТД с приемлемой экономичностью ( $b_e \approx 255 \div 275$  г/(кВт·ч), где нет ограничений по ускоренному истощению ресурса, соответственно составляют:

- 10 000 ÷ 21 000 кВт для МГТД-35;
- 10 000 ÷ 15 000 кВт для ГТД М90ФРМ.

Указанный способ расширения диапазона нагрузок ГТД без ускоренного истощения ресурса широко используется в ВМС США, где на эскадренных миноносцах типа «Arleigh Burke» в составе ГЭУ вместо двигателей GE LM2500 агрегатной мощностью 22 МВт стали использовать ГТД GE LM2500+ агрегатной мощностью порядка 29 МВт при ее ограничении в составе агрегатов в виде «спарки» двух ГТД до 22 МВт.

Тем не менее, несмотря на очевидные достоинства использования ГТД большей мощности в составе агрегата типа М7 (М9), как и в предыдущих вариантах ГЭУ, поисковые режимы с буксируемой ГАС на скоростях хода 8 – 12 уз также не входят в диапазон экономичной работы ГЭУ.

Таким образом, оптимизация режимов использования ГТД в составе пропульсивных комплексов современных многоцелевых надводных кораблей с газо-газотурбинной ЭУ в обеспечение высокой топливной эффективности при широком диапазоне скоростей хода корабля представляет собой сложную, практически не реализуемую, задачу.

Выходом из сложившейся ситуации может служить переосмысление взглядов конструкторов на использование в качестве маршевой части ГЭУ дизельного или дизель-электрического привода с дизельными двигателями высокой агрегатной мощности и значительного моторесурса.

Так, например, использование схемного исполнения ГЭУ в составе двух агрегатов в виде «спарки» двух ГТД типа М90ФР или М90ФРМ, с частичным электродвижением (CODLOG) с ГЭД мощностью 6,5 МВт (рис. 10), позволит полностью перекрыть диапазон режимов на нагрузках ГЭУ от 0 до 13 МВт, т.е. на скоростях хода до 18 уз включительно (см. рис. 2).

В качестве привода дизель-генераторов мощностью 6,5 МВт могут использоваться перспективные дизельные среднеоборотные двигатели АО «Коломенский завод», изменение удельного расхода топлива которых представлено на рис. 11.

Из анализа информации, представленной на рис. 11, сле-

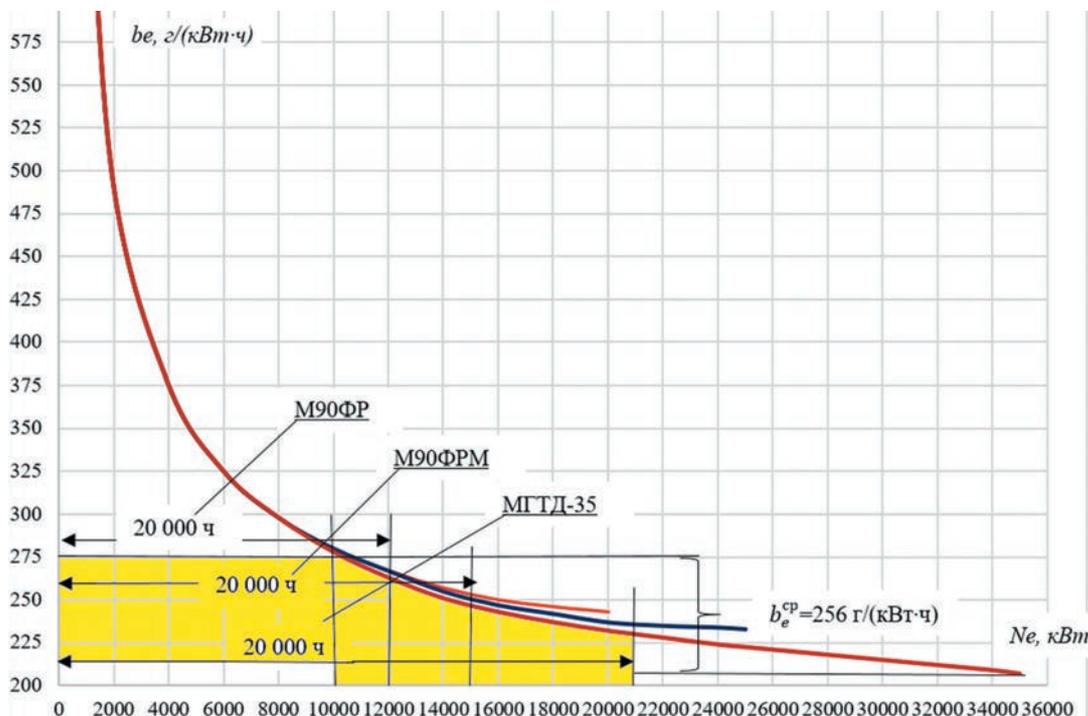


Рис. 9. Изменение удельного расхода топлива ГТД М90ФР, М90ФРМ и МГТД-35 в зависимости от нагрузки  
— — ГТД М90ФР; — — ГТД М90ФРМ; — — ГТД МГТД-35

дует, что использование дизельного привода обеспечивает экономичные режимы работы практически во всем диапазоне нагрузок, с удельным расходом топлива в пределах от 202–209 г/(кВт·ч). Учитывая, что перспективный дизельный привод Д500К находится еще на стадии опытно-конструкторской разработки, можно рекомендовать в состав агрегата включить ГЭД мощностью 2×3,5 МВт, с приводом от серийных дизель-генераторов 28-9ДГ с дизельным приводом 10Д49.

В этом случае за счет использования ГЭД будет перекрыт диапазон поисковых режимов на нагрузках ГЭУ от 0 до 7,0 МВт, т.е. на скоростях хода до 14 уз включительно (см. рис. 2), что также приемлемо для перспективного многоцелевого корабля.

Наиболее предпочтительной версией ГЭУ перспективного многоцелевого корабля водоизмещением до 10 000 т может быть рекомендована двухвальная схема с одним ГТД 5-го поколения в составе агрегата схемного исполнения CODLOG (рис. 12).

Преимуществом такой схемы является использование минимального количества ГТД в составе агрегата, что соответствует европейской тенденции развития перспективных кораблей (фрегаты серий FREMM ВМС Франции и Италии, F125 ВМС Германии и пр. 26 британских ВМС) в обеспечении относительно высокой скорости полного хода – до 31 уз включительно (см. рис. 2), а также широкого диапазона экономичной работы ГЭУ, включая поисковые режимы.

## ВЫВОДЫ

1. Обеспечение высокой топливной эффективности в широком диапазоне скоростей хода перспективных многоцелевых надводных кораблей с газо-газотурбинной энергетической установкой представляет собой сложную, практически не реализуемую, задачу.
2. Выходом из сложившейся ситуации может служить переосмысление взглядов конструкторов на использование в качестве маршевой части ГЭУ дизельного или дизель-электрического привода с дизельными двигателями высокой агрегатной мощности и значительного моторесурса.
3. Существенные ограничения по ресурсу ГТД на нагрузках более 60% от номинальной весьма серьезно ограничи-

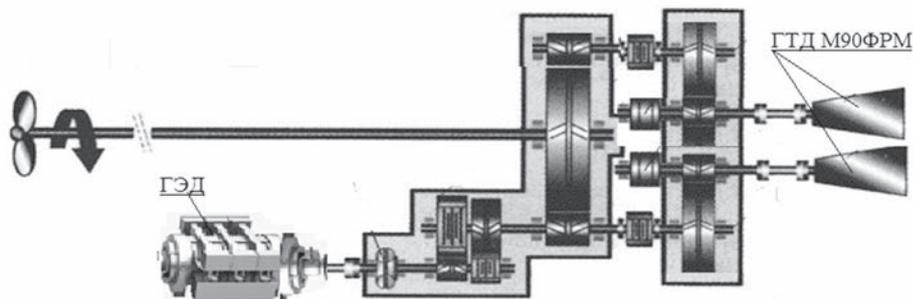


Рис. 10. Структурная схема агрегата CODLOG в виде «спарки» двух ГТД М90ФРМ и одного ГЭД

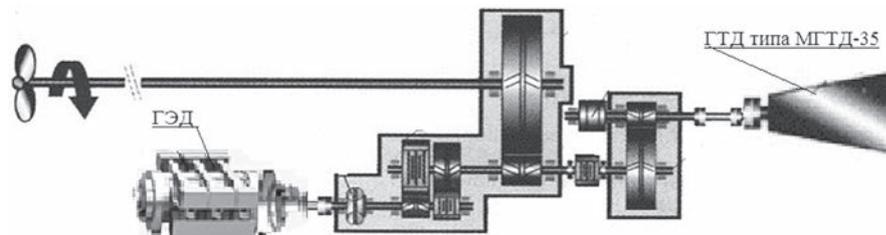


Рис. 12. Структурная схема агрегата CODLOG в виде «спарки» двух ГТД типа МГТД-35 и одного ГЭД

вают ТТХ кораблей, связанные с обеспечением скоростей полного хода в 28 уз и более. Указанные ограничения усугубляются при плавании корабля в тропических условиях, когда температура окружающего воздуха существенно выше расчетной в 15 °С. Выходом из сложившейся ситуации является форсирование по мощности базового отечественного ГТД М90ФРМ и (или) разработка перспективного ГТД 5-го поколения высокой агрегатной мощности, что соответствует зарубежному опыту ведущих мировых компаний Rolls-Royce и General Electric.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шинкоренко Д. Перспективы развития энергетических установок надводных кораблей ВМС зарубежных стран//Зарубежное военное обозрение. – 2007. – №1. – С.54–61; № 3. – С.58–61.
2. Хализов А. Перспективный фрегат проекта F-125 ВМС Германии//Зарубежное военное обозрение. – 2009. – №5. – С.67–74.
3. Чутин П.В. Российский газотурбинный двигатель М90ФР. – Доклад на секции НТО им. А.Н. Крылова 21.03.2018 г.
4. Чутин П.В. Результаты работы по импортозамещению украинских морских ГТД. – Доклад на межотраслевой науч.-практ. конфер. «ВОКОР-2018», ВУНЦ ВМФ «НИИ КиВ», СПб., 2018.
5. Газотурбинный двигатель М90ФР. Технические условия. А91108201 ТУ. ■

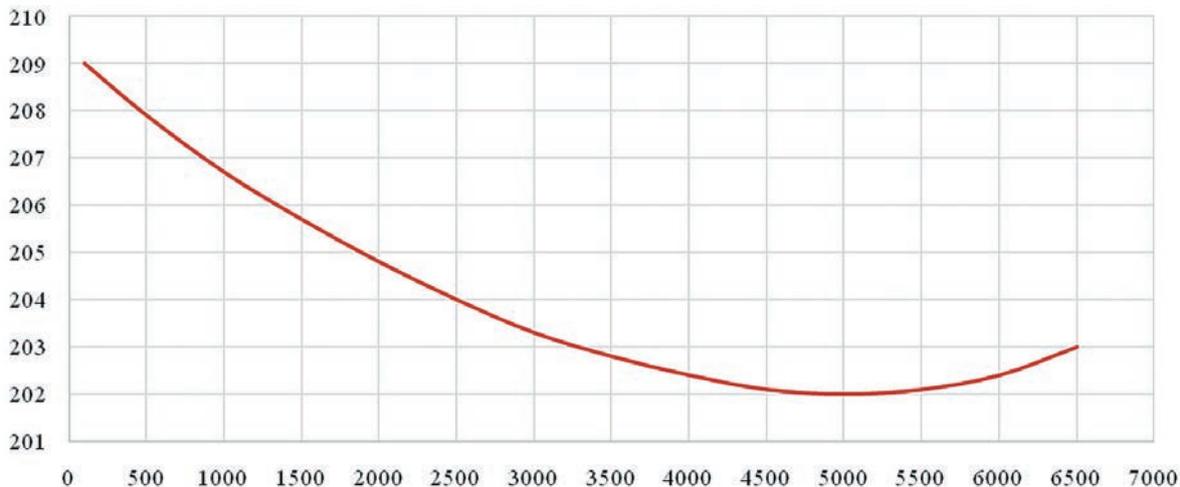


Рис. 11. Изменение удельного расхода топлива ДГАС-6500 с дизелем Д500К

Современные системы электродвижения (СЭД) судов позволяют существенно повысить безопасность плавания вследствие открывающихся возможностей улучшения их маневренности. Кроме того, СЭД дают возможность сократить объем машинного отделения, более рационально расположить судовое оборудование, обеспечить снижение уровней шумов и вибраций.

В настоящее время СЭД нашли применение на судах практически всех видов – пассажирских лайнерах, буксирах, паромов, танкерах, буровых платформах, судах снабжения и т.д. Созданы надводные корабли с СЭД, в том числе авианосцы. Мощность судовой электростанции на крупнейших судах и кораблях с СЭД составляет около 100 МВт.

Характерными чертами современных систем электродвижения являются единая электроэнергетическая система (ЕЭЭС) судна, гребные электродвигатели (ГЭД) переменного тока, управляемые с помощью полупроводниковых преобразователей частоты (ПЧ), и изменяемое направление тяги гребного винта.

ЕЭЭС обеспечивает электроэнергией и СЭД, и многочисленные общесудовые потребители. При этом СЭД – основной потребитель электроэнергии, суммарная мощность СЭД может составлять до 75% от мощности судовой электростанции. Полупроводниковые преобразователи частоты в составе СЭД являются для судовой сети нелинейной нагрузкой большой мощности, которая может создать существенные искажения напряжения судовой сети, способные вызвать отказы общесудовых потребителей.

Проблема обеспечения электромагнитной совместимости СЭД и общесудовых потребителей является одной из основных при проектировании ЕЭЭС.

Удачно решена проблема электромагнитной совместимости ГЭУ и общесудовых потребителей в структуре ЕЭЭС, разработанной специалистами «Сименс» [1] (рис. 1).

## СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

*А.Н. Калмыков, канд. техн. наук, доцент, зам. руководителя Науч.-исслед. части,*

*В.И. Кузнецов, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,*

*А.П. Сеньков, д-р техн. наук, проф., доцент, ФГБОУ ВО СПбГМТУ,*

*Пань Ханюй, инженер-стажер филиала ООО «Российский морской регистр судоходства (Тяньцзинь)», г. Шанхай,*

*контакт. тел. +7 (921) 953 1029, +7 (953) 166 6302*

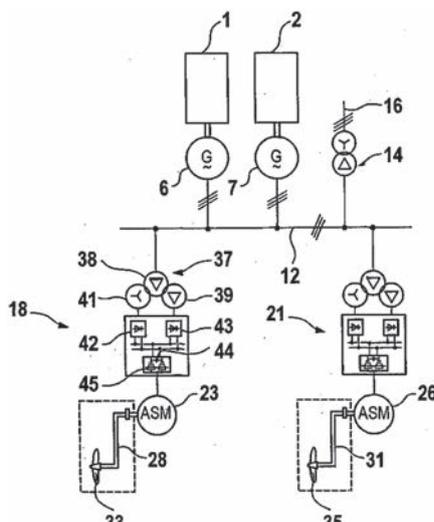


Рис. 1. Схема ЕЭЭС фирмы «Siemens»

В состав СЭД входит трехфазный пропульсивный трансформатор (ПТ, рис. 1, 37), имеющий две вторичные обмотки 39, 41, одна из которых соединена по схеме звезда, а другая – по схеме треугольник. На выходе вторичных обмоток ПТ получаются две системы трехфазных напряжений, смещенных по фазе на 30 электрических градусов (30°е). Напряжения с вторичных обмоток ПТ поступают на трехфазные мостовые выпрямители 42, 43 и преобразуются в постоянные напряжения. Выпрямленные напряжения на выходе

выпрямителей суммируются и поступают на вход автономного инвертора 45, который вырабатывает переменное напряжение с управляемой амплитудой и частотой, поступающее на гребной электродвигатель 23.

Структура ЕЭЭС «Сименс» обладает двумя достоинствами. Во-первых, выпрямленное двенадцатипульсное напряжение на входе инвертора позволяет получить хорошее качество напряжения питания ГЭД. Во-вторых, применение в составе СЭД ПТ с двумя вторичными обмотками дает возможность компенсировать гармоники высокого порядка в потребляемой первичной обмоткой ПТ токе и обеспечить малые искажения напряжения судовой сети.

Структура ЕЭЭС «Сименс» широко применяется судостроительными предприятиями разных стран. На судах российского флота по этой схеме построены ЕЭЭС спасателей типа «Игорь Белоусов», танкеров «Михаил Ульянов», «Кирилл Лавров», ледокола пр. 22220 и других судов. По структуре «Сименс» построены ЕЭЭС на иностранных пассажирских судах «Norwegian Epic», «Costa Victoria», «Fram», паромов «Schleswig-Holstein», «Deutschland», а также многих других судов.

Свойства ЕЭЭС исследовались на компьютерной модели электроэнергетической системы гидрографического судна «Вайгач» (рис. 2), которая анало-

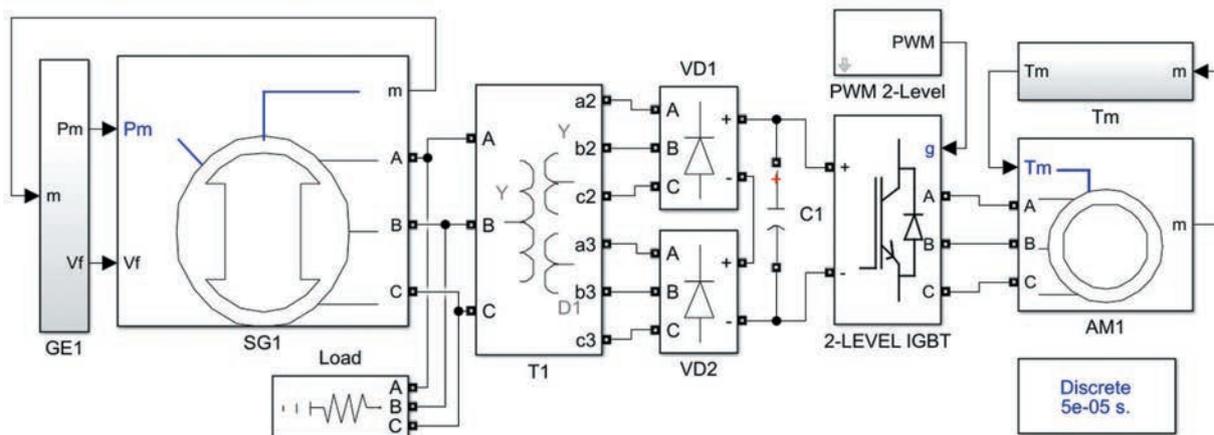


Рис. 2. Модель ЕЭЭС судна «Вайгач» в пакете Matlab Simulink R2018b

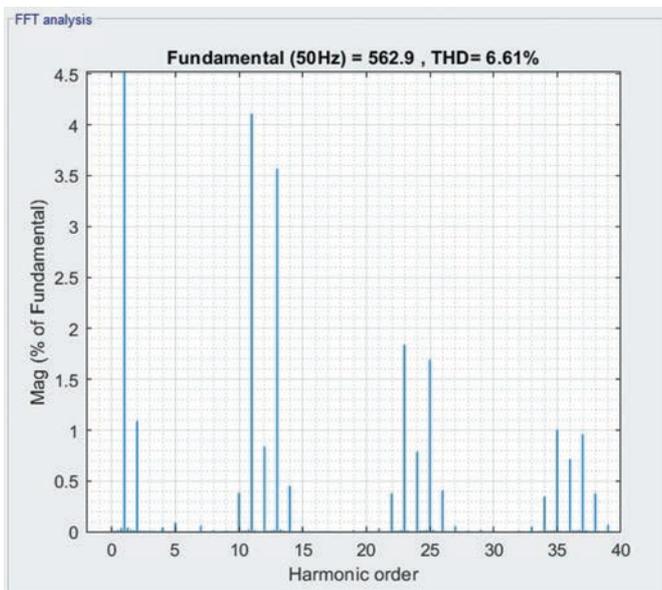


Рис. 3. Гармонический состав линейного напряжения синхронного генератора, а также значение коэффициента гармоник напряжения

гична структуре «Сименс». Параметры основных компонентов судна «Вайгач» [2, 3]: синхронный генератор (1,0МВт, 400В, 50Гц), пропульсивный трансформатор (800 кВА, 400В/550В;550В), преобразователь частоты с 12-пульсным выпрямителем и двухуровневым автономным инвертором напряжения (АИН), частота ШИМ=2,0 кГц, гребной электродвигатель (550 кВт, 960 В, 1500 об/мин.).

На рис. 3 представлен гармонический состав линейного напряжения синхронного генератора, а также приведены значения коэффициента гармоник напряжения, полученные в процессе моделирования.

Из рис. 3 следует, что в магнитной системе ПТ эффективно компенсируются 5-я и 7-я гармонические тока, что благоприятно сказывается на качестве напряжения в судовой сети. Значение коэффициента гармоник напряжения на синхронном генераторе составляет 6,61%, что соответствует Правилам РМРС [4].

Однако существуют способы дополнительного снижения искажений в судовой сети. Например, путем применения в составе ЕЭЭС и СЭД 18-пульсного выпрямителя, который не только характеризуется меньшими пульсациями выходного напряжения по сравнению с 12-пульсным выпрямителем, но и меньшими искажениями формы тока на входе [5].

Для обеспечения работы 18-пульсного выпрямителя требуются три системы трехфазного напряжения, сдвинутые относительно друг друга на 20 электрических градусов.

Для оценки целесообразности применения 18-пульсного выпрямителя в составе ЕЭЭС проводится компьютерное моделирование. Модель ЕЭЭС представлена на рис. 4.

Параметры большинства компонентов аналогичны предыдущей модели. В составе модели используются синхронный генератор (1,0МВт, 400В, 50Гц), пропульсивный трансформатор (800кВА, 400В/366В;366В;366В),

преобразователь частоты с 18-пульсным выпрямителем и двухуровневым АИН (частота ШИМ = 2,0 кГц), гребной электродвигатель (550 кВт, 960 В, 1500 об/мин.).

В модели по рис. 4, три системы трехфазного напряжения, необходимые для работы 18-пульсного выпрямителя, получены путем применения 3 трехфазных трансформаторов, первичные обмотки которых относительно друг друга имеют сдвиг фаз в 20 электрических градусов. Первичные обмотки трансформаторов подключаются к одному синхронному генератору, а каждая вторичная обмотка подключается к своему трехфазному выпрямителю. Три выпрямителя соединены последовательно, тем самым обеспечивая баланс токов во вторичных обмотках, для получения наивысшей степени компенсации гармоник в магнитной системе трансформатора.

На рис. 5 представлен гармонический состав линейного напряжения синхронного генератора, а также приведено значение коэффициента гармоник на-

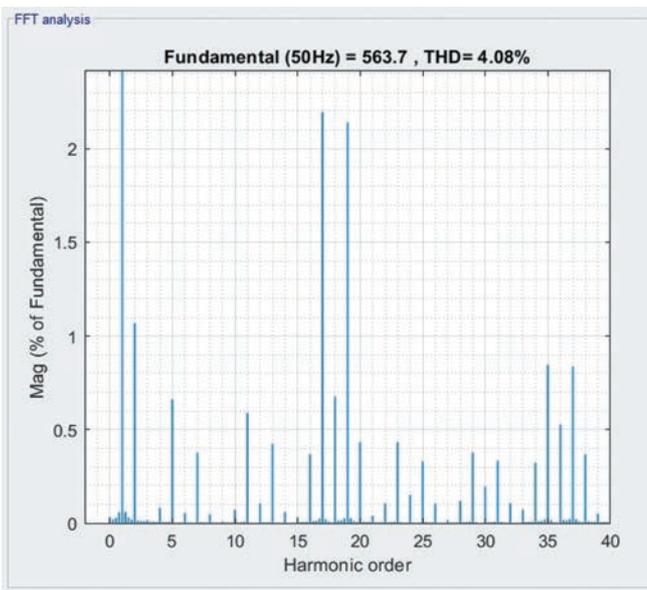


Рис. 5. Гармонический состав линейного напряжения синхронного генератора, а также значение коэффициента гармоник напряжения

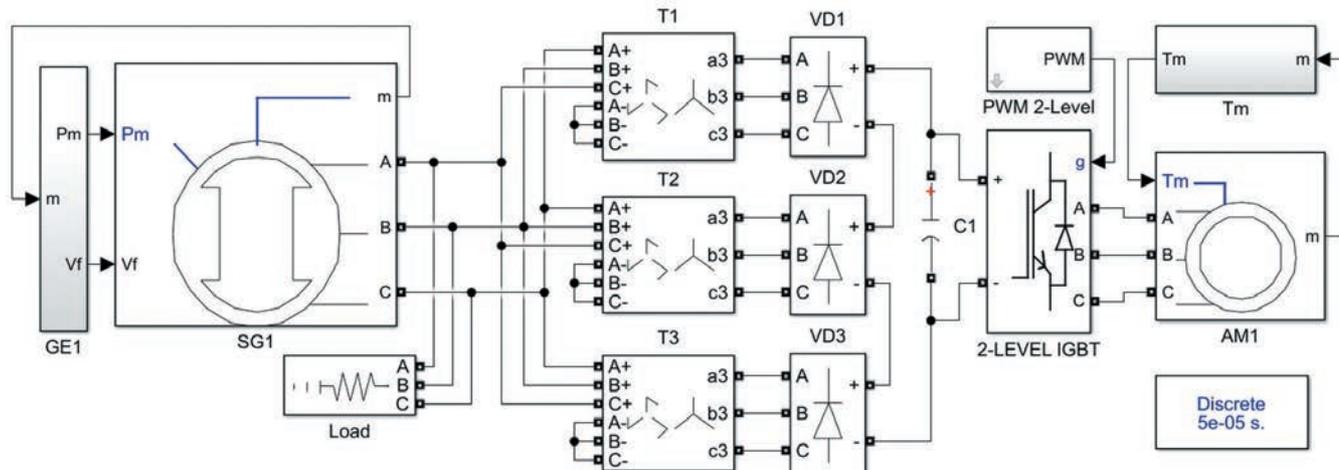


Рис. 4. Модель ЕЭЭС с 18-пульсным выпрямителем в пакете Matlab Simulink R2018b

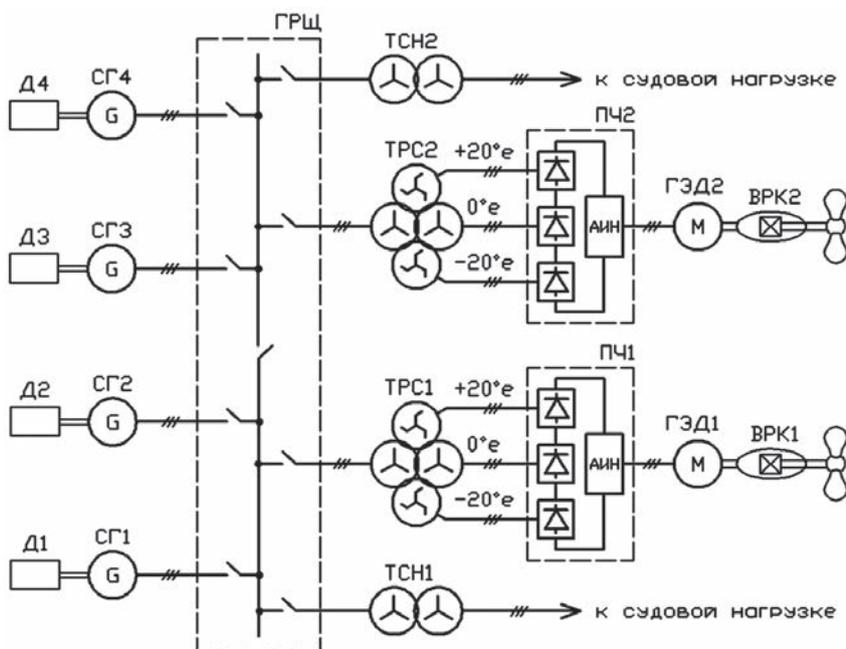


Рис. 6. Вариант структуры ЕЭЭС с СЭД, оснащенной 18-пульсными выпрямителями

пряжения, полученное в процессе моделирования.

Из рис. 5 следует, что в магнитной системе ПТ эффективно компенсируются не только 5-я и 7-я, но и 11-я и 13-я гармонические составляющие тока. Это благоприятно сказывается на качестве напряжения в судовой сети. Значение коэффициента гармоник напряжения на синхронном генераторе составляет 4,08%, что соответствует Правилам РМРС.

Поскольку применение 18-пульсного выпрямителя позволяет в большей степени компенсировать 5-ю, 7-ю и 11-ю и 13-ю гармонические составляющие тока, создаются предпосылки для применения 18-пульсного выпрямителя в составе ЕЭЭС с СЭД.

На рис. 6 представлен вариант реализации 18-пульсного выпрямителя в структуре ЕЭЭС с СЭД.

Предложенный вариант структуры ЕЭЭС с СЭД, оснащенной 18-пульсными выпрямителями, строится на базе существующего электрооборудования, которое применяется в структуре ЕЭЭС

«Сименс». Отличается предложенная структура только доработанным пропульсивным трансформатором, а также большим количеством выпрямителей в составе преобразователя частоты.

Существует вариант доработки ЕЭЭС «Сименс» путем размещения на ПТ дополнительной пары трехфазных обмоток, а также применения в составе ПЧ трехуровневого АИН [6].

## ВЫВОДЫ

1. Структура ЕЭЭС «Сименс» обеспечивает достаточные показатели качества напряжения в судовой сети. В магнитной системе трансформатора эффективно компенсируются 5-я и 7-я гармоники тока. Значение коэффициента гармоник напряжения в судовой сети составляет 6,61%, что удовлетворяет Правилам РМРС.

2. Структура ЕЭЭС с 18-пульсным выпрямителем обеспечивает наибольшие показатели качества напряжения в судовой сети. В магнитной системе трансформатора эффективно компенсируются не только 5-я и 7-я, но и 11-я

и 13-я гармоники тока. Это обеспечивает меньшие искажения напряжения в судовой сети по сравнению со структурой «Сименс». Значение коэффициента гармоник напряжения в судовой сети при работе СЭД с 18-пульсным выпрямителем составляет 4,08%, что в большей степени удовлетворяет Правилам РМРС.

3. Предложенная структура ЕЭЭС с СЭД, оснащенная 18-пульсными выпрямителями, может быть построена на базе существующего электрооборудования. Требуется доработка пропульсивного трансформатора для обеспечения трех систем трехфазного напряжения со сдвигом в 20 электрических градусов, а также преобразователя частоты, заключающаяся в установке дополнительного трехфазного выпрямителя. Остальное оборудование остается без изменений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент WO 02/100716, Marine propulsion system with reduced on-board network distortion factor / Iden Stefan, Vaupel Gustav, приоритет 11.06.2001, патентообладатель Siemens AG.
2. Григорьев А.В., Глеклер Е.А., Улитовский Д.И. Результаты испытаний единой электроэнергетической установки малого гидрографического судна «Вайгач» // Судостроение. – 2008. – №1. – С. 33 – 35.
3. Батрак Д.В., Калинин И.М., Кузнецов В.И., Сеньков А.П. Оценка качества напряжения питания в судовой электроэнергетической системе методом компьютерного моделирования // Электротехника. – 2017. – № 12. – С. 18–23.
4. Правила классификации и постройки морских судов/ Морской регистр судоходства. – Ч. XI «Электрическое оборудование». – СПб., 2019.
5. Корнев А.С., Кузнецов В.И., Пань Х., Сеньков А.П. Способы компенсации высших гармоник напряжения в судовых электроэнергетических системах // Морские интеллектуальные технологии. – Т.3. – №1(47). – 2020. – С. 82–86.
6. Патент РФ № 2683042. Судовая электроэнергетическая установка / Сеньков А.П., Кузнецов В.И. // БИ 2019, №9. ■

# ГИБРИДНЫЕ СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

С.А. Казанов, аспирант, начальник 12 НИО НИИ «Лот»  
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,  
контакт. тел. +7(962) 727 6964

Глобальные тенденции снижения количества выбросов в атмосферу и оптимизация затрат на топливо оказывают существенное влияние на развитие судовой энергетики и конструкции судовых энергетических установок (СЭУ).

В апреле 2018 г. Международной морской организацией (ИМО) была принята первоначальная стратегия, направленная на сокращение к 2050 г., по меньшей мере на 50% по сравнению с 2008 г., общего объема ежегодных выбросов парниковых газов с судов [1].

ИМО прилагает большие усилия для снижения выбросов в судоходстве. Вводятся нормы и ограничения количества генерируемых парниковых газов в зависимости от мощности двигателя. Например, судовые дизельные двигатели, условно относящиеся к уровню 2, установленные после января 2011 г., ограничены 7,7 г/кВт.ч для высокооборотных двигателей и 14,4 г/кВт.ч для низкооборотных двигателей. С января 2016 г. для двигателей, условно относящихся к уровню 3, эти лимиты снижены до 2,0 г/кВт.ч и 3,4 г/кВт.ч соответственно [2]. Данные лимиты установлены именно для двигателей, а не для судна в целом, однако при учете опыта в автомобилестроении в скором будущем, возможно, лимиты будут установлены в зависимости от пройденного пути [3].

Кроме того, ИМО определила лимиты индекса прогнозируемой энергоэффективности (ИПЭ) для новых судов. ИПЭ – это мера количества выброса  $CO_2$ , которое производит судно на тонну полезной нагрузки на милю пути. Новые грузовые суда должны снизить ИПЭ с 10% по сравнению с эталоном, представленным в 2013 г., до 30% в 2030 г. Схожие требования подготавливаются и для судов других типов.

Следовательно, СЭУ будущих судов должны иметь повышенную энергоэффективность и меньшее количество выбросов.

Современные достижения в области гибридных СЭУ (ГСЭУ) показывают эффективные пути достижения этих целей.

Р. Д. Гириртса в своих исследованиях в области использования батарей и интеллектуальных систем распределения нагрузок и генерации в ГСЭУ установил, что умные системы управления энергетикой судна позволяют снизить расход топлива и, соответственно, выбросы [4]. Типичная схема регулирования генерации представлена на рис. 1.

Трудности достижения оптимального баланса в выработке энергии для нужд судна и движения ведут к дополнительным энергетическим потерям. Также потери энергии, генерируемой двигателем на преобразование в электроэнергию в системе электродвиже-



Рис. 1. Схема регулирования генерации

ния, приводят к повышенному расходу топлива [5] и, следовательно, к экономическим потерям и увеличению эмиссии парниковых газов. Необходимость использования дополнительного оборудования также приводит к увеличению веса, размеров и стоимости СЭУ [6]. В качестве выхода из данной ситуации можно оборудовать суда гибридной силовой установкой.

На рис. 2 представлена схема ГСЭУ, в которой основной двигатель 1 обеспечивает движение с высокой эффективностью на высоких скоростях. Электродвигатель/генератор 2, который соединен основным приводом через редуктор 3 или непосредственно с валом, приводящим в движение гребной винт, обеспечивает движение на низких скоростях, что позволяет избежать неэффективной работы основного двигателя при частичной нагрузке. Этот двигатель также может быть использован в качестве генератора для систем электроснабжения

судна 4. Кроме того, в типичной схеме ГСЭУ присутствуют дополнительные генераторы 5, вырабатывающие энергию для работы электродвигателя и обеспечения судна электроэнергией и, если это предусмотрено, генерирующие энергию для накопления в аккумуляторных блоках. Управление работой двигателей и генераций осуществляется в главном коммутаторе 6. Преобразование электроэнергии осуществляется в конвертере 7.

При работе основной ЭУ генерировать мощность можно либо от электрического генератора, либо от генераторных установок. Как правило, управление распределением нагрузок такой системы осуществляется программно (с помощью алгоритмов управления) или вручную оператором.

Типичные режимы работы ГСЭУ:

- генераторы 5 отключены: основной двигатель 1 вращает винт через редуктор 3, электродвигатель 2 высту-

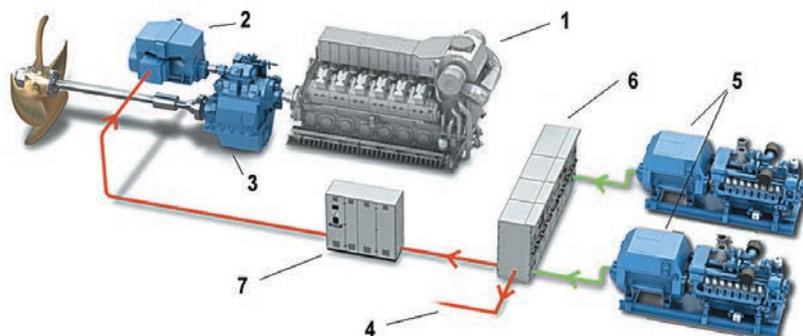


Рис. 2. Типичная схема гибридной судовой энергетической установки

- пает в роли генератора энергии и вырабатывает энергию для нужд судна;
- режим форсажа: основной двигатель 1 и электродвигатель 2 вращают винт через редуктор 3, генераторы 5 вырабатывают энергию для электродвигателя. В таком режиме достигается максимальная скорость;
  - режим маневрирования: основной двигатель 1 выключен, электродвигатель 2 вращает винт через редуктор 3 за счет генерации электроэнергии в электрогенераторах 5.

Поскольку гибридный привод представляет собой комбинацию электрического и механического привода, он может получить преимущества от обоих. Однако для достижения этих преимуществ требуется правильная конструкция ГСЭУ, и часто приходится искать компромисс. Многие зависят от алгоритмов управления. Именно гибкая система управления позволяет оптимизировать работу гибридной системы в зависимости от текущих требований по передаче энергии от крутящего момента основного вала к генератору и от электродвигателя на основной вал.

Типичные области применения гибридных силовых и двигательных систем – это фрегаты и эсминцы [7], буксирующие суда [8] и морские суда [9]. Например, судно «MS Goblin» при той же производительности за счет применения гибридных систем потребляет на 12,5% меньше топлива. Сокращение использования главных двигателей существенно уменьшило затраты на техобслуживание [10]. Аналогичные показатели у судна «MS Nadorias»: экономия топлива – более 15%, снижение стоимости обслуживания – на 60% и, как следствие, существенное снижение выбросов и шума двигателей – с 60 до 42 дБ [11].

В статье, представленной Мишель Вейсмюллер и Тейс Хасселаар [8], проводится сравнение экономических преимуществ ряда ГСЭУ для буксировщика. При средней рабочей нагрузке этого судна среднее использование основного двигателя составляет около 20%, или менее 90% всего рабочего времени. Наиболее экономически эффективной конфигурацией силовой установки была бы ГСЭУ с основным двигателем, поддерживающим среднюю курсовую скорость (45% рабочего времени), и электродвигателем для работы на низкой скорости (45% рабочего времени) на каждом валу [8]. В тематических исследованиях применения ГСЭУ на морских судах, представленных Ренато Барцеллосом [9], сделаны выводы о том, что гибридная силовая установка позволяет достичь высокой эффективности в условиях больших транзитных расстояний

в сочетании с жесткими требованиями к операциям динамического позиционирования. Тепловой двигатель может быть использован для эффективного передвижения, а электродвигатель – для работы с динамическим позиционированием. Таким образом топливная эффективность была повышена на 10%. Результаты этих исследований подтверждают, что гибридная силовая установка с использованием различных режимов со значительным временем работы на низкой мощности экономичнее, чем обычная дизельная или дизель-электрическая ЭУ [9].

Текущие стратегии управления, применяемые на практике и описанные в литературе по ГСЭУ, основаны на двух режимах работы: основной привод и электрический привод. В режиме основного привода электродвигатель можно отключить, использовать в качестве электрического вспомогательного двигателя или в качестве генератора

Электродвигатель может работать как генератор, если основной двигатель имеет достаточный запас свободной мощности. В ВМС Италии на фрегатах «FREMM», благодаря использованию газотурбинной установки в качестве основного двигателя максимальная мощность достижима при любой частоте вращения основного вала. Таким образом, всегда имеется достаточный запас мощности, если только корабль не движется с максимальной скоростью при режимах нагрузки, превышающих проектные. Основная стратегия управления, применяемая к генератору – это управление скоростью и напряжением для предотвращения просадки выработки электроэнергии и поддержания постоянного напряжения [7]. Благодаря такой стратегии, нагрузка распределяется равномерно между генератором основного двигателя и дизель-генераторами. Однако в данной ситуации не всегда можно достичь оптимальных режимов работы, которые теоретически возможны, так как газовая турбина справляется с динамическими нагрузками гораздо лучше, чем дизель-генератор. В качестве альтернативы лучше использовать дизель-генератор в статическом, оптимальном режиме работы, а электропривод основного двигателя – в динамическом режиме работы, что позволит газовой турбине брать на себя динамические нагрузки и оптимизировать распределение нагрузок в системе.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что имеется большой потенциал для внедрения и использования ГСЭУ при проектировании новых российских судов и модификации

уже имеющихся как в целях повышения энергоэффективности и экономичности, так и в целях соблюдения экологических норм в соответствии со стратегией, принятой ИМО. Распределение нагрузок и возможность работы на оптимальных оборотах двигателя в различных ситуациях позволяют существенно повысить межсервисный интервал, что также ведет к экономии. Благодаря различным схемам использования двигателей (отключение основного двигателя или генераторов; форсаж, при котором совместно работают тепловой и электродвигатели) возможно и повышение живучести судна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hoffmann Jan. Legal issues and regulatory developments//Review of Maritime Transport, 2018, UNCTAG.
2. International convention for the prevention of pollution from ships (MARPOL). Annex VI/IMO. – Consolidated ed., 2011.
3. Ko J., Jin D., Jang W., Myung C-L., Kwon S., Park S. Comparative investigation of-NOx emission characteristics from a Euro 6-compliant diesel passenger carover the NEDC and WLTC at various ambient temperatures// Applied Energy.– 2017.– Vol. 187(C).– P. 652–662.
4. Geertsma R. D. et al. Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments//Applied Energy. – 2017. – Vol. 194.
5. McCoy T. J. Trends in ship electric propulsion. – In: Proceedings of the IEEE power engineering society transmission and distribution conference, 2002, vol. 1.
6. Gemmel G., McIntyre B., Reilly M. Is IFEP a realistic future propulsion system for flexible frigates and destroyers? – In: Proceedings of the 12th international naval engineering conference. – Amsterdam, the Netherlands, 2014.
7. Sulligoi G., Castellani S., Aizza M., Bosisch D., Piva L., Lipardi G. Active front-end for shaft power generation and voltage control in FREMM frigates integrated power system: Modelling and validation. – In: Proceedings of the 21st international symposium on power electronics, electrical drives, automation and motion. Sorrento, Italy, 2012.
8. Wijsmuller M., Hasselaar T. Optimisation of the propulsion arrangement in emergency towing vessels//Ship and boat international. – 2007. – September/October.
9. Barcellos R. The hybrid propulsion system as an alternative for offshore vessels servicing and supporting remote oil field operations. – In: Proceedings of the annual offshore technology conference, 2013, vol. 3.
10. High-efficiency hybrid catapults MS Goblin to the forefront in bulk carrier shipping propulsion, 2017. – <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dds/high-efficiency-hybrid-catapults-ms-goblin-to-the-forefront-in-bulk-carrier-ship-propulsion/>
11. Hybrid retrofit delivers 15% fuel saving, 2016. – <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dds/hybrid-retrofit-delivers-15-fuel-savings.> ■

Судовой валопровод – это часть двигательного-двигательной системы судна, назначение которого – передача крутящего момента от двигателя к гребному винту и восприятия осевого усилия от гребного винта к корпусу судна. Сам валопровод представляет собой систему валов (гребной, промежуточный, упорный), которые расположены на одной оси. Они опираются на дейдвудные, промежуточные и упорные подшипники. Их расположение и количество зависит от геометрических размеров самого валопровода, а выбор делают таким образом, чтобы обеспечить равномерное распределение действующих нагрузок, упростить монтаж и ремонт валопровода, исключить опасные резонансные изгибные колебания во всех эксплуатационных режимах, уменьшить потери на трение и влияние деформации корпуса судна на напряженное состояние валов. Например, согласно требованиям Российского морского регистра судоходства (РМРС), длина пролета  $L$  (м) между соседними подшипниками выбирают в диапазоне [1–4]:

$$5,5a\sqrt{d} \leq L \leq \lambda a\sqrt{d}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр вала, м;  $\lambda$  – коэффициент, численное значение которого зависит от частоты вращения вала: при  $n \leq 500 \text{ мин}^{-1}$   $\lambda = 14$ , при  $n > 500 \text{ мин}^{-1}$   $\lambda = 300/\sqrt{n}$ ; коэффициент  $a$  рассчитывается по формуле

$$a = \sqrt[4]{1 + \left(\frac{d_0}{d}\right)^2}, \quad (2)$$

где  $d_0$  – диаметр расточки вала, м.

При работе валопровода на него действуют следующие нагрузки [1–5]: крутящий момент, передаваемый от главного двигателя; упор гребного винта; гидродинамические силы, возникающие при работе гребного винта; силы тяжести валов, гребного винта и других закрепленных на валах деталей; изгибающие моменты, возникающие из-за расцентровки валопровода; усилия, обусловленные деформацией корпуса судна, и от расцентровки валовой линии; нагрузки возникающие из-за неуравновешенности гребного винта; дополнительные усилия на гребном винте, работающем в косом потоке; инерционные силы от масс гребного винта и вала при качке судна на волнении; нагрузки случайного характера, возникающие при ударах лопастей гребных винтов о лед или о другие плавающие тела.

Действие таких постоянных, переменных, циклических и случайных нагрузок приводит к повреждению и выходу из строя не только самого валопровода (рис. 1), но и его вспомогательных элементов, в том числе дейдвудных подшипников.

Все подшипники валопровода моделируются в расчетной схеме шарнирно-

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРЫВА ГРЕБНОГО ВАЛА ОТ ДЕЙДУДНЫХ ПОДШИПНИКОВ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

**А.А. Халявкин**, канд. техн. наук, вед. инженер, ООО «Газпром добыча Астрахань»,

**А.Х. Саламех**, канд. техн. наук, доцент Каспийского института морского и речного флота им генерал-адмирала Ф.М. Апраксина,

**В.А. Мамонтов**, д-р техн. наук, проф. Астраханского ГТУ,

**А.В. Ивановская**, канд. техн. наук, доцент Керченского ГМТУ,

Email: [sopromat112@mail.ru](mailto:sopromat112@mail.ru), [a.salem@mail.ru](mailto:a.salem@mail.ru)

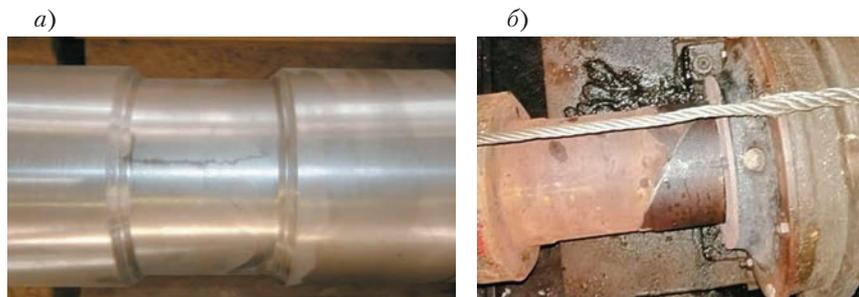


Рис. 1. Трещина на гребном валу морского судна, диаметр – 180 мм (а) и на промежуточном валу морского судна, диаметр – 160 мм (б)

подвижными опорами, кроме упорного подшипника, в которой сам валопровод считают жестко заделанным (защемленной опорой). При жесткой заделке два из четырех граничных условий, а это угол поворота и прогиб валопровода равны нулю. Место расположения опоры принимается посередине длины подшипника. Исключение – кормовой дейдвудный подшипник, где для неметаллических подшипников опора размещается на расстоянии от торца кормовой втулки, равной диаметру гребного вала  $l = d$  ( $l = 0,5d$  – для подшипников с масляной смазкой). В работе В. К. Румба [1] отмечается, что если цель расчета – определение эпюры контактных давлений, то дейдвудный подшипник идеализируется несколькими точечными опорами.

Одним из критериев, характеризующим рабочее состояние при вращении валопроводов, является величина износа дейдвудных подшипников [6–7]. При износе происходит увеличение величины зазора, что приводит к повышению действия нагрузок со стороны гребного винта, собственного веса судового валопровода и его вспомогательных элементов и узлов, а также возникновению поперечных и крутильных колебаний.

При проведении среднего или капитального ремонта судна обязательно проводят проверку предельных величин зазора дейдвудных подшипников, особенно кормового. Кормовой дейдвудный подшипник, который расположен ближе всех к гребному винту, самый нагружаемый.

Предельно допустимый зазор  $\Delta$  в дейдвудных подшипниках не должен превышать значения, определяемого по следующим формулам [1, 4]:

– для дейдвудных подшипников с вкладышами из неметаллических материалов при диаметре вала по облицовке  $d_{\text{тр}} \leq 600$  мм:

$$\Delta = 0,012d_{\text{тр}} + 1,8;$$

– для дейдвудных подшипников с вкладышами из неметаллических материалов при диаметре вала по облицовке  $d > 600$  мм:

$$\Delta = 0,005d_{\text{тр}} + 6. \quad (3)$$

Зависимость свободных изгибных колебаний в горизонтальной плоскости от величины зазора  $\Delta$  [1] имеет вид

$$n_r = \frac{n_b}{\sqrt{1 + 4\Delta n_b^2}}, \quad (4)$$

где  $n_b$  – собственная частота в вертикальной плоскости.

Важно отметить, что поперечные колебания, как и крутильные, подвергаются контролю РМРС при ремонте судов. Изучение поперечных колебаний и совершенствование методов определения собственной частоты позволит прогнозировать долговечность и повысить надежность судового валопровода и судна в целом при эксплуатации [8].

В качестве оценки влияния величины зазора на значение собственной частоты валопровода было проведено экспериментальное исследование на спроектированной и изготовленной установке [4, 9]. Конструкция экспериментальной установки для исследования продольно-поперечных колебаний

балки представлена на рис. 2. Установка спроектирована для исследования влияния различных факторов на поперечные колебания валопроводов судов, но она может быть использована для изучения поперечных колебаний и других устройств, расчетная схема которых сводится к многоопорной балке [9].

Установка (см. рис. 1) представляет собой металлическую раму 3, на которой устанавливаются опоры 2, на них, в свою очередь, упирается балка 1 с диском 4, моделирующим вал с винтом. Опоры благодаря простоте своей конструкции могут изменять свою длину и высоту [9].

Помимо опор на раме расположен силовой механизм, представляющий собой асинхронный двигатель 5, на валу которого установлен кулачок 6 с эксцентриситетом 20 мм. Также в силовом механизме входят коромысло 7 с передвижной опорой 10, пружина 8 и нажимное устройство 9, на конце которого установлен подшипник. Экспериментальная установка расположена на десяти виброопорах.

Принцип работы экспериментальной установки состоит в следующем: при вращении асинхронного двигателя 5 кулачок 6 через коромысло 7 сжимает пружину 8, которая служит для создания возвратно-поступательного движения. В результате через нажимное устройство 9 на диск 4, который устанавливается на конце балки 1, передается переменная по величине сила [9]

$$F = F_0 + F_a, \quad (5)$$

где  $F_0$  – постоянная составляющая силы;  $F_a$  – периодическая переменная составляющая силы, закон изменения которой близок к синусоидальному.

Величины  $F_0$  и  $F_a$  устанавливаются в зависимости от режима испытания. Частота изменения возбуждающей нагрузки регулируется изменением скорости вращения вала асинхронного двигателя, осуществляемая преобразователем частот 12.

При изменении расположения опоры 10 коромысла, которая перемещается по направляющим 11, изменяется нагрузка (см. рис. 2), действующая на диск 4. Тогда усилие будет зависеть от отношения плеч коромысла. В свою очередь, для плавного и точного движения штока 2, действующего на диск, используются ролики 4, расположение которых показано на рис. 3. Для плавной и спокойной работы с целью предотвращения изгибающего момента пружина устанавливается в специальные стаканы 4, которые располагаются в цилиндре 5.

Использование роликов позволяет в процессе проведения эксперимента сохранять горизонтальное расположение штока и плавно совершать возвратно-поступательное движение.

Так как точка приложения силы  $F$  смещена относительно оси балки 1

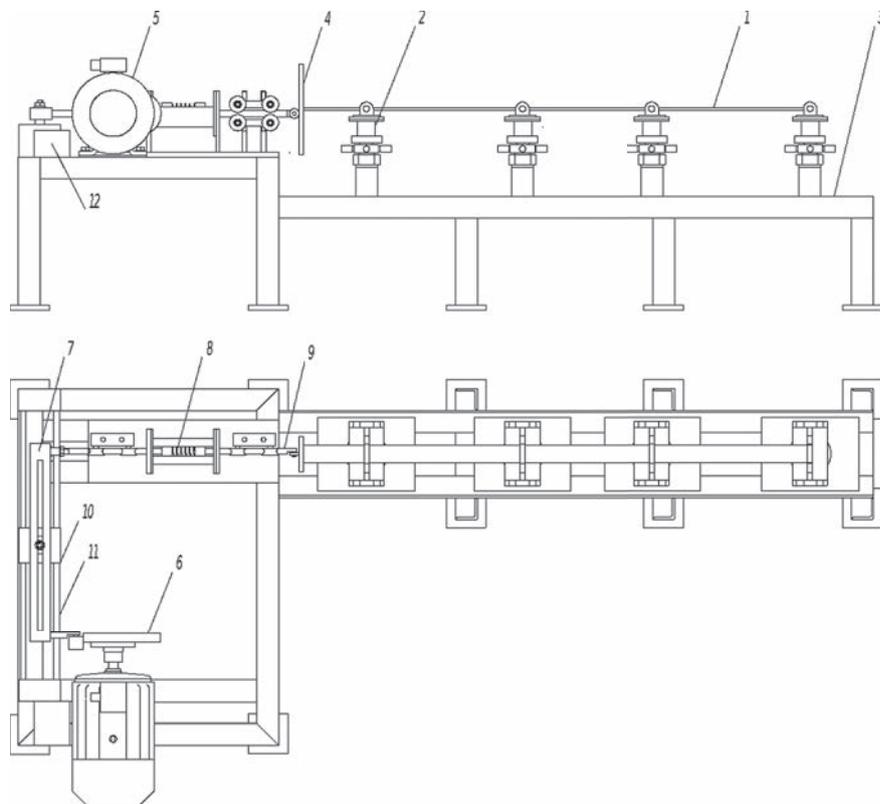


Рис. 2. Конструкция экспериментальной установки

1 – исследуемая балка; 2 – опоры балки; 3 – рама; 4 – диск; 5 – асинхронный двигатель; 6 – кулачок; 7 – коромысло; 8 – пружина; 9 – нажимное устройство; 10 – передвижная опора коромысла; 11 – направляющие коромысла; 12 – преобразователь частот

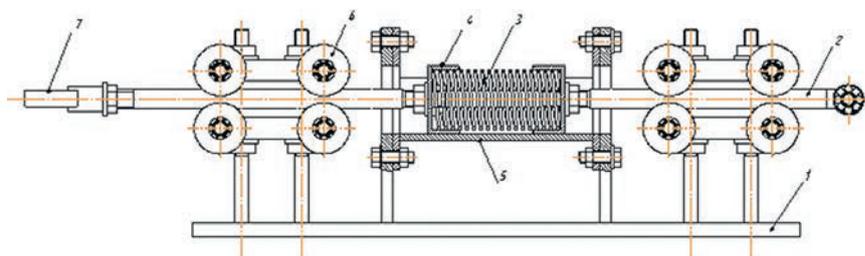


Рис. 3. Схема расположения пружины в цилиндре и расположение штоков в роликах

1 – основание; 2 – шток; 3 – пружина; 4 – стакан; 5 – цилиндр; 6 – ролик; 7 – штанцер

на величину  $l$  ( $l$  – расстояние от оси балки 1 до точки действия усилия  $F$ ), то на балку помимо продольной силы  $F$  действует переменный изгибающий момент  $M = Fl$  (рис. 4).

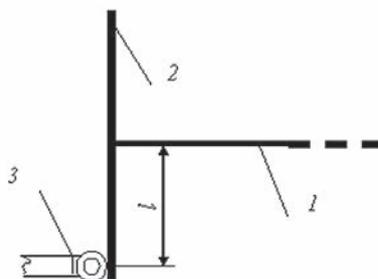


Рис. 4. Общий вид действия усилия нажимного устройства на диск

1 – балка; 2 – диск; 3 – нажимное устройство

Измерительная система для исследования механических перемещений балки экспериментальной установки

представляет собой устройство, которое состоит из потенциометра  $R_1$ , последовательно соединенного с балластным резистором  $R_0$ , работающим по потенциометрической схеме. Потенциометр представляет собой резистор с подвижным отводным контактом (движком). Большинство разновидностей переменных резисторов могут использоваться как в качестве потенциометров, так и в качестве реостатов, разница – в схемах подключения и в назначении (потенциометр – регулятор напряжения, реостат – силы тока). В нашем случае потенциометр представляет собой регулятор напряжения.

При каждой частоте  $\nu$  измеряется прогиб  $y$  колебаний на конце балки осциллографом. Из теории колебаний известно, что при совпадении частот вынужденных и собственных колебаний амплитуда колебаний системы максимальна. Поэтому наибольший размах

амплитуды будет соответствовать собственной частоте (резонансная частота). Для более точного определения собственной частоты по показаниям осциллографа строятся графики зависимости амплитуды колебаний балки от частоты задаваемой нагрузки, то есть строится амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

Далее выполнена оценка влияния износа протяженной опоры на собственную частоту балки диаметром  $d = 14$  мм при разной длине опоры  $l_2$  (рис. 5). Общая длина балки составляет 2 м. Масса диска  $M = 4$  кг.

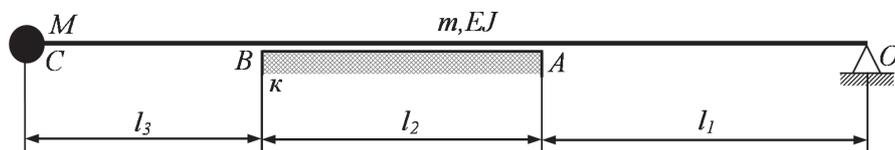


Рис. 5. Расчетная схема балки на протяженной опоре

На рис. 6 представлена зависимость влияния длины протяженной опоры  $l_2$  на собственную частоту поперечных колебаний балки с учетом износа  $y_k$ :

$$\left| \frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_i} \right| \cdot 100\%, \quad (6)$$

где  $\omega_0$  – собственная частота балки при  $y_k = 0$  мм;  $\omega_i$  – то же при  $y_k = i$  мм, здесь  $i = 1...5$ .

Как видно из полученного графика, увеличение износа дейдвудного подшипника приводит к уменьшению собственной частоты поперечных колебаний валопровода [10–12]. Это прямое доказательство того, что явление резонанса может произойти при рабочих частотах валопровода. Поэтому одна из главных причин интенсивных поперечных колебаний – определенный уровень износа дейдвудного подшипника, влияющий на укладку вала, и соответствующее перераспределение реакций от весовых нагрузок на вал, а также поперечные силы взаимодействия в паре гребной

вал–гребной винт [13–16]. Без расчета поперечных колебаний невозможно полное определение нагрузок в паре гребной вал–гребной винт, а также в точках соединения вала и двигателя и опорных точках гребного вала. Существенное влияние поперечные колебания оказывают на надежность и эффективность работы дейдвуда, а также на стабильность износа облицовки гребного вала.

Также полученный график позволяет сделать вывод, что с укороченной втулкой установки, моделирующей кормовой дейдвудный подшипник, уменьшение собственной частоты  $\omega$  балки

идет интенсивнее по сравнению с удлиненными втулками.

Проведенные экспериментальные исследования на специально спроектированной и изготовленной установке позволяют оценить влияние длины и величины износа кормового дейдвудного подшипника на собственную частоту судового валопровода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Румб В. К. Прочность судового оборудования. Конструирование и расчет прочности судовых валопроводов: учебник. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2008. – 298 с.
2. Рубин М. Б., В. Е. Бахарева. Подшипники в судовой технике: Справ. – Л.: Судостроение, 1987. – 344 с.
3. Виноградов С. С., Гавриш П. И. Износ и надежность винто-рулевого комплекса судов. – М.: Транспорт, 1970. – 232 с.
4. Халаякин, А. А. Разработка методики определения допускаемых износов дейдвудных капролоновых подшипников на основе расчетов поперечных колебаний валопроводов судов: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.08.04. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2014. – 148 с.

5. Вязовой Ю. А., Завазюн Г. Ю., Сергеев Л. В. Диагностика зазоров в дейдвудных подшипниках судового валопровода//Рыбное хозяйство. – 1977. – № 5. – С. 41–42.
6. Комаров В. В. Состояние укладки гребных валов на дейдвудных опорах.//Вестник Астраханского ГТУ. – 2006. – № 2 (31). – С. 259–267.
7. Мамонтов В. А., Халаякин А. А., Кушнер Г. А., Разов И. О. Оценка влияния жесткости материала кормового дейдвудного подшипника на работоспособность судового валопровода//Вестник Астраханского ГТУ: Сер. Морская техника и технология. – 2017. – № 4. – С. 80–87.
8. Никитищев В. Е. Метод диагностирования технического состояния дейдвудного устройства//Судоремонт флота рыбной промышленности. – 1980. – № 42. – С. 11–13.
9. Патент 111636 РФ МПКG01F1/00. Установка для исследования продольно-поперечных колебаний балки/Мамонтов В. А., Павлов В. А., Мионов А. И., Халаякин А. А., Чаплыгин В. А. (Россия). № 02011109276/28; заяв. 11.03.2011; опубл. 20.12.2011//Бюлл. № 35.
10. Халаякин А. А., Мамонтов В. А., Кушнер Г. А., Куряшин И. А. Оценка влияния расположения опор судового валопровода на его жесткость.//Вестник Астраханского ГТУ: Сер.: Морская техника и технология. – 2017. – № 3.
11. Халаякин А. А., Ауслендер А. Я. Оценка влияния упругих свойств кормового дейдвудного подшипника на значение собственной частоты при линейных поперечных колебаниях судового валопровода//Вестник ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2018. – Т. 10. – № 5. – С. 983–992.
12. Grebe E., Loshadkin D. V., Kushner G. A., Haljavin A. A., Dudanov A. A. Experimental research about friction and wear of antifriction materials for port's/coastal and maritime machinery or equipment and analysis of parametric oscillations of ships shafting with new composite stern-tube bearings//Proceedings of 19th International Marine Industries Conference (MIC 2017). – Kish Island, Iran, 2017.
13. Halyavkin A., Razov I., Mamontov V., Kushner G. Determination of stiffness coefficient of stern shaft bearing/IOP Conference. – Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing. – 2017. – Vol. 90. – Is. 1.
14. Kozousek P., Davies V.M. Analysis and survey procedures of propulsion system: alignment//LR Technical Association. – Paper № 5. – Session 1999–2000. – Lloyd's Register of Shipping, London, 2000.
15. Latron Y., Nielsen A., Pentikaeinent R. The why and how of shaft alignment the shipyards approach to design and installation//Transactions of the Institute of Marine Engineers. – 1979. – Vol. 91. – № 4. – P. 3–11.
16. Larsen O. C. Some considerations on marine shafting design. – Transactions of the Institute of Marine Engineers. – 1979. – Vol. 91. – № 4. – P. 12–23. ■

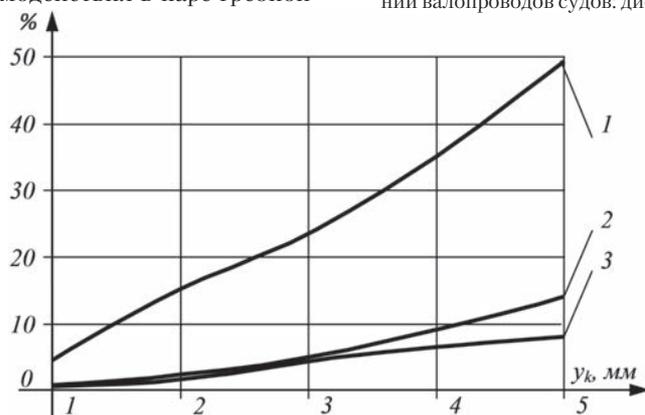


Рис. 6. Влияние длины протяженной опоры  $l_2$  на собственную частоту поперечных колебаний балки с учетом износа  $y_k$

1 –  $l_2 = 25$  мм; 2 –  $l_2 = 50$  мм; 3 –  $l_2 = 100$  мм

Известно, что в судостроении используются и по-прежнему используются различные виды механических и электромеханических устройств с зубчатыми колесами, к примеру, деформационные манометры, тахометры, работометры, хронометры, различные механизмы индикаторного типа. К таким судовым устройствам и приборам предъявляют повышенные требования, связанные со спецификой их эксплуатации. Известно, что в существующей практике достаточно часто применяют приборы блокировки крайних положений различных поворотных устройств, например, стрелы судового крана [1].

В состав поставляемой АО «НПФ» Меридиан» системы совместного безопасного применения оружия (ССПО) «Блокировка» входят приборы-датчики, в которых применяется цилиндрическая эвольвентная зубчатая передача для передачи вращательного движения. Данные приборы предназначены для выдачи информации об угловом положении судового оборудования и при необходимости – для своевременной блокировки его движения [2]. Можно также отметить, что в настоящее время разработана система ССПО третьего поколения, реализованная на современной отечественной элементной базе с применением микропроцессорной техники, программируемых логических схем, что позволяет решить системные задачи на программном уровне [3].

Сейчас основными направлениями развития судового приборостроения являются повышение технологичности конструкций приборов и их качества за счет внедрения новых технологических процессов и использования новых видов материалов. Для современных видов промышленных изделий характерна достаточно широкая номенклатура при сохранении устойчивой тенденции к снижению их себестоимости. При этом важно отметить, что в настоящее время появилась необходимость в выпуске различных модификаций того или иного изделия, в том числе и небольшими партиями.

Следует особо отметить, что в настоящий период совершенствования техники достаточно широко стали использовать современные виды пластмасс и полимерных композиционных материалов для изготовления деталей преимущественно малогабаритных механизмов. Специфические свойства пластмасс позволяют улучшать как экономические, так и технические характеристики деталей различных механизмов.

Все выше отмеченное относится к проектированию и изготовлению зубчатых передач, которые используются во многих различных исполнительных механизмах судового оборудования. К примеру, применение в передачах зубчатых колес из полимерно-композиционных материалов позволяет добиться высокой плавности хода, уменьшения виброакустической активности, а также снижения потерь на трение. К недостаткам таких зубчатых передач обычно относят относительно небольшую изгибную прочность зубьев, а также то, что не всегда можно обеспечить требуемую надежность передач. Поэтому в некоторых вариантах цилиндрических зубчатых передач использование полимерных материалов неоправданно. Известно, что в среднем эвольвентный зуб цилиндрического зубчатого колеса со стандартным исходным контуром из полиамида по статической прочности уступает зубу из закаленной стали примерно в 7 раз [4]. Однако применение армирующих элементов позволяет в той или иной мере компенсировать такие недостатки полимеров в плане прочностных характеристик, что позволяет повысить нагрузочную способность зубчатых передач.

Достаточно давно известны работы [5, 6], в которых предложены различные варианты армирования зубчатых колес.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ПРИ ИХ МЕЛКОСЕРИЙНОМ И ЕДИНИЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**В.А. Зинков**, аспирант, инженер-конструктор 1-й категории АО «НПФ «Меридиан»,

**В.М. Медунецкий**, д-р техн. наук, проф. Университета ИТМО, контакт. тел. (812) 233 5898, +7 (965) 762 5001

Например, зубчатый венец изготавливается из полимерного материала, а диск и ступица – из другого. Армирующие элементы обычно выполняются из стали, сплавов алюминия, имеющих малую плотность ( $2700 \text{ кг/м}^3$ ) и обладающих достаточной прочностью, теплопроводностью, хорошей обрабатываемостью резанием. При необходимости такие внутренние элементы могут быть защищены соответствующими покрытиями. Преимуществами таких конструкций являются повышенная несущая способность соединения вал–ступица, стабильность размеров зубчатого венца, а недостатками – повышенные затраты при литье под давлением за счет дополнительных расходов на изготовление, установку и крепление арматуры в литевой форме. Армирование пластмассовых зубчатых колес металлическими вставками имеет целью обеспечить жесткую, надежную посадку колеса на вал, частично компенсировать влияние усадки материала на точность изготовления колеса, улучшить теплоотвод и размерную стабильность. Для снижения концентрации напряжений в местах соединения зубчатого венца с армирующими вставками необходимо предусматривать скругление острых кромок, а также изготавливать их с максимально возможными радиусами скругления.

Однако на практике данную технологию целесообразно реализовывать только при серийном и крупносерийном производстве зубчатых передач, так как для их изготовления требуется дорогостоящее литейное оборудование. Поэтому данную технологию нецелесообразно применять для изготовления небольших партий зубчатых колес.

При мелкосерийном производстве оправдано формование зубчатых колес в формообразующих оболочковых матрицах из полимерных композиционных материалов, при этом мастер-модели можно выполнять с помощью аддитивных технологий.

Для повышения нагрузочной способности в некоторых вариантах целесообразно использовать армированные зубчатые колеса с несимметричным профилем (рис. 1). Снижение контактных и изгибных напряжений в таких передачах

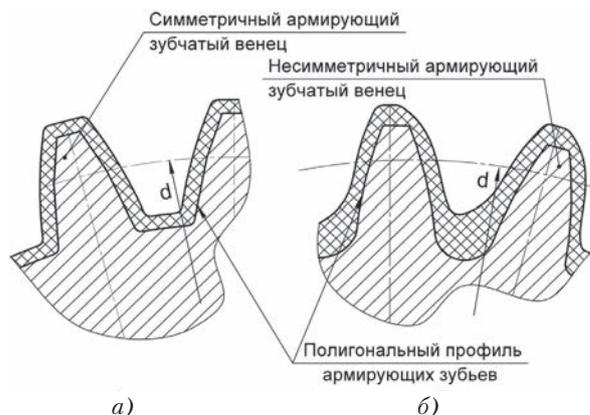


Рис. 1. Фрагмент зубчатых венцов с симметричным профилем зуба (а) и с несимметричным (б)

достигается без изменения числа зубьев увеличением угла профиля на рабочих поверхностях зубьев с одной стороны. В этом случае скорость скольжения по отношению к скорости качения снижается, а это позволяет уменьшить износ и повысить КПД [7]. Зубчатые колеса с несимметричным профилем следует использовать в тех случаях, когда нагрузка в прямом и обратном направлении вращения зубчатых звеньев может быть различна либо она одинакова, но с различным временем воздействия на рабочие поверхности зубьев. В любом из этих вариантов можно обеспечить практически одинаковый срок службы несимметричных рабочих поверхностей.

Изготовить требуемый армирующий зубчатый венец можно с помощью лазерной или гидроабразивной резки. Однако при мелкосерийном или единичном производстве имеется возможность изготовить армирующий зубчатый венец из металлического диска на универсальном оборудовании дисковым инструментом с прямолинейной режущей кромкой по методу дискретного огибания.

На рис. 2 показан принцип формирования профильной кривой зуба армирующего диска по данному методу в виде последовательности прямолинейных отрезков. При фиксированном положении инструмента и его перемещении вдоль оси  $Z$  последовательно нарезается каждый зуб армирующего элемента диска (при каждом повороте на угловой шаг). К примеру, после предварительного профилирования впадины выполняются срезы от вершины формируемого зуба к его ножке. Снимают материал последовательно с каждой стороны при соответствующем положении дискового инструмента. Таким образом, эвольвентный контур будет приближенно представлен отрезками прямой по длине от начальной точки, лежащей на основной окружности колеса впадины, до конечной точки, принадлежащей окружности вершин зубьев колеса. В качестве инструмента можно использовать тарельчатый диск, основными параметрами которого являются координаты точки привязки (центр подвеса), лежащей в плоскости рабочей зоны, и угол поворота диска в вертикальной плоскости [8].



Рис. 2. Формирование зубчатого армирующего венца по методу дискретного огибания

Также в единичном и мелкосерийном производстве зубчатые звенья можно изготавливать непосредственно на 3D-принтере. Для формирования таких зубчатых колес подходит метод послонного наплавления (Fusing Deposition Modeling, FDM), так как экструзионная методика изготовления позволяет использовать для работы термопластики. Зубчатое колесо, составные элементы которого печатаются на 3D-принтере, предлагается армировать следующим способом (рис. 3): после проектирования 3D-модели зубчатого колеса в САПР модель разбивается на диск с зубчатым венцом и замыкающий диск со ступицей. Данные два диска печатаются на 3D-принтере, затем между ними вставляется металлический армирующий диск. Все части зубчатого колеса фиксируются при помощи реактопласта. В итоге получается составное зубчатое колесо с армирующим элементом внутри (рис. 3).



Рис. 3. Зубчатое колесо с армирующим диском

Исследования показали, что для обеспечения качественной рабочей поверхности зубчатых колес из конструкционных полимерных композиционных материалов при мелкосерийном их производстве целесообразно изготавливать их путем формования в оболочковые формообразующие матрицы из современных видов реактопластов [9]. При этом внутренние поверхности, формирующие полость, представляют собой металлическую оболочку с заранее заданным микрорельефом. Металлическая оболочка формируется из тонкой ленты путем ее изгиба по контуру мастер-модели, изготовленной на 3D-принтере. Данная конструкция формообразующей матрицы представлена на рис. 4.



Рис. 4. Формообразующая матрица

Важно отметить, что при использовании зубчатой передачи в составе прибора, к которому предъявляются повышенные требования по точности, нужно использовать мелкокомодульный зубчатый венец, изготовленный все же из металла, к примеру, электроэрозионным способом. При этом остальные части цилиндрического зубчатого колеса следует выполнять из реактопласта с армирующими элементами.

Использование предложенных вариантов конструкторско-технологических решений позволяет повысить ряд технических характеристик цилиндрических зубчатых передач из современных видов пластических масс и композитов при изготовлении их в мелкосерийном и единичном производстве без применения классического зубонарезного оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каменев Г. Ф., Китарский Г. Р., Балли В. М. Подъемно-транспортные машины и палубные механизмы. – Л.: Судостроение, 1976. – 312 с.
2. Медунецкий В. М., Зинков В. А. Повышение точности электромеханического прибора-датчика для измерения угла поворота судового оборудования // Морской вестник. – 2019. – № 1 (69). – С. 112–114.
3. Научно-производственная фирма «Меридиан». Три века с флотом. События. Факты. Люди / ОАО «Концерн «Моринформ-система-Агат». – СПб., 2013. – 200 с.
4. Энциклопедия полимеров. – В 3 т. / Ред. коллегия: В. А. Каргин (гл. ред.) и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1972.
5. Элементы привода приборов: расчет, конструирование, технологии / Под ред. Ю. М. Плескачевского. – Минск: Беларус. наука. – 2012. – 769 с.
6. Старжинский В. Е., Шилько С. В., Шалобаев Е. В. Технология производства зубчатых колес из термопластичных полимерных материалов (обзор) // Полимерные материалы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 6–31.
7. Рогачевский Н. И. Измерительное межосевое расстояние эвольвентных колес с несимметричным профилем зубьев // Вестник ГТТУ им. П. О. Сухого. – 2013. – № 4 (55).
8. Медунецкий В. М. Обеспечение качественных показателей комбинированных цилиндрических передач – СПб: Политехника, 2002. – 160 с.
9. Медунецкий В. М. Особенности технологии изготовления армированных зубчатых колес с внешней металлической оболочкой // Металлообработка. – 2001. – № 1. – С. 16–18. ■

**В** настоящей работе рассматриваются особенности изменения удельной теплоемкости жаропрочных сплавов и влияние на нее характера изменения теплоемкостей железа и никеля.

В качестве материала для исследования использовались данные об удельной теплоемкости чистых металлов [1] и справочные данные [2, 3], в которых приведены значения удельной теплоемкости около 40 сталей и сплавов в диапазоне температур от 100 до 900 °С. Учитывая характер их получения, будем рассматривать эти данные как экспериментальные.

Для оценки влияния состава сплавов на зависимость их удельной теплоемкости от температуры был представлен безразмерный параметр «стеснения» всех сплавов

$$V_{отн} = \sum V_i / V_p,$$

где  $\sum V_i$  – сумма объемов металлов, составляющих сплав в чистом виде,  $V_p$  – суммарный объем этих металлов в составе сплава, определенный через его плотность  $\rho$ .

Опыт такого представления металлов [4–6] показал, что рассмотренные параметры – теплопроводность, шероховатость, степень черноты поверхности – получали вид монотонно изменяющихся зависимостей, параметр стеснения сплавов  $V_{отн}$  изменялся от 0,98 до 1,17. Характер изменения удельной теплоемкости железа и никеля представлен на рис. 1 [1].

На рис. 1 максимальные значения удельной теплоемкости металлов соответствуют «точке Кюри».

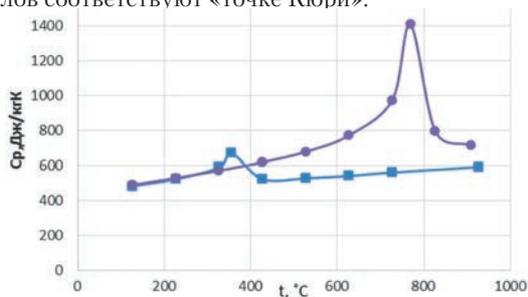


Рис. 1. Характеристики удельной теплоемкости железа и никеля [1]

● – железо, ■ – никель

Далее рассматривалось влияние этих характеристик на удельную теплоемкость сталей и сплавов и возможные их изменения при работе.

На рис. 2 представлена зависимость опытных значений удельной теплоемкости от параметра  $V_{отн}$  для температуры 600 °С. Приоритет в представлении опытных данных при этой температуре был определен в зависимости от количества таких данных.

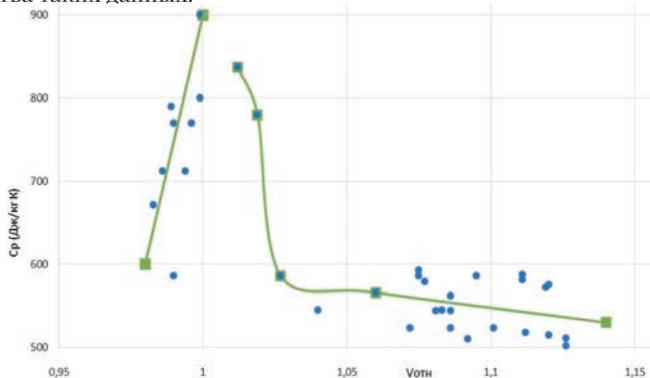


Рис. 2. Опытные данные об удельной теплоемкости сталей и сплавов при 600 °С

Стали с  $V_{отн} = 0,98–1,00$  имеют содержание железа 79–88%, с  $V_{отн} = 1,00–1,03$  – 88–65%, с  $V_{отн} \geq 1,07$  имеют содержание никеля 56–65–75%.

## ОЦЕНКА ТЕПЛОЕМКОСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА И НИКЕЛЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ «ТОЧКИ КЮРИ» ЭТИХ МЕТАЛЛОВ

**А.З. Багерман**, канд. техн. наук, руководитель секции «Судовых энергетических установок» НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, контакт. тел. +7 (921) 981 0322, Bagerman.A.Z@mail.ru

Зависимость на рис. 2 получилась с разрывом, поскольку опытных значений удельной теплоемкости сплавов при  $V_{отн} = 1,001 \div 1,012$  не было получено. Максимальное значение удельной теплоемкости сплавов при температуре 600 °С можно оценить только с помощью экстраполяции левой и правой ветвей зависимости до их пересечения.

Характеристики удельной теплоемкости при температурах 100–900 °С приведены на рис. 3. Опытные данные при всех рассматриваемых значениях температуры и  $V_{отн} = 1,001 \div 1,012$  отсутствовали. Поэтому переход с левой ветви характеристики на правую имеет разрыв.

Количество опытных данных об удельной теплоемкости сталей и сплавов при температурах 800 °С в справочных изданиях оказалось меньше практически в два раза по сравнению с данными при температуре 600 °С, а для температуры 900 °С было всего несколько значений. Поэтому для этих температур можно было построить только зависимости при параметре стеснения  $V_{отн} > 1,06$ .

Полученная характеристика состоит из трех участков: первый участок при  $V_{отн} = 0,98 \div 1,04$  характеризует сплавы на основе железа – стали 15X11МФ, ЭП291, ЭП802, ЭП479 и др.; второй участок – сплавы с содержанием железа и никеля без большого преимущества одного из них; третий участок при  $V_{отн} > 1,07$  характерен для сплавов на основе никеля, доля которого составляет от 55 до 75%.

Влияние особенностей характеристики удельной теплоемкости чистого железа заметно для сплавов с большим содержанием железа (до 88%). Удельная теплоемкость сталей с  $V_{отн} = \text{ок. } 1,0$  возросла по сравнению с теплоемкостью сплавов с большим и меньшим значением параметра стеснения. Это отличие увеличивается с ростом температуры сплава.

По характеристикам, приведенным на рис. 3, можно оценить удельную теплоемкость железа в составе разных сталей. Основным фактором, влияющим на величину удельной теплоемкости сталей при  $V_{отн} = 0,98 \div 1,06$ , является удельная теплоемкость этого металла в составе сплава. Оценка этой величины выполнена следующим образом.

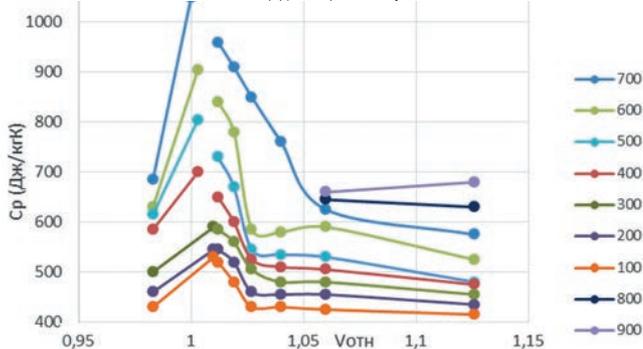


Рис. 3. Общая характеристика удельной теплоемкости жаропрочных сталей и сплавов при  $t = 100–900$  °С

Удельная теплоемкость стали или сплава может быть получена как сумма произведений удельных теплоемкостей отдельных составляющих металлов на их весовую долю в сплаве:

$$Cp_{рас} = \sum Cp_i \times g_i,$$

где  $g_i$  – весовая доля металлов, составляющих сплав.

Как следует, например, из [7], характеристики металлов могут изменяться при работе в составе стали или сплава. Если они не изменяются, то расчетная удельная теплоемкость соответствует справочному значению:  $Cp_{рас} = Cp_{сп}$ . В рассматриваемом случае это равенство можно представить в виде

$$\sum Cp(i-1) \times g(i-1) + Cp_{Fe} \times g_{Fe} = Cp_{сп}. \quad (1)$$

Формулу (1) перепишем относительно

$$Cp_{Fe} = (Cp_{сп} - \sum Cp(i-1) \times g(i-1)) / g_{Fe}. \quad (2)$$

Доля произведений легирующих металлов на их удельную теплоемкость по сравнению с произведением доли основного металла на его удельную теплоемкость составляет около 10–20% в зависимости от температуры стали или сплава, и поэтому можно представить ее неизменной и соответствующей располагаемой удельной теплоемкости и по зависимости (2) оценить величину удельной теплоемкости основного металла в стали или сплаве. Таким образом были оценены значения удельной теплоемкости железа и никеля в рассматриваемых сталях и сплавах.

Общая зависимость удельных теплоемкостей железа и никеля в составе сталей и сплавов получилась аналогичной представленной на рис. 3 в координатах  $V_{отн} = Cp_{сп}$ .

Связь удельной теплоемкости железа и никеля, работающих в составе стали или сплава, в зависимости от температуры представлена на примере сталей с  $V_{отн} = 0,98$  и  $1,00$  (рис. 4) и сплавов с  $V_{отн} = 1,06$  и  $1,126$  (рис. 5).

Характеристики на рис. 4 и рис. 5 получены как средние значения удельной теплоемкости при каждой температуре и указанных значениях параметра  $V_{отн}$ . На этих рисунках приведены и характеристики чистых металлов по [1] для сравнения.

По рис. 4 можно сравнить температурные зависимости удельной теплоемкости железа в чистом виде и в составе сталей. Характер связи с температурой у всех зависимостей одинаковый. В сталях с параметром стеснения  $V_{отн} < 0,99$  удельная теплоемкость увеличилась по сравнению с характеристикой чистого железа при всех рассматриваемых температурах, в сталях с  $V_{отн} > 0,99$  удельная теплоемкость снизилась.

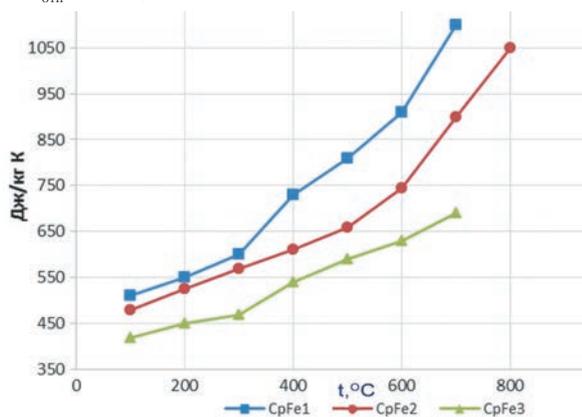


Рис. 4. Зависимость удельной теплоемкости железа в составе сталей от температуры

Аналогичное явление происходит с теплопроводностью никеля [5].

В результате в зависимости от состава стали максимальное значение удельной теплоемкости может быть меньше или больше соответствующей температуры для чистого железа, «точки Кюри».

На втором участке общей зависимости удельной теплоемкости от параметра  $V_{отн}$  температуры не оценивались.

Эшоры зависимости удельной теплоемкости никеля от температуры показаны на рис. 5. Характер зависимостей как для чистого никеля, так и для никеля, работающего в составе сплава, одинаковый. Удельная теплоемкость никеля в сплаве также отличается по величине от чистого никеля.

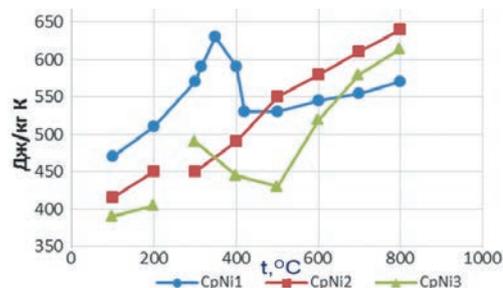


Рис. 5. Зависимость удельной теплоемкости никеля, работающего в составе сплавов от температуры

При температурах ниже 400 °C удельная теплоемкость никеля понизилась, а при больших температурах повысилась по сравнению с удельной теплоемкостью чистого никеля при одинаковых температурах для одинаковых сплавов по параметру  $V_{отн}$ .

Всплеск удельной теплоемкости при температурах 300–400 °C для чистого никеля сместился относительно никеля, работающего в сплаве, при 200–300 °C.

Ввиду отсутствия опытных данных при резком увеличении удельной теплоемкости никеля в диапазоне температур от 200 до 300 °C зависимости имеют разрыв.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящей работе рассмотрено влияние особенностей характеристик удельной теплоемкости никеля и железа в окрестностях «точки Кюри» на характеристики удельной теплоемкости жаропрочных сплавов на основе этих металлов.

2. Использование безразмерного параметра представления сталей и сплавов позволило получить общую характеристику удельной теплоемкости около 40 жаропрочных сплавов на основании железа или никеля, что позволяет прогнозировать эту характеристику для материалов при отсутствии опытных данных.

3. Наличие «точки Кюри» на характеристике железа отразилось на разных сплавах по-разному. Так, на сплавах с параметром стеснения  $V_{отн} = \text{ок. } 1,00$  наличие «точки Кюри» сказалось при температурах сталей примерно от 100 °C и выше. Для других сталей это влияние оказалось значительно меньше. Для сплавов на основе никеля при  $V_{отн} > 1,06$  заметного влияния «точки Кюри» никеля не выявлено. Диапазон температур проявления «точки Кюри» для никеля в сплавах на его основе снизился примерно на 100 °C.

Диапазон температур проявления «точки Кюри» для железа в сплавах на его основе с  $V_{отн} < 0,99$  сместился в сторону меньших температур материала, а с  $V_{отн} > 0,99$  – в сторону больших температур по сравнению с диапазоном температур чистого железа [1].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах: Справ. – М.: Металлургия, 1989. – 385 с.
2. Масленков С.Б., Масленкова Е.А. Стали и сплавы для высоких температур: Справ. – В 2 кн. – М.: Металлургия, 1991. – 383 с.
3. Справочник по авиационным материалам. – Т. 3: Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали и сплавы. – М.: Машиностроение, 1965. – 632 с.
4. Багерман А.З. Оценка степени черноты сталей и сплавов по степени черноты составляющих их металлов // Газотурбинные технологии. – 2020. – № 4. – С. 38–40.
5. Багерман А.З. Оценка возможности прогнозирования коэффициента теплопроводности сплавов на основе никеля и железа // Тяжелое машиностроение. – 2020. – № 7–8. – С. 25–28.
6. Багерман А.З., Хорошев В.Г. Трансформация шероховатости поверхности жаропрочных сплавов в результате их окисления // Тяжелое машиностроение. – 2020. – № 10. – С. 20–22.
7. Багерман А.З., Леонова И.П., Киришина А.А. Оценка теплопроводности металлов при работе в составе сплавов // Газотурбинные технологии. – 2020. – № 1. – С. 30–32. ■

3 июня 2021 г. акционерному обществу «МНС» исполняется 30 лет. За эти годы предприятием приобретен значительный опыт и накоплены собственные уникальные компетенции в деле создания современных систем управления судном, сформирован коллектив высокопрофессиональных специалистов, способных успешно решать задачи любой сложности.

На протяжении трех десятилетий АО «МНС», разработчик и производитель навигационных, гидрографических, гидрометеорологических, гидроакустических систем, морской техники и систем автоматизации для судостроительной отрасли, убедительно доказывает свою конкурентоспособность и соответствие высоким требованиям, предъявляемым к качеству выпускаемых изделий и комплексов.



**Генеральный директор АО «МНС»  
К.А. Смирнов**

Совместное советско-норвежское научно-производственное предприятие по выпуску аппаратно-программных комплексов специального назначения, получившее название ЗАО «Морские навигационные системы», образовано в 1991 г. Среди первых учредителей – норвежская компания Norcontrol (Norcontrol Kongsberg), разработчик и производитель оборудования для морского применения, и советские предприятия: НПО «Равенство», «Азимут», ЛПО «Лен-электронмаш», ВО «Морсвязьспутник», ЦНИИМФ. 25 апреля 1991 г. в норвежском городе Хортен стороны подписали учредительные документы. Точкой отсчета и началом реализации далеко идущих планов стало 3 июня 1991 г. – дата государственной регистрации ЗАО «МНС» в мэрии Санкт-Петербурга.

Основная деятельность компании реализовывалась сразу в нескольких направлениях: организация серийного производства, сбыт и сервисное обслуживание интегрированных навигационных комплексов, систем управления движением судов, а также информационных технологий и соответствующего программного продукта, базирующихся на разработках Norcontrol и советских разработках и технологии в области морского и иного приборостроения.

## ДЕЛАЕМ НЕДОСТУПНОЕ ВОЗМОЖНЫМ

**К.А. Смирнов**, канд. техн. наук, заслуженный конструктор  
Российской Федерации, генеральный директор,  
**В.С. Кожевников**, коммерческий директор, АО «МНС»,  
контакт. тел. (812) 320 3840



**Демонстрация ИМС, производства АО «МНС». Выставка «НЕВА»**

В компании в те годы трудились около 30 молодых высококвалифицированных специалистов, имеющих опыт работы на отечественных и зарубежных верфях. Уже к 1995 г. ЗАО «МНС» стало предприятием с миллионными оборотами. Состав учредителей к этому времени изменился, предприятие стало полностью российским, коллектив прирастал новыми кадрами.

Основой стратегической концепции развития компании стали выпуск конкурентоспособной продукции в области навигации, радиосвязи, автоматизации оборудования и успешная ее реализация с предоставлением заказчикам услуг полного технологического цикла. Научные изыскания, проектирование, изготовление, комплексирование изделий, разработка специального программного обеспечения, монтаж оборудования и пусконаладочные работы, проведение швартовых и ходовых испытаний, включая ревизию и обязательное гарантийное и послегарантийное обслуживание, осуществляются с учетом специфики каждого заказчика.

Компания успешно вышла на международный рынок. Реализованы масштабные проекты для Германии, Норвегии, Индии, Греции, Кипра, Республики Корея, Эстонии и других стран.

С 1996 г., с момента принятия Международной морской организацией (ИМО) эксплуатационных стандартов для интегрированных мостиковых систем (Резолюция 64,67), АО «МНС» производит и устанавливает ИМС на гражданских и коммерческих судах, а также на кораблях специального назначения. Гордостью компании стал патент на изобретение *корабельной интегрированной мостиковой*

*системы* (ИМС) (№2453909, зарегистрирован в Госреестре 20.06.2012 г.), закрепляющий право АО «МНС» на данную систему. Патент реализуется при разработке и поставке ИМС. Это выполненный с учетом требований эргономики, современный пост управления судном, куда на дисплеи ИМС выводится вся информация от корабельных средств управления, связи, навигации, освещения обстановки, индикации, сигнализации. ИМС состоит из базовых секций и комплектуется по требованию заказчика. Программное обеспечение ИМС строится по модульному принципу и разрабатывается с учетом возможности его последующей модернизации. АО «МНС» выполняет полный цикл работ: от участия в разработке и согласовании ТЗ на систему до изготовления, испытаний и передачи заказчику. Система производится серийно, соответствует требованиям классификационных обществ и заслуженно пользуется спросом у судовладельцев. Более 200 таких систем поставлено в период с 1998 по 2021 г.

С 1999 г. АО «МНС» приступило к оснащению судов системами автоматизации, ГРЩ и распределительными устройствами, построенными на собственных аппаратной и программной базах. В первую очередь это микропроцессорные модульные комплексы, на базе которых создаются системы контроля и управления различными судовыми техническими средствами. Программное обеспечение защищено свидетельствами Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

С 2000 г. серийно производится *система машинных телеграфов и тахометров гребных валов* (патент на изобретение

№131695, зарегистрирован 27.08.2013 г.). Изделие предназначено для передачи команд об изменении хода корабля и получения подтверждений об их приеме, индикации частоты и направления вращения гребных валов на показывающих приборах ТГВ. Более 70 систем поставлено заказчиком (в том числе на экспорт) с 2000 по 2021 г.

С 2000 г. АО «МНС» разрабатывает и поставляет заказчикам *электронные навигационные информационные системы* ЭНИС. Сочетание многофункциональности с удачным интерфейсом делает систему удобной в эксплуатации. Изделие разработано в соответствии с требованиями Конвенции SOLAS, Резолюций ИМО, Циркуляров ИМО, Стандартов МЭК и способно удовлетворить любые запросы и требования профессионального судоводителя.

С 2002 г. АО «МНС» разрабатывает и производит *тренажерные комплексы*, используемые для профессионального обучения моряков и других специалистов. Тренажеры изготавливаются серийно и поставляются в учебные заведения и центры подготовки мореплавателей.

В 2007 г. специалисты АО «МНС» приступили к созданию на базе ЭНИС *автономного мобильного комплекта судоводителя морских судов*.

*Автоматизированные комплексы гидрометеорологического обеспечения*, выпускаемые предприятием с 2008 г., позволяют проводить весь спектр измерений и наблюдений за состоянием погодных условий и поверхности моря (океана) и играют важную роль в обеспечении безопасности мореплавания.

С середины нулевых годов АО «МНС» участвует в проектах по разработке и созданию *многофункциональных комплексов для оснащения подводных аппаратов различных классов и назначений*. Опыт предприятия по созданию функционально и конструктивно законченного самостоятельного изделия – *мобильного поста управления подводно-техническими работами* (МПУ ПТР) может быть использован при разработке и производстве любых комплексов подводных аппаратов. Особое внимание разработчиков акционерного общества обращено на *подводные роботизированные комплексы*, предназначенные для работ в Мировом океане. Компетенции компании в этой области постоянно расширяются.

В 2016 г. в рамках импортозамещения специалисты АО «МНС» приступили к созданию *тифона электрического судового «ТЭС-75»*, предназначенного для подачи всех видов звуковых сигналов маневроуказания и предупреждения в соответствии с требованиями МП-ПСС-72 для кораблей и судов длиной от 75 до 200 м. В 2018 г. разработан тифон электрический судового «ТЭС-20»

для кораблей и судов длиной от 20 до 75 м. На сегодняшний день это единственные в РФ судовые электрические звукосигнальные средства такого класса.

В 2018 г. разработан *морской компьютер* для решения широкого круга задач, в числе которых – сбор, обработка и представление информации. Устройство может применяться в системах автоматизации, электронной картографии, навигации.

Также в рамках импортозамещения в 2019 г. компания приступила к проработке создания *комплекса активной защиты от коррозии и обрастания валовинтовой группы и кормового подзора кораблей и судов*. Разработан облик и выполнено расчетное обоснование системы защиты теплообменников от биологического обрастания на объектах морской техники.

В том же году по договоренности с партнерами АО «МНС» началась доработка существующего прототипа *электронного навигационного секстана*. Классический секстан дополнен электронным датчиком измеряемого угла высоты светила и электронно-вычислительным блоком, обеспечивающим вычисление координат места и их автоматическую передачу непосредственно в ЭНИС или другим потребителям. Наряду со стандартными функциями система производства АО «МНС», содержащая карту звездного неба, привязанную к району плавания, не только отображает полученные от электронного навигационного секстана координаты места, но и предоставляет судоводителю возможность до начала измерений сделать выбор небесных светил по оптимальным азимутам и высотам.

Еще одним важным направлением деятельности компании является *предоставление инженеринговых услуг* и решение задач обустройства и обеспечения комплексной безопасности предприятий морской, шельфовой и портовой инфраструктуры топливно-энергетического комплекса. Вся поставляемая продукция имеет соответствующие сертификаты и отвечает самым строгим требованиям, предъявляемым условиями производства и окружающей средой. В активе предприятия – успешно выполненные работы для компаний ООО «Лукойл-Арктик-Танкер», ООО «Лукойл-Калиниградморнефть», ООО «Лукойл-Нижневожжскнефть», СП «Sakhalin Energy Investment Company», ООО «Газпром Флот», ООО «МРТС-Запад», ФГУП «Росморпорт», ПАО «Совкомфлот», МЧС, ЗАО «Севморнефтегаз», СП «Parker Drilling», Svitzer Wijsmuller, LindaLine Express, PRISCO, «Норильский никель», Odffjell и др.

С начала 2000-х гг. активная научно-техническая и маркетинговая политика АО «МНС» привели к расширению сферы деятельности предприятия. Нарастающий портфель заказов вызвал необхо-

димость модернизации производства. В 2010 г. компания приобрела производственную площадку на Волхонском шоссе, 4, оснастив ее современным оборудованием.

За высокий профессионализм и значительный вклад в развитие отечественного судостроения АО «МНС» неоднократно отмечалось дипломами и грамотами губернатора и Законодательного Собрания Санкт-Петербурга, Комитета по промышленной политике и инновациям города, администрациями Кировского и Василеостровского районов Северной столицы.

На предприятии действует Научно-технический совет, который рассматривает результаты важнейших научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ и дает рекомендации по их реализации. Разработаны десятки методик, часть которых прошла государственную аттестацию. Технические решения защищены патентами; 25 свидетельств о государственной регистрации программ успешно реализованы в специальном программном обеспечении, используемом в изделиях АО «МНС». За выдающиеся достижения и значительный вклад в области прорывных технологий и разработки современных образцов техники коллективы проектировщиков АО «МНС» дважды (в 2014 и 2018 гг.) удостоивались государственных премий Минпромторга.

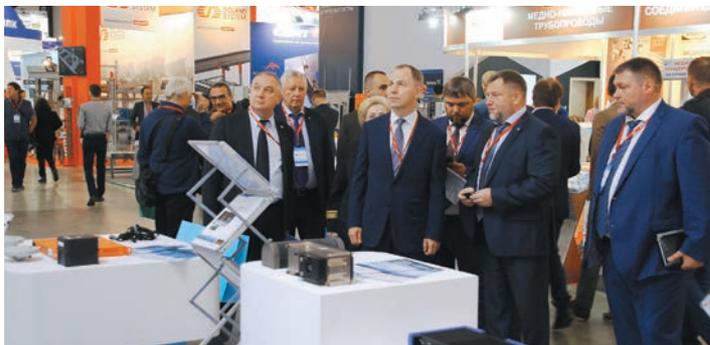


**Директор департамента АО «МНС» П.Г. Федоров награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени. Награду вручил Губернатор Санкт-Петербурга А.Д. Беглов**

Компания активно сотрудничает с научно-исследовательскими институтами и ведущими отечественными конструкторскими бюро: АО «ЦКБ «Лазурит», ЦКБ «Балтсудопроект», АО «Северное ПКБ», АО «Зеленодольское ПКБ», ПАО «ЦКБ «Айсберг», АО «ЦМКБ «Алмаз», ПАО «Невское ПКБ», АО «СПМБМ «Малахит», ФГУП «ЦКБ «Рубин», АО «КБ «Вымпел» и другими известными проектантами.

Предприятие внимательно изучает и перенимает лучший зарубежный опыт, который реализуется в конструкторских и технологических решениях. Сре-

ди партнеров АО «МНС» – признанные мировые лидеры: Teledyne RESON A/S (Дания), Autronica Fire and Security (Норвегия), Zenitel Norway AS (Норвегия), Enrico Polipodio (Италия), GEM Eletttronica S.R.L. (Италия), Sea & Sun Technology GmbH (Германия), Heinzmann GmbH & Co. KG (Германия), Cassens & Plath GmbH (Германия), FPM Holding GmbH (Германия), ZÖLLNER Signal GmbH (Германия), HENSOLDT Kelvin Hughes (Германия), CRRC Corporation Ltd (Китай), Tianjin Haoye Technologies Co., Ltd (Китай), VVLai Shandong Future Robot Co., Ltd (Китай), MERIT LILIN ENT CO., LTD (Тайвань), Parosha International B.V. (Нидерланды), DECK Engineering OÜ (Эстония), Switch Electric OÜ (Эстония), SEA Engineering Agency OÜ (Эстония), Vaisala (Финляндия), Cathelco Ltd (Великобритания), Soil Machine Dynamics Ltd (SMD) (Великобритания), Schneider Electric, FURUNO Eurus LLC и др.



**К.А. Смирнов показывает стенд АО «МНС» на выставке «НЕВА-2019» заместителю министра транспорта РФ Ю.А. Цветкову**

Успешно функционирует система менеджмента качества. Она соответствует требованиям ISO 9001:2015. Продукция сертифицирована в системах Российского морского регистра судоходства и Российского речного регистра.

АО «МНС» – постоянный участник российских и международных специализированных выставок и салонов, таких как крупнейшая в Восточной Европе гражданская судостроительная выставка «Нева» (Санкт-Петербург)

– с 2001 г., выставка морских систем и технологий «MAST», «Oil&Gas», «MIOGE», «SMM» и др.

Десятилетия стабильной работы, в течение которых не изменилось ни название предприятия, ни взятый его руководством курс на обеспечение качественной работы, позволили фирме заработать достойную репутацию.

АО «МНС» – компания с крепкими традициями. Сведения о поощрениях лучших работников заносятся в Памятную книгу общества. Утвержден Памятный знак, которым награждаются сотрудники, непрерывно проработавшие пять, десять, пятнадцать, двадцать и двадцать пять лет. В полной мере гарантированы социально-экономические права согласно Трудовому кодексу РФ на оплачиваемый отпуск, материнство, образование, медицинскую помощь, охрану здоровья и труда и др.

Благодаря сотрудничеству с ведущими вузами Санкт-Петербурга моло-



**Команда АО «МНС» по мини-футболу**

настольному теннису и шахматамполнили копилку компании грамотами, медалями и кубками победителей.

Флаг компании отныне развевается на высокогорном перевале Кату-Ярык в Алтайском крае. Его водрузил летом 2020 г. инженер-программист Дмитрий Попов, посвятив велопробег протяженностью 800 км по труднодоступной горной местности предстоящему юбилею компании.

На предприятии трудятся замечательные люди, душой и сердцем прикипевшие к своему непростому и ответственному делу, преданные профессии, отдающие ей свой богатый опыт, знания и силы.

Золотой фонд АО «МНС» – высококвалифицированные специалисты, имеющие учёные степени и звания, лауреаты государственных, региональных и ведомственных наград и премий, члены авторитетных и уважаемых общественных организаций, таких как «Гидрографическое общество», Санкт-Петербургское Морское Собрание и др.

В честь славной даты, 30-летнего юбилея компании, АО «МНС» предоставлено почетное право 3 июня 2021 г. произвести полуденный выстрел из пушки Нарышкина бастиона Петропавловской крепости.

Делая недоступное возможным, благодаря своему профессионализму и упорному труду, компания приумножает славу Санкт-Петербурга – морской столицы России. ■



**Полуденный выстрел из пушки Петропавловской крепости**

Совершенствование существующих и появление новых информационных систем в наукоемких производствах обуславливают необходимость развития научно-методического обеспечения многоаспектного и многоуровневого (на уровне предприятия в целом и на уровне его структурных подразделений) анализа и оценки качества, различного вида (экономического, прагматического, технического, технологического, организационного, эксплуатационного) эффектов и эффективности их функционирования на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) изделия [1–3]. Несмотря на множество публикуемых материалов, посвященных этой важной теме, специалисты-практики сталкиваются со сложностями при выборе и адаптации к конкретным условиям предприятия предлагаемых подходов к формированию системы критериев и показателей эффективности, математических моделей для агрегирования и расчета показателей, при выборе аналогичных систем в отрасли для сравнения полученных результатов, при сборе исходных данных и т.д. Предлагаемое исследование лежит в русле дальнейшего развития теории и практики оценки эффективности применительно к интеллектуальным системам поддержки принятия решений (ИСППР) для технологического контроля сложных технических систем (СТС), что подчеркивает его актуальность. В нем изложены подходы к оценке организационных эффектов и эффективности ИСППР, связанных с улучшением организованности деятельности (организации управления, трудовых процессов, повышения квалификации персонала) на уровне технологической системы контроля (ТСК).

Разработка модели оценки организационной эффективности функционирования ИСППР предполагает разработку схемы, в которой объединены причинно-следственными связями организационная цель и задачи внедрения интеллектуальной системы, ее основные функциональные возможности, система факторов, существенно влияющих на величину положительного эффекта, система источников, используемых для реализации тех или иных факторов, качественные критерии оценки потенциальных положительных эффектов от внедрения системы, система показателей организационного эффекта и математические модели и методы их расчета. Под *организационным эффектом функционирования* ИСППР понимается оценочная характеристика полезного результата, получаемого в результате ее внедрения в производственный процесс и приводящего к улучшению показателей организованности деятельности предприятия на различных структурных уровнях.

# ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**В.А. Смирнов**, канд. техн. наук, вед. инженер НИЛ,  
**А.В. Викторов**, начальник НИЛ, АО «Концерн «Гранит-Электрон»,  
 контакт. тел. +7 (911) 918 3391, +7 (931) 342 1670

В данной работе вопросы оценки организационного эффекта рассматриваются на примере ИСППР [4] для контроля СТС с длительным ЖЦ на уровне ТСК, представленной на рис. 1. Применение ИСППР в ТСК позволяет обеспечивать персонал ценной (репрезентативной, объективной, актуальной, своевремен-

ной, доступной, полезной, защищенной) информацией, которая формируется на основе информационных объектов, содержащихся в базе данных (БД), базе знаний (БЗ) и запросов пользователей.

Под *информационным объектом* понимается описание изделия, процессов и ресурсов в виде текстовых документов,

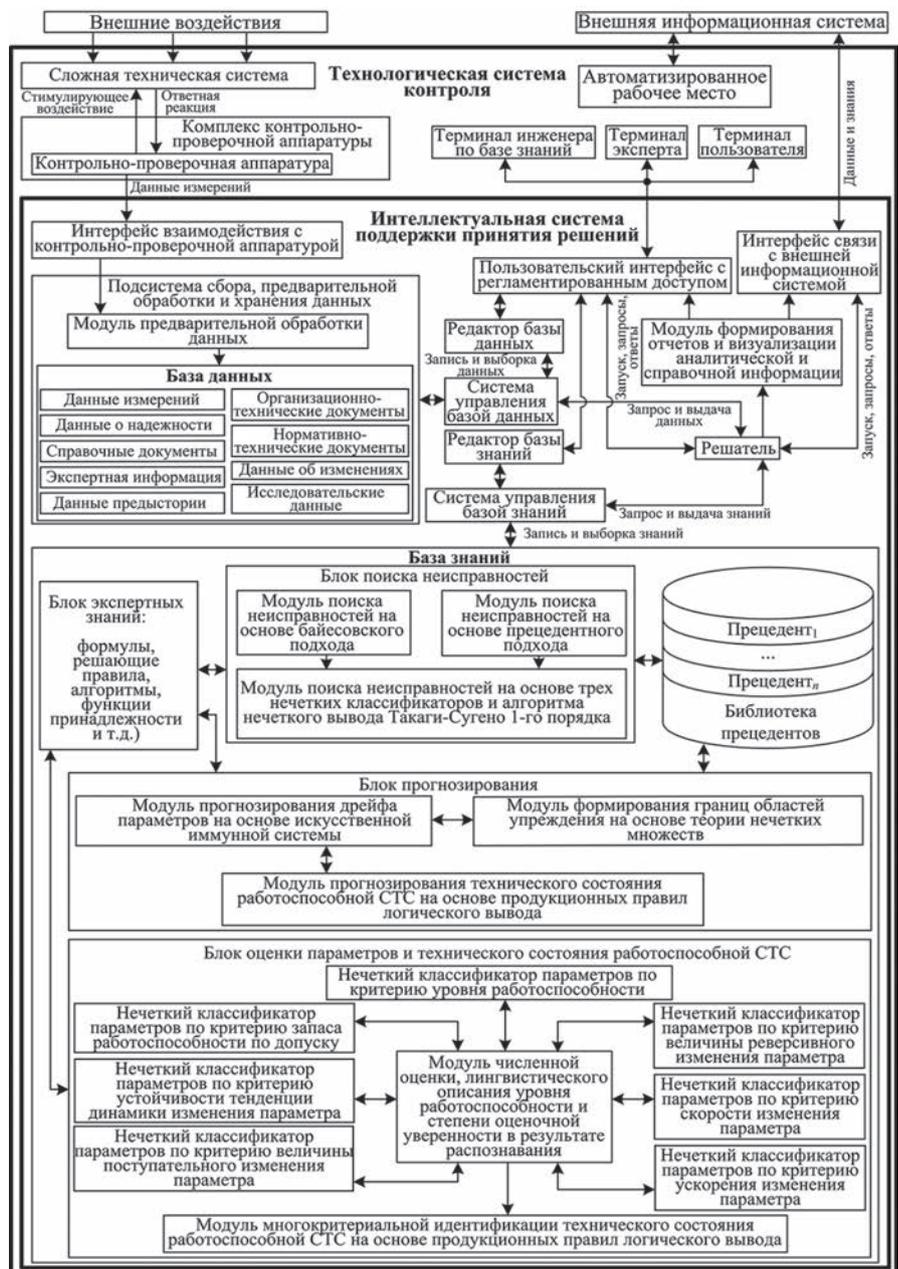


Рис. 1. Концептуальная модель ИСППР для контроля СТС

чертежей, рисунков, графиков, фотографий, формул, таблиц, алгоритмов, числовых данных, знаний и т.д., хранящихся на цифровых носителях для выполнения над ним определенных действий в компьютерных средах. Однако динамика и сроки достижения значений разных базовых показателей различны и определяются влиянием как субъективных, так и объективных факторов, например, скоростью наполнения, актуализации и адаптации БД и БЗ ИСППР. Так, скорость достижения планируемых величин эффектов, связанных с использованием БД для обеспечения персонала справочной информацией, значительно выше, чем при использовании БЗ для аналитической обработки данных вследствие особенностей обучения моделей БЗ [5–9]. Отсюда следует необходимость учета временного аспекта оценки показателей эффектов, касающегося краткосрочных и долгосрочных перспектив, многоэтапности проведения оценки с различной глубиной анализа на протяжении всего ЖЦ изделия, учета неопределенностей и рисков при определении и корректировке значений базовых показателей для сравнения.

В зависимости от стадии, на которой находится ИСППР, определены четыре вида организационного эффекта и его показателей: предварительный, потенциальный, плановый и фактический. *Предварительный эффект* от внедрения ИСППР рассчитывается на предпроектной стадии ЖЦ при разработке технико-экономического обоснования создания ИСППР, предназначенного для потенциального заказчика. Исходные данные для расчета прогнозной оценки предварительного эффекта определяются экспертным путем. *Потенциальный эффект* рассчитывается по окончании разработки технической документации на изделие на основе результатов проведенных исследовательских испытаний моделей и прогнозных экспертных оценок. После проведения предварительных и приемочных испытаний опытного образца определяется *плановый эффект*. Исходными данными для расчета являются планируемые показатели использования ИСППР. *Фактический эффект* функционирования ИСППР регулярно рассчитывается на стадии внедрения и сопровождается по результатам применения в эксплуатационных условиях. Точность оценок организационного эффекта повышается при переходе к следующему этапу ЖЦ за счет более детальной оценки динамики анализируемых показателей, факторов, влияющих на изменение величины организационного эффекта, результатов проведения корректирующих мероприятий, предложенных в рамках плана перехода от процессов «как есть» к процессам «как должно быть».

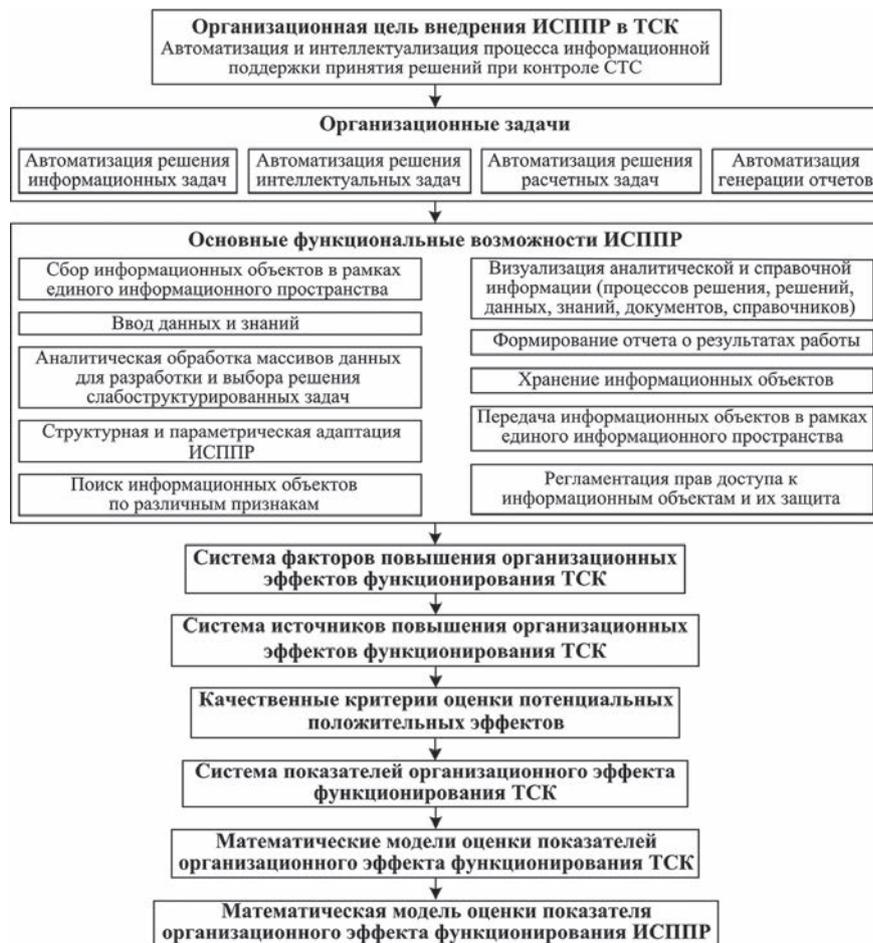


Рис. 2. Схема формирования показателя организационного эффекта функционирования ИСППР

Выбор показателей, позволяющих полно, всесторонне и количественно оценить организационный эффект функционирования ИСППР, требует проведения анализа внесенных изменений в технологию контроля, которые представляют собой потенциальный источник выгоды. Реализацией эффективного рассмотрения этих изменений является схема, иллюстрирующая предлагаемый подход к формированию обобщенного показателя организационного эффекта функционирования интеллектуальной системы на уровне ТСК и представленная на рис. 2.

Цель и задачи внедрения интеллектуальной системы в ТСК находятся в непосредственной связи со отраслевой спецификой предприятия, особенностями его состояния и функционирования. В соответствии с целью и задачами внедрения определяется функциональность ИСППР. Внедрение интеллектуальной системы сопровождается внесением изменений в ТСК, связанных с расширением функциональных возможностей. Использование ИСППР в системе контроля приводит к возникновению факторов повышения организационных эффектов функционирования ТСК, создающих условия для получения полезного результата. В табл. 1 приведена классификация и систематизация факторов

с целью обеспечения комплексного и системного подхода к исследованию их влияния на изменение организационных показателей. В табл. 2 классифицированы источники организационного эффекта, представляющие собой совокупность ресурсов, доступных для использования (имеющихся или сформированных), которые могут быть реализованы с помощью создаваемой ИСППР.

Влияние совокупности рассмотренных факторов и используемых ресурсов сопровождается проявлением положительных организационных эффектов. В качестве качественных критериев оценки потенциальных положительных эффектов от внедрения системы можно выделить:

- повышение производительности труда;
- снижение трудовых, материальных и временных затрат;
- повышение качества труда;
- оптимизация работы персонала;
- повышение степени автоматизации операций контроля;
- оптимизация доступа к результативной информации всех участников ЖЦ изделия.

На основе качественных критериев оценки организационных эффектов сформирована четырехуровневая сис-

Система факторов повышения организационных эффектов функционирования ТСК

Факторы верхнего уровня	Факторы второго уровня
Усовершенствование организации управления	Автоматизация подготовки принятия управленческого решения
	Автоматизация процесса актуализации информации об изделии, процессах и ресурсах в рамках ЖЦ
	Снижение уровня неопределенности при принятии решений
	Повышение качества управленческого решения
	Повышение уровня информационной безопасности
Усовершенствование организации труда	Повышение уровня информационного обеспечения
	Повышение уровня коммуникационного обеспечения
	Рациональное использование трудовых и материальных ресурсов
	Улучшение разделения и кооперации труда за счет организации единой информационной среды сотрудничества
	Повышение степени соответствия квалификационного уровня персонала выполняемой работе
	Формализация и тиражирование экспертных знаний
Повышение квалификации персонала	Повышение квалификации и компетентности персонала за счет обеспечения оперативного доступа к ценной информации об изделии, процессах и ресурсах, интегрированной в рамках ЖЦ изделия
	Повышение уровня восприятия, понимания и усвоения информации за счет обеспечения визуализации аналитической и справочной информации (процессов решения, решений, данных, знаний, документов, технической литературы и т.д.)
	Повышение технического уровня персонала за счет опыта работы с информационной системой

Таблица 2

Система источников повышения организационных эффектов функционирования ТСК

Источники верхнего уровня	Источники второго уровня
Повышение качества принятия решений	Повышение глубины и оперативности аналитических расчетов
	Увеличение состава, полноты, детальности и видов используемой информации
	Повышение оперативности, своевременности, актуальности и достоверности получаемой информации за счет сопоставления данных из различных источников
	Снижение влияния человеческого фактора на принятие решений за счет применения математических методов и моделей
	Повышение обоснованности, полноты, четкости и понятности решений
	Снижение риска ошибочных решений
Рациональное использование ресурсов	Сокращение потерь рабочего времени за счет устранения рутинных и автоматизации сложных операций
	Устранение дублирования усилий в получении результативной информации
	Снижение нагрузки на персонал и требований к его квалификации
	Сокращение материальных затрат, связанных с привлечением внештатных специалистов, изготовлением, копированием, доставкой и хранением документов
	Сокращение расходов, связанных с набором, обучением и подготовкой персонала
	Сокращение длительности обучения персонала
Снижение трудоемкости операций	Сокращение затрат на сбор, обработку, хранение и передачу информации
	Сокращение затрат на анализ проблем и синтез решений

тема количественных показателей, представленная в табл. 3.

Для определения организационного эффекта функционирования интеллектуальной системы использован сравнительный метод оценки, который активно применяется при оценке инновационных проектов и решений по разработке и внедрению новой техники или технологии. Он позволяет проводить оценку вариантов решений, являющихся альтернативными для обеспечения производства конкретной продукции с определенными характеристиками в заданном объеме. Используя сравнительный подход, количественная оценка показателя организационного эффекта ИСППР, в качестве которого используется уровень организованности деятельности  $E_{AO}$ , может быть получена по следующей формуле:

$$E_{AO} = U_{AO}^1 - U_{AO}^2, \quad (1)$$

где  $U_{AO}^1, U_{AO}^2$  – обобщенные показатели

уровня организованности деятельности ТСК с использованием и без использования ИСППР.

Полученную количественную оценку предлагается дополнить качественной оценкой в виде лингвистического описания уровня организованности деятельности и степени уверенности эксперта в полученном результате. Такая оценка является понятной и удобной для потребителей информации и нацелена на облегчение их восприятия численных значений и, следовательно, на повышение эффективности процесса разработки управленческих решений. Для определения качественной оценки показателя предлагается использовать нечеткий классификатор, графическое изображение которого представлено на рис. 3.

Использование аппарата теории нечетких множеств обусловлено необходимостью математически формализовать нечеткую экспертную информацию, ус-

транив нечеткость информации в процессе классификации. Основу классификатора составляют формализованные лингвистические высказывания экспертов. Выбор количества и названий термов лингвистической переменной сделан на основе анализа практики использования вербальных шкал для измерения степени экспертной уверенности и позволяет обеспечить максимальную согласованность экспертных суждений при построении классификатора и минимальную трудность при его использовании. На основе результатов анализа опубликованных работ, рекомендаций по применению функций принадлежности [10, 11] и экспертных знаний предлагается использовать пятиэлементное терм-множество и систему из Z-образной, S-образной и T-образных функций принадлежности, обладающих невысокой вычислительной сложностью. Следует заметить, что вид и параметры функций принадлеж-

Иерархическая система показателей организационных эффектов функционирования ТСК

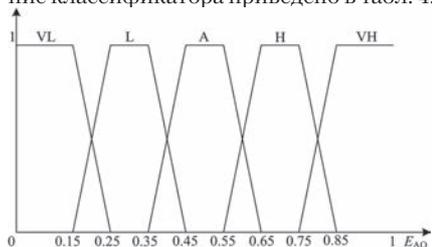
Обобщенный показатель верхнего уровня	Комплексные показатели второго уровня	Комплексные и единичные показатели третьего уровня	Единичные показатели четвертого уровня
Уровень организованности деятельности ТСК	Уровень организации управления технологическим процессом	Оперативность актуализации информационных объектов	
		Оперативность доступа к информационным ресурсам	
		Оперативность аналитической обработки информации	
		Защищенность информационных ресурсов	Контролируемость доступа к информационным ресурсам лицам, не обладающим полномочиями
			Предотвращение утери документов
	Предотвращение искажения данных и информации		
	Уровень организации труда	Коэффициент автоматизации аналитической обработки информации	
		Коэффициент автоматизации оборудования	
		Предотвращение утраты организационных знаний	
		Коэффициент обеспеченности ТСК необходимыми техническими средствами	
		Уровень технической оснащенности персонала	
	Уровень рационализации трудовых процессов	Уровень комплектования, подготовки и использования персонала	Коэффициент автоматизации труда
			Коэффициент потерь рабочего времени по организационным причинам
			Коэффициент использования внештатных специалистов
	Уровень квалификации персонала	Уровень соответствия квалификации персонала выполняемой работе	Коэффициент использования информации
Уровень охвата автоматизацией задач контроля			
Уровень квалификации персонала	Уровень затрат на внешнее обучение	Коэффициент неопределенности деятельности	

Таблица 4

Нечеткое представление показателя организационной эффективности ИСППР

Классифицируемый параметр	Лингвистическая переменная	Терм-множество	Функция принадлежности нечеткого множества
$E_{AO}$	Уровень показателя $E_{AO}$	VL – очень низкий	$\mu_Z(E_{AO}; 0,15; 0,25)$
		L – низкий	$\mu_T(E_{AO}; 0,15; 0,25; 0,35; 0,45)$
		A – средний	$\mu_T(E_{AO}; 0,35; 0,45; 0,55; 0,65)$
		H – высокий	$\mu_T(E_{AO}; 0,55; 0,65; 0,75; 0,85)$
		VH – очень высокий	$\mu_S(E_{AO}; 0,75; 0,85)$

ности могут в дальнейшем уточняться на основе анализа результатов решения конкретных задач. В качестве максимального значения показателя используется целевое значение, которое задается на основе экспертных оценок, учитывающих тенденции технического прогресса в отрасли на перспективный период. Классифицируемые показатели нормируются, так как в качестве носителя лингвистической переменной выбран единичный отрезок вещественной оси  $[0,1]$ . Описание классификатора приведено в табл. 4.

Рис. 3. Пятиуровневый нечеткий классификатор  $E_{AO}$ 

Для расчета обобщенного показателя уровня организованности деятельности ТСК ( $U_{AO}$ ) сформирована многоуровневая система количественных показателей и комплекс математических моделей для их оценки, приведенный в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что для расчета обобщенного и комплексных показателей используется нечеткая модель оценки, базирующаяся на нечеткой классификации выходного и входных пара-

метров модели и алгоритме нечеткого вывода Такаги–Сугено 1-го порядка, который широко применяется на практике и имеет высокую оценку специалистов.

Рассмотрим на примере нечеткую модель оценки обобщенного показателя  $U_{AO}$ . Модель оценки основана на использовании четырех нечетких классификаторов. Входными параметрами модели являются численные значения показателей нижестоящего уровня  $U_{MO}$ ,  $U_{OW}$ ,  $U_{PQ}$ , полученные на предыдущем этапе оценки. При помощи алгоритма нечеткого вывода и нечеткого классификатора выходного параметра (показателя  $U_{AO}$ ) определяется как количественная, так и качественная оценка  $U_{AO}$ . Все четыре классификатора построены как показано на рис. 3. Описание классификаторов приведено в табл. 6.

Алгоритм распознавания, позволяющий получить количественную и качественную оценку  $U_{AO}$ , состоит из следующих этапов:

Этап 1. Ввод исходных данных:

- $U_{MO}^*$ ,  $U_{OW}^*$ ,  $U_{PQ}^*$  и  $U_{AO}^*$  – численных значений классифицируемых параметров;
- $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  и  $U$  – лингвистических переменных;
- $T(U_1) = \{VL_1, L_1, A_1, H_1, VH_1\}$ , ...,  $T(U) = \{VL_4, L_4, A_4, H_4, VH_4\}$  – базовых терм-множеств;
- базы нечетких продукционных правил, имеющих следующую структуру:

**Правило 1:**

Если « $U_1$  есть  $VL_1$ » и « $U_2$  есть  $VL_2$ » и « $U_3$  есть  $VL_3$ », то

$$U = w_1^0 + w_1^1 U_1 + w_1^2 U_2 + w_1^3 U_3.$$

**Правило n:**

Если « $U_1$  есть  $VH_1$ » и « $U_2$  есть  $VH_2$ » и « $U_3$  есть  $VH_3$ », то

$$U_n = w_n^0 + w_n^1 U_1 + w_n^2 U_2 + w_n^3 U_3,$$

где  $w_j^0, w_j^1, w_j^2, w_j^3$  – весовые коэффициенты  $j$ -го правила ( $j = 1, n$ ), значения которых определяются экспертным путем и уточняются при обучении модели.

## Комплекс математических моделей для расчета показателей организационного эффекта ТСК

Показатель (обозначение)	Математическая модель для расчета
Оперативность актуализации информационных объектов $O_A$	$O_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{2i} - t_{1i},$ <p>где <math>t_1</math> – время создания информационного объекта; <math>t_2</math> – время появления информационного объекта в ТСК; <math>n</math> – количество внесенных изменений за период наблюдения</p>
Оперативность доступа к информационным ресурсам $O_{IR}$	$O_{IR} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{2i} - t_{1i},$ <p>где <math>t_1</math> – время возникновения оперативных потребностей (ознакомления, модификации, уничтожения и т.д.) конечного пользователя; <math>t_2</math> – время появления доступа к информационным ресурсам; <math>n</math> – количество возникших потребностей за период наблюдения</p>
Оперативность аналитической обработки информации $O_{PI}$	$O_{PI} = \frac{1}{n} (-t_{1i} + t_{2i} + t_{3i} + t_{4i}),$ <p>где <math>t_1</math> – время, затрачиваемое на отбор, систематизацию и структурирование данных из разнородных источников; <math>t_2</math> – время, затрачиваемое на определение критериев выбора альтернативы; <math>t_3</math> – время, затрачиваемое на математические вычисления и логические рассуждения; <math>t_4</math> – время, затрачиваемое на формирование альтернатив и выбор наилучшей альтернативы; <math>n</math> – количество измерений за период наблюдения</p>
Контролируемость доступа к информационным ресурсам лицам, не обладающим полномочиями $I_{AC}$	$I_{AC} = 1 - \frac{n_1}{n_2},$ <p>где <math>n_1</math> – количество обнаруженных запрещенных действий различных типов за наблюдаемый период; <math>n_2</math> – общее количество запрещенных действий, установленное в нормативных документах</p>
Предотвращение утери документов $I_{PLD}$	$I_{PLD} = 1 - \frac{n}{t},$ <p>где <math>n</math> – количество случаев утери документов; <math>t</math> – период наблюдения</p>
Предотвращение искажения данных и информации $I_{PD}$	$I_{PD} = 1 - \frac{n}{t},$ <p>где <math>n</math> – количество случаев искажения данных и информации; <math>t</math> – период наблюдения</p>
Защищенность информационных ресурсов $I_{SIR}$	$I_{SIR} = f(I_{AC}, I_{PDL}, I_{PD})$ <p>Нечеткая модель оценки <math>I_{SIR}</math> на основе алгоритма Такаги-Сугено</p>
Уровень организации управления технологическим процессом $U_{MO}$	$U_{MO} = f(O_A, O_{IR}, O_{PI}, I_{SIR})$ <p>Нечеткая модель оценки <math>U_{MO}</math> на основе алгоритма Такаги-Сугено</p>
Коэффициент автоматизации аналитической обработки информации $K_A$	$K_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_{1i}}{t_{1i} + t_{2i}},$ <p>где <math>t_1</math> – трудоемкость выполнения автоматизированных операций; <math>t_2</math> – трудоемкость выполнения неавтоматизированных операций; <math>n</math> – количество измерений за период наблюдения.</p>
Коэффициент автоматизации оборудования $K_{EA}$	$K_{EA} = \frac{n_1}{n_2},$ <p>где <math>n_1</math> – количество единиц автоматического и автоматизированного оборудования за наблюдаемый период; <math>n_2</math> – общее количество единиц оборудования ТСК за наблюдаемый период</p>
Предотвращение утраты организационных знаний $I_{PLK}$	$I_{PLK} = 1 - \frac{n}{t},$ <p>где <math>n</math> – количество случаев утраты организационных знаний вследствие ухода высококвалифицированных специалистов (пенсионный возраст, увольнение и т.д.), утраты физического носителя знаний, отсутствия формального представления знаний, потере при передаче (искажение при фиксации, непонимание при обучении и т.д.); <math>t</math> – период наблюдения</p>
Коэффициент обеспеченности ТСК необходимыми техническими средствами $K_{ST}$	$K_{ST} = \frac{n_1}{n_2},$ <p>где <math>n_1</math> – количество технических средств, применяемых в ТСК за наблюдаемый период; <math>n_2</math> – количество необходимых технических средств</p>
Уровень технической оснащенности персонала $U_T$	$U_T = \frac{n_1}{n_2},$ <p>где <math>n_1</math> – количество технических средств, применяемых в ТСК за наблюдаемый период; <math>n_2</math> – численность персонала за наблюдаемый период</p>
Коэффициент автоматизации труда $K_{AW}$	$K_{AW} = \frac{n_1}{n_1 + n_2},$ <p>где <math>n_1</math> – количество рабочих, занятых на автоматизированных работах за наблюдаемый период; <math>n_2</math> – количество рабочих, выполняющих ручные операции за наблюдаемый период</p>
Коэффициент потерь рабочего времени по организационным причинам $K_{LWT}$	$K_{LWT} = \frac{t_1}{t_2},$ <p>где <math>t_1</math> – общее рабочее время персонала ТСК за наблюдаемый период, затраченное на выполнение рутинных операций, а также потерянное в связи с недостаточной квалификацией; <math>t_2</math> – общее рабочее время персонала ТСК за наблюдаемый период</p>
Коэффициент использования внештатных специалистов $K_{UFS}$	$K_{UFS} = 1 - \frac{n_1}{n_1 + n_2},$ <p>где <math>n_1</math> – количество случаев привлечения внештатных специалистов (высококвалифицированных сотрудников организации, разработчиков, внешних консультантов) и совместителей при выполнении операций аналитической обработки информации за наблюдаемый период; <math>n_2</math> – количество случаев самостоятельного выполнения данных операций персоналом ТСК за наблюдаемый период</p>
Коэффициент использования информации $K_{IU}$	$K_{IU} = \frac{n_1}{n_2},$ <p>где <math>n_1</math> – количество случаев использования документов за наблюдаемый период; <math>n_2</math> – общее количество документов</p>

Комплекс математических моделей для расчета показателей организационного эффекта ТСК

Показатель (обозначение)	Математическая модель для расчета
Уровень комплектования, подготовки и использования персонала $U_s$	$U_s = f(K_{AW}, K_{LWT}, K_{UFS}, K_{IU})$ Нечеткая модель оценки $U_s$ на основе алгоритма Такаги-Сугено
Уровень охвата автоматизацией задач контроля $U_{OA}$	$U_{OA} = \frac{n_1}{n_2}$ , где $n_1$ – количество задач контроля, решаемых автоматизированным способом; $n_2$ – количество задач контроля, которые принципиально возможно автоматизировать
Коэффициент неопределенности деятельности $K_{UA}$	$I_{UA} = 1 - \frac{n_1}{n_2}$ , где $n_1$ – количество операций, требующих высокой квалификации персонала и возможного привлечения внештатных специалистов; $n_2$ – общее количество операций, выполняемых ТСК
Уровень рационализации трудовых процессов $U_R$	$U_R = f(U_{OA}, K_{UA})$ Нечеткая модель оценки $U_R$ на основе алгоритма Такаги-Сугено
Уровень организации труда $U_{OW}$	$U_{OW} = f(K_A, K_{EA}, I_{PLK}, K_{ST}, U_T, U_S, U_R)$ Нечеткая модель оценки $U_{OW}$ на основе алгоритма Такаги-Сугено
Коэффициент соответствия квалификации персонала выполняемой работе $K_{QC}$	$K_{QC} = \frac{n_1}{n_2}$ , где $n_1$ – количество работников ТСК, имеющих квалификацию, соответствующую выполняемой работе; $n_2$ – общее количество работников ТСК
Коэффициент затрат на внешнее обучение $K_{CE}$	$K_{CE} = \frac{c}{n}$ , где $c$ – затраты на внешнее обучение персонала ТСК за наблюдаемый период; $n$ – общее количество работников ТСК
Уровень квалификации персонала $U_{PQ}$	$U_{PQ} = f(K_{QC}, K_{CE})$ Нечеткая модель оценки $U_{PQ}$ на основе алгоритма Такаги-Сугено
Уровень организованности деятельности ТСК $U_{AO}$	$U_{AO} = f(U_{MO}, U_{OW}, U_{PQ})$ Нечеткая модель оценки $U_{AO}$ на основе алгоритма Такаги-Сугено

Таблица 6

Нечеткое представление показателей  $U_{MO}$ ,  $U_{OW}$ ,  $U_{PQ}$ ,  $U_{AO}$

Классифицируемый параметр	Лингвистическая переменная	Терм-множество	Функция принадлежности нечеткого множества
$U_{MO}$	$U_1$ – уровень $U_{MO}$	$VL_1$	$\mu_Z(U_{MO}; 0.15, 0.25)$
		$L_1$	$\mu_T(U_{MO}; 0.15, 0.25, 0.35, 0.45)$
		$A_1$	$\mu_T(U_{MO}; 0.35, 0.45, 0.55, 0.65)$
		$H_1$	$\mu_T(U_{MO}; 0.55, 0.65, 0.75, 0.85)$
		$VH_1$	$\mu_S(U_{MO}; 0.75, 0.85)$
$U_{OW}$	$U_2$ – уровень $U_{OW}$	$VL_2$	$\mu_Z(U_{OW}; 0.15, 0.25)$
		$L_2$	$\mu_T(U_{OW}; 0.15, 0.25, 0.35, 0.45)$
		$A_2$	$\mu_T(U_{OW}; 0.35, 0.45, 0.55, 0.65)$
		$H_2$	$\mu_T(U_{OW}; 0.55, 0.65, 0.75, 0.85)$
		$VH_2$	$\mu_S(U_{OW}; 0.75, 0.85)$
$U_{PQ}$	$U_3$ – уровень $U_{PQ}$	$VL_3$	$\mu_Z(U_{PQ}; 0.15, 0.25)$
		$L_3$	$\mu_T(U_{PQ}; 0.15, 0.25, 0.35, 0.45)$
		$A_3$	$\mu_T(U_{PQ}; 0.35, 0.45, 0.55, 0.65)$
		$H_3$	$\mu_T(U_{PQ}; 0.55, 0.65, 0.75, 0.85)$
		$VH_3$	$\mu_S(U_{PQ}; 0.75, 0.85)$
$U_{AO}$	$U$ – уровень $U_{AO}$	$VL_4$	$\mu_Z(U_{AO}; 0.15, 0.25)$
		$L_4$	$\mu_T(U_{AO}; 0.15, 0.25, 0.35, 0.45)$
		$A_4$	$\mu_T(U_{AO}; 0.35, 0.45, 0.55, 0.65)$
		$H_4$	$\mu_T(U_{AO}; 0.55, 0.65, 0.75, 0.85)$
		$VH_4$	$\mu_S(U_{AO}; 0.75, 0.85)$

Этап 2. Фаззификация входных параметров. Определение множества значений функций принадлежности для каждого  $i$ -го из подусловий базы правил и для всех входных параметров.

Этап 3. Агрегирование подусловий. В качестве метода агрегирования используется операция min-конъюнкции.

Этап 4. Активизация заключений каждого правила из базы активных правил. Вычисление численных значений выходных переменных  $U_{AO}$  каждого правила с использованием формул для заключений базы правил, в которые вместо  $U_1, U_2, U_3$  подставляются значения  $U_{MO}^*, U_{OW}^*, U_{PQ}^*$ :

$$U_{AOi}^* = w_i^0 + w_i^1 U_{MO}^* + w_i^2 U_{OW}^* + w_i^3 U_{PQ}^* \quad (2)$$

Этап 5. Дефаззификация выходных переменных. Для вычисления  $U_{AO}^*$  используется метод центра тяжести для одноточечных множеств и следующая формула:

$$U_{AO}^* = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i U_{AOi}^*}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (3)$$

Этап 6. Классификация  $U_{AO}^*$ . Получение качественной оценки обобщенного показателя  $U_{AO}$  в виде лингвистического описания уровня организованности деятельности ТСК и степени уверенности эксперта в полученном результате осуществляется на основе полученного численного значения, табл. 3 и следующих формул, описывающих трапециевидные функции принадлежности:

$$\mu_Z(E_{OP}; a, b) = \begin{cases} 1, & E_{OP} \leq a, \\ \frac{b - E_{OP}}{b - a}, & a < E_{OP} < b, \\ 0, & b \leq E_{OP}. \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_T(E_{OP}; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & E_{OP} \leq a, \\ \frac{E_{OP} - a}{b - a}, & a \leq E_{OP} \leq b, \\ 1, & b \leq E_{OP} \leq c, \\ \frac{d - E_{OP}}{d - c}, & c \leq E_{OP} \leq d, \\ 0, & d \leq E_{OP}. \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_S(E_{OP}; a, b) = \begin{cases} 0, & E_{OP} \leq a, \\ \frac{E_{OP} - a}{b - a}, & a < E_{OP} < b, \\ 1, & b \geq E_{OP}. \end{cases} \quad (6)$$

где  $a, b, c, d$  – числовые параметры, принимающие действительные значения и упорядоченные отношением:  $a \leq b \leq c \leq d$ .

Таким образом, вычислив численные значения  $U_{AO}^1$  и  $U_{AO}^2$ , по формуле (1) можно получить количественную

оценку показателя организационного эффекта ИСППР.

Для построения модели оценки организационной эффективности ИСППР на уровне ТСК предлагается использовать целевой подход, рассматривающий эффективность как степень достижения организационной цели. Заметим, что при таком подходе результативность ИСППР является частным случаем ее эффективности, т.е. является фактической эффективностью. В качестве организационной цели выбрано повышение качества управленческих решений, характеризующееся коэффициентом качества управленческих решений  $K_{MD}$ , который устанавливается в техническом задании экспертным путем с использованием формулы

$$K_{MD} = \frac{Q_{HMD} - Q_{PMD}}{Q_{HMD} + Q_{PMD}}, \quad (7)$$

где  $Q_{HMD}$  – количество качественных управленческих решений;  $Q_{PMD}$  – количество некачественных управленческих решений.

Следует добавить, что под *качественным управленческим решением* понимается безошибочное и своевременное решение.

В качестве показателя организационной эффективности функционирования ИСППР на уровне ТСК предлагается использовать степень достижения организационной цели  $E_{OP}$ , который может быть рассчитан по следующему выражению:

$$E_{OP} = \frac{RESULT}{PURPOSE} = \frac{E_{AO}}{K_{MD}} = \frac{U_{AO}^1 - U_{AO}^2}{K_{MD}}. \quad (8)$$

Получение качественной оценки степени достижения организационной цели, выраженной в форме лингвистического описания и дополненной численным значением степени экспертной уверенности в таком результате распознавания, осуществляется на основе нечеткого классификатора и численного значения  $E_{OP}$ , рассчитанного по формуле (8).

При построении нечеткого классификатора в качестве лингвистической переменной предложено использовать уровень показателя  $E_{OP}$ . Для предлагаемой лингвистической переменной задано следующее упорядоченное множество ее значений, каждому из которых соответствует функция принадлежности: очень низкий ( $\mu_z(E_{OP}; 0,15; 0,25)$ ), низкий ( $\mu_r(E_{OP}; 0,15; 0,25; 0,35; 0,45)$ ), средний ( $\mu_t(E_{OP}; 0,35; 0,45; 0,55; 0,65)$ ), высокий ( $\mu_s(E_{OP}; 0,55; 0,65; 0,75; 0,85)$ ), очень высокий ( $\mu_s(E_{OP}; 0,75; 0,85)$ ). Выбранные функции принадлежности для термов лингвистической переменной задаются аналитически формулами (4), (5) и (6).

Далее рассмотрим на примере процедуру получения качественной оценки состояния показателя  $E_{OP}$ . Пусть нормированное значение  $E_{OP}$  равно 0,77. Уровень показателя  $E_{OP}$  соответствует

качественному состоянию «высокий», которое характеризуется функцией принадлежности  $\mu_r(E_{OP}; 0,55; 0,65; 0,75; 0,85)$ , и «очень высокий» ( $\mu_s(E_{OP}; 0,75; 0,85)$ ). По формулам (4) и (5) вычисляем численные значения степеней экспертной уверенности в таком результате распознавания  $\mu_r$  и  $\mu_s$ :

$$\mu_r(0,77; 0,55; 0,65; 0,75; 0,85) = \frac{0,85 - 0,77}{0,85 - 0,75} = 0,8; \quad (9)$$

$$\mu_s(0,77; 0,75; 0,85) = \frac{0,77 - 0,75}{0,85 - 0,75} = 0,2. \quad (10)$$

В результате классификации показателя  $E_{OP}$  можно сделать следующее заключение: уровень  $E_{OP}$  на 80% оценивается как высокий и на 20% как очень высокий.

Рассмотренная модель оценки организационной эффективности может быть использована при анализе эффективности ИСППР для оценки текущего состояния, выявления тенденций динамики эффективности функционирования, факторов и причин достигнутого состояния, резервов повышения эффективности. При анализе эффективности ИСППР на различных этапах ЖЦ численное значение показателя  $E_{OP}$  также сравнивается с установленным в техническом задании требуемым значением  $E_{OP}$ , соответствующим виду анализируемой эффективности в зависимости от стадии ЖЦ. Если текущее значение показателя меньше его требуемого значения, то возникает необходимость срочной разработки корректирующих и предупреждающих мероприятий. В случае, когда текущее значение больше требуемого значения, принимаются меры по повышению степени реализации запланированных мероприятий. Если же текущее значение показателя эффективности оказалось больше его целевого значения, то необходимо скорректировать целевое и требуемые значения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования предложен показатель организационной эффективности функционирования ИСППР для контроля сложных технических систем на уровне ТСК – степень достижения организационной цели. Разработана математическая модель оценки организационной эффективности ИСППР, отличающаяся от известных возможностью получить как количественную оценку на основе сопоставления полученного результата (организационного эффекта интеллектуальной системы) и цели (повышение качества управленческих решений), так и качественную оценку на основе нечеткого классификатора, преобразующего полученное численное значение показателя в лингвистическую форму.

Полученные теоретические результаты позволяют снизить затраты на научно-исследовательские работы и могут быть применены при управлении качеством существующих и перспективных ИСППР на всех этапах ЖЦ в авиационно-космической, атомной, транспортной промышленности и судостроении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Smirnov V.A. et al. Fuzzy quality evaluation of the information system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering // IOP Publishing. – 2020. – Т. 919. – №. 5. – P. 052027.
2. Tolubko V. et al. Criteria for evaluating the effectiveness of the decision support system. – International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications. – Springer, Cham, 2018, p. 320–330.
3. Smirnov V.A. et al. Bayesian model for evaluating the pragmatic efficiency of an information system of technological control. – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing. – 2020. – Т. 919. – №. 5. – P. 052028.
4. Патент на изобретение №2557771(РФ) от 29.06.15 г. Способ технического контроля и диагностирования бортовых систем беспилотного летательного аппарата с поддержкой принятия решений и комплекс контрольно-проверочной аппаратуры с интеллектуальной системой поддержки принятия решений для его осуществления / М.З. Левин, В.А. Смирнов, М.В. Уланов, А.Г. Давидчук, Д.И. Буралев, С.Н. Зимин. Оpubл. 27.07.2015 // Бюл. №21.
5. Смирнов В.А. Поиск неисправностей в бортовых системах управления в процессе приемочного контроля // Информационно-управляющие системы. – 2013. – №2(63). – С. 24–28.
6. Смирнов В.А. Прецедентный подход к построению модели процесса поиска неисправностей при диагностировании сложных технических систем // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – № 6. – С. 73–78.
7. Смирнов В.А., Смирнов Д.В. Разработка концептуальной модели искусственной иммунной системы прогнозирования дрейфа параметров бортовой аппаратуры // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2017. – № 4. – С. 95–108.
8. Смирнов В.А., Смирнов Д.В. Подход к прогнозированию дрейфа критических параметров бортовой системы управления на основе модифицированного иммунного алгоритма // H&ES Research – Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2018. – №1 – С. 69–81.
9. Korshunov G.I., Smirnov V.A., Milova V.M. Multi-criteria fuzzy model for system technical condition estimation at the life cycle stages // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – IOP Publishing. – 2019. – Т. 537. – № 4. – P. 042019.
10. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – БХВ-Петербург, 2005, с. 736.
11. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB // Горячая линия – Телеком. – 2007. – Т. 288. – С. 403. ■

С 2019 г. в России группой компаний во главе с АО «Ситроникс КТ» реализуется пилотный проект по автоматическому и дистанционному управлению судами коммерческого флота БЭС-КФ как часть «дорожной карты» «Маринет» Национальной технологической инициативы [1] при поддержке Министерства промышленности и торговли РФ, с участием Министерства транспорта РФ, Росморпорт, Росморрегистр, Росморрегистр судостроения. Среди участников – ФГУП «Росморпорт», ПАО «Совкомфлот», ООО «Пола Райз», АО «НПП «АМЭ», АО «НИИ Специальных проектов», АО «ЦНИИ «Курс», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, МГУ им. адмирала Г. И. Невельского, ГУМРФ имени адмирала С.О Макарова, ФГУП «Космическая связь», Orange Business Services и др.

Стратегическая цель проекта – обеспечить массовое применение морских автономных судов (МАНС), создав необходимые правовые и технические условия. Для этого в рамках проекта создается и испытывается в реальных условиях типовой набор технологий автоматического и дистанционного судовождения (а-Навигации), определяются подходы к внедрению технологий на различных судах коммерческого флота с разным уровнем автоматизации и условий эксплуатации, создается правовое поле для проведения испытаний и коммерческой эксплуатации автономных судов.

Максимальную доступность а-Навигации для судовладельцев обеспечит использование уже существующих технологий и интеграция в международное регулирование.

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ

Одним из ключевых барьеров на пути внедрения МАНС служит отсутствие регламентированного подхода к взаимодействию МАНС и традиционных судов, на чем должна основываться логика принятия решений системами управления МАНС. Фактически – это страх, что автономные суда будут неконтролируемым и непредсказуемым новым фактором в исторически сложившейся и понятной всем практике судоходства. Это же становится причиной и нерешенных вопросов нормативного регулирования, без которых невозможно постоянное применение новых технологий в морском транспорте.

В рамках проекта БЭС-КФ разработана методология на основе фун-

## АВТОНОМНОЕ СУДОВОЖДЕНИЕ

*А.С. Пинский, ген. директор отраслевого центра «МАРИНЕТ», директор по развитию ООО «Кронштадт-НСБ», контакт. тел. +7 (921) 430 6404*

ционального подхода, получившая название «принцип полной функциональной эквивалентности». Предлагается принцип, с одной стороны, гарантирует, что при взаимодействии с другими участниками судоходства МАНС будут руководствоваться и выполнять всем известные и обязательные функции, а с другой – позволяет использовать новые технологии в рамках существующих международных конвенций, не требуя их немедленного изменения, подстраиваясь на уровне национального регулирования.

Функциональный подход к управлению судном уже является отраслевым стандартом, что зафиксировано в последней редакции «Международной конвенции о стандартах подготовки и дипломирования моряков и несения вахты», принятой в 2010 г. в Маниле (ПДНВ, International STCW Convention) [2].

На основе стандартов компетентности членов экипажа, изложенных в Кодексе ПДНВ [3], сформирован полный функциональный набор (Complete Functional Map) требований:

- планирование рейса;
- использование информации навигационного оборудования и систем поддержки принятия решений;
- определение местоположения судна;
- постоянное наблюдение за окружающей обстановкой;
- запись действий и событий во время вахты;
- маневрирование судном в соответствии с МППСС-72 [4], в том числе в сложных условиях и в крайне сложных условиях;
- управление рулем и выполнение команд, подаваемых на руль;
- управление двигателем с ходового мостика;
- проверка работы ходовых и сигнальных огней;
- радиосвязь и др.

Принцип полной функциональной эквивалентности предполагает полноценное исполнение перечисленных требований независимо от способов управления. Для обеспечения этого принципа на Complete Functional Map проецируются системы а-Навигации. Выявленные пробелы (gaps) служат функциональными требованиями к этим системам или явным ограничением на их применение в текущий момент (если реализовать необходи-

мые требования сейчас невозможно). Одновременно это позволяет обеспечить постепенный процесс внедрения технологий а-Навигации судоходной компанией, когда в зависимости от уровня автоматизации судовых процессов, отдельные функции могут исключаться из набора функций, исполняемых членами экипажа судна, с соответствующим сокращением его численности.

Для соблюдения принципа полной функциональной эквивалентности необходим симбиоз трех способов управления МАНС: автоматического, дистанционного, ручного. Выбор способа управления должен определяться судоходной компанией в зависимости от типа судна и характера его эксплуатации.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

В соответствии с описанным выше подходом сформирована системная архитектура технологического комплекса БЭС-КФ, объединяющая новые и традиционные системы, использующиеся на судах (рис. 1).

Комплекс БЭС-КФ максимально утилизирует существующие технологии:

- навигационные приборы и оборудование (РЛС, АИС, системы позиционирования, компас, гироскоп, лаг и др.);
- электронные картографические системы;
- системы управления техническими средствами (СУТС) и исполнительными устройствами (автопилот и ДАУ);
- системы управления движением по маршруту;
- бортовое радиооборудование и сигнальное оборудование;
- средства внутреннего видеонаблюдения;
- средства передачи данных.

Выявленные пробелы в функциональности существующих систем восполняются несколькими системами нового типа:

- автономная навигационная система (АНС);
- оптическая поисковая система (ОПС);
- пульт дистанционного управления (ПДУ).

В части аппаратного обеспечения указанные системы используют традиционные и доступные широкому кругу потребителей средства – программное обеспечение информационных систем.

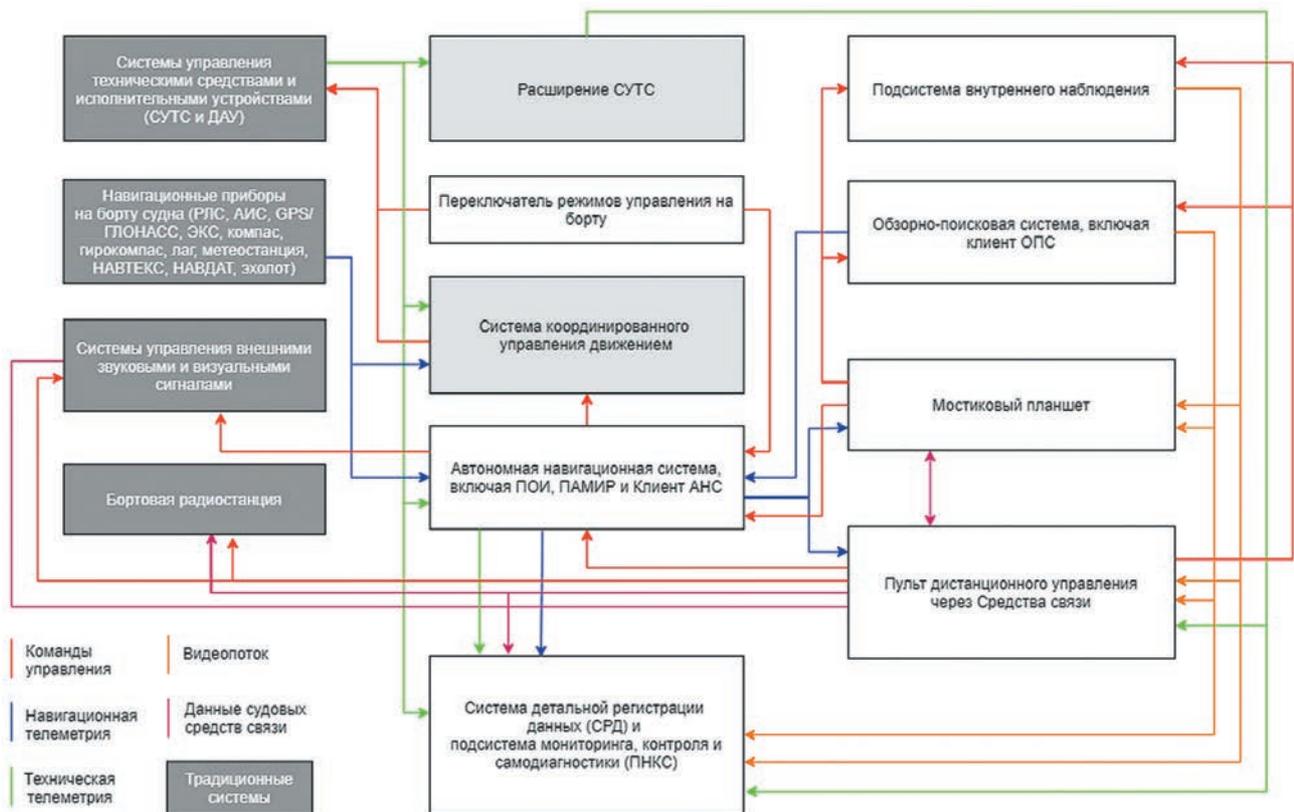


Рис. 1. Системная архитектура комплекса БЭС-КФ

АНС предназначена для выполнения функций по автоматическому анализу окружающей обстановки, переходу судна по заданному маршруту в автоматическом режиме и режиме дистанционного управления и автоматическому принятию решений по маневрированию судна с учетом его параметров и положений МППСС–72.

Состав АНС:

- подсистема обработки навигационной информации (ПОИ);
- подсистема автоматического маневрирования и расхождения (ПАМИР);
- Клиент АНС (представляющий расширенную функциональность электронно-картографической системы).

ПОИ в режиме реального времени получает и автоматически интегрирует данные доступных источников информации (РЛС, АИС, глобальные системы спутниковой навигации и позиционирования, метеостанция, ОПС и др.) о целевой обстановке, судне, состоянии систем управления движением. Полученные и интегрированные данные передаются в ПАМИР и Клиент АНС. Также данные об идентифицированных целях ПОИ передает в ОПС для учета и отображения последних.

ПАМИР осуществляет автоматическое построение маршрута движения судна в соответствии с рейсовым

заданием (предварительной прокладкой), комплексный анализ и принятие решения о маневрировании в соответствии с МППСС –72 с учетом информации о целевой обстановке, собственном судне, состоянии энергетической установки, системе управления движением. Изменения маршрута передаются в Клиент АНС для отображения и, опционально, для подтверждения (при активации соответствующей опции режима автоматического управления).

Команды на подачу звуковых сигналов, сигнальных огней и знаков передаются для исполнения на системы управления сигнализациями на судне и для отображения в Клиент АНС.

ПАМИР обеспечивает непрерывный автоматический контроль безопасности от посадки на мель или столкновения с навигационными опасностями, вызванными навигационными ошибками. Непрерывно оценивается положение судна относительно районов с особым режимом плавания. В случае возможного приближения судна к навигационной опасности (опасной изобате) или к району с особыми условиями плавания заблаговременно генерируется необходимый сигнал.

Клиент АНС отображает информацию о навигационной обстановке, о собственном судне и состоянии систем управления движением, рассчитанные ПАМИР маршруты движения

и маневры. Представление информации аналогично ЭКС – выбор нужного массива данных. Клиент АНС позволяет осуществлять прокладку маршрута рейса оператором пульта дистанционного управления (ПДУ) или с использованием мостикового планшета. Функция подтверждения маневра, в режиме автоматического управления позволяет с помощью Клиента АНС согласовывать автоматически рассчитанный маневр оператором ПДУ или экипажем на борту судна. Клиент АНС устанавливается на ПДУ и МП на борту судна.

ОПС предназначена для автоматического обнаружения и распознавания окружающих объектов. Информация о найденных объектах передается в ПОИ. Обработанное видеозображение транслируется на мостиковый планшет и ПДУ. Необработанные видеоданные всех видеокамер передаются в систему регистрации данных на борту судна. Таким образом выполняются конвенционные требования о постоянном визуальном наблюдении.

При передаче данных на ПДУ, в зависимости от пропускной способности канала связи, ОПС позволяет в автоматизированном режиме оптимизировать объем передаваемых данных за счет контролируемого изменения качества видеозображения. Конфигуратор клиента ОПС позволяет изменять качество и разрешение пере-

даваемого изображения. Дополнительная опция – построение виртуальных моделей, объединяющих сенсорные и визуальные данные.

ПДУ рассматривается как эквивалент ходового мостика и центрального поста управления в соответствии с положениями СОЛАС –74, но расположенный вне автономного судна и имеющий высокую степень автоматизации управления.

Конструкция ПДУ предполагает вывод оператору различной информации, эквивалентной информации на ходовом мостике судна, в их числе:

- интерфейсы навигационных систем, включая эквивалент ЭКС, АНС, интерфейсы управления бортовыми радарными судна;
- интерфейсы отображения видеoinформации об окружающей обстановке и управления ОПС;
- интерфейсы СУТС, позволяющей контролировать и управлять машинным отделением без присутствия человека;
- интерфейсы отображения видеoinформации и управления системой внутреннего видеонаблюдения за помещениями судна;
- интерфейсы управления движением судна (джойстиковая система);
- терминалы радиосвязи для обеспечения взаимодействия с радиооборудованием на судне;
- микрофоны и динамики для взаимодействия с системой громкой связи и получения звуковых сигналов, а также видеосвязь с экипажем на борту;
- индикаторы и интерфейсы системы настройки и диагностики комплекса а-Навигации, включая каналы передачи данных (рис. 2).

При отображении видеoinформации соблюдаются реальные угловые позиции и размеры объектов. Зона отображения видеoinформации представляет собой дугу в 180 градусов, эквивалентную реальной дуге обзора на ходовом мостике. Оператору доступны поворот изображения в горизонтальной плоскости (эквивалент перехода судоводителя на ходовом мостике к другому углу обзора), увеличение выбранной зоны обзора (аналог бинокля), переключение в инфракрасный диапазон и в виртуальную модель представления.

Организация ПДУ по аналогии с ходовым мостиком позволит сделать его использование комфортным и привычным для квалифицированных моряков и не потребует существенной переподготовки для работы с ПДУ.

ПДУ может располагаться не только на берегу, но и на борту другого судна.



Рис. 2. Вариант внешнего вида пульта дистанционного управления

## ПРАВОВЫЕ УСЛОВИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ

В рамках проекта БЭС-КФ разработан ряд документов, обеспечивающих применение средств а-Навигации на любых судах под Государственным флагом Российской Федерации.

*Верхний уровень регулирования* – федеральный закон о внесении изменений в Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации и другие законодательные акты в части правоотношений, возникающих при эксплуатации автономных судов [5]. Проект закона находится на согласовании в правительстве.

В тексте документа сформулировано, что средства а-Навигации не заменяют человека (капитана, оператора) в управлении судном, а помогают ему в этом. Ответственность за управление судном остается за экипажем, управляющим автономным судном.

В соответствии с действующими международными нормами государство флага судна должно обеспечить наличие квалифицированного экипажа – даже для полностью автономного. Законопроект предусматривает формирование «внешнего» экипажа, управляющего автономным судном дистанционно. Требования к квалификации и составу внешнего экипажа автономного судна должны определяться Морской администрацией государства флага.

*Второй уровень регулирования* – подзаконные акты. Утверждено Постановление Правительства Российской Федерации № 2031 от 5 декабря 2020 г. «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации автономных судов под Государственным флагом Российской Федерации», легализую-

щее использование автономных судов под российским флагом.

Согласно постановлению, судовладелец автономного судна должен утвердить программу опытной эксплуатации автономного судна, а после ее окончания представить результаты в Федеральное агентство морского и речного транспорта для анализа и обобщения. Для участия в эксперименте судовладелец за 20 рабочих дней до начала опытной эксплуатации автономного судна направляет в Федеральное агентство морского и речного транспорта заявку на участие в эксперименте в отношении каждого автономного судна.

Федеральное агентство морского и речного транспорта в течение 10 дней с даты получения заявки проводит оценку безопасности опытной эксплуатации автономного судна (на основании полученных документов) и принимает решение о согласовании ее проведения, если выполняются следующие условия:

- заявитель – судовладелец автономного судна;
- автономное судно имеет действующее свидетельство о праве плавания под Государственным флагом Российской Федерации;
- автономное судно имеет действующее классификационное свидетельство;
- разрешенный район плавания автономного судна соответствует назначенному району;
- опытная эксплуатация автономного судна в назначенном районе является безопасной для самого автономного судна, а также для других судов, эксплуатирующихся в этом районе, и безопасна для окружающей среды;

- на судне установлена система автономного судовождения.

Программа опытной эксплуатации автономного судна, разработанная судовладельцем, должна включать:

- регламент взаимодействия должностных лиц судовладельца автономного судна, ответственных за проведение опытной эксплуатации автономного судна и ее безопасность, с членами экипажа автономного судна и береговыми службами;
- способы оперативной связи с автономным судном и с ответственными за опытную эксплуатацию автономного судна лицами судовладельца и береговыми службами;
- оценку рисков в отношении безопасности судоходства и защиты окружающей среды, вызванных опытной эксплуатацией автономного судна, разработанные мероприятия по снижению таких рисков.

Во время проведения эксперимента судовладелец автономного судна, участвующий в эксперименте, имеет право на получение свидетельства о минимальном составе экипажа этого судна, причем в меньшем количестве, чем минимальный состав экипажа этого судна до начала опытной эксплуатации автономного судна. В этом случае минимальный состав экипажа автономного судна назначается с учетом функций, выполняемых системой автономного судовождения, и в соответствии с предложениями судовладельца автономного судна о минимальном составе экипажа этого судна.

*Третий уровень регулирования* – технические требования к средствам автономного судовождения, включающих рекомендации по применению МППСС–72 автономными судами, опубликованные Федеральным агентством морского и речного транспорта 19 января 2021 г., и Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС), опубликованные Российским морским регистром судоходства 1 августа 2020 г.

Рекомендации Росморречфлота служат основой для разработки и оценки алгоритмов расчета маневров расхождения судов в компьютерных системах а-Навигации. Согласно рекомендациям [4], автоматическое управление судном допускается в любом водном пространстве вне акваторий портов, достаточном для маневрирования судна в пределах допустимого отклонения от установленной заранее линии пути. В режиме автоматического

управления судно осуществляет свое движение по заранее проложенной линии пути, если на пути нет препятствий. Расхождение судна в режиме автоматического управления допускается, если количество опасных судов-целей не превышает 5 в радиусе 12 миль от судна.

В рекомендациях приведены 10 типовых сценариев с набором вариантов действий и алгоритмами действий и математических расчетов к ним. Критерием для начала применения сценариев (алгоритмов) автоматического расхождения служит однозначно идентифицированная опасность объекта, находящегося в указанных зонах расхождения. АНС должна применить к нему соответствующее правило и сценарий расхождения. Если по результатам оценки ситуации цель не представляет опасности, то АНС не предпринимает действий для расхождения.

Маневры расхождения должны учитывать параметры судна (длина, скорость, маневренные элементы, состояние СЭУ, рулевых устройств, силу и направление ветра).

Минимальная скорость движения судна, ниже которой наступает потеря управляемости судном, устанавливается для каждого судна отдельно, но в среднем составляет не менее 3 уз. Максимальная скорость устанавливается для каждого судна так, чтобы дистанция торможения маневром на полный задний ход до полной остановки в полном грузу составляла не более 15 длин корпуса судна.

АНС должна сигнализировать о необходимости перехода на ручное (дистанционное) управление в случае:

- а) наличия свыше 5 опасных целей, с которыми возможно опасное сближение в зоне на дистанции до 12 миль;
- б) отсутствия решения, позволяющего избежать опасного сближения;
- в) некорректного исполнения маневра (несоответствия реального маршрута движения заданному).

Если в течение 3 минут с момента сигнализации судно не перешло на ручное управление, АНС должна уменьшить ход до минимального, достаточного для удержания на курсе, и подать сигналы «Судно, лишенное возможности управляться».

Положения по классификации МАНС Регистра судоходства [6] разработаны для формирования указаний по осуществлению технического наблюдения за проектированием и постройкой МАНС и применяются в дополнение к другим требованиям Регистра, применимым в соответствии с символом класса и назначением судна.

Требования этих Положений распространяются на следующие объекты, средства и системы:

- система обеспечения ситуационной осведомленности;
- средства радиосвязи и обмена данными;
- средства навигации и маневрирования;
- судовая энергетическая установка;
- центр дистанционного управления (стационарный или мобильный);
- средства разграничивающей движение разметки (стационарной или мобильной).

При проектировании МАНС и соответствующих систем Регистру дополнительно предоставляются документы:

- общая часть;
- концепция использования МАНС (аналогичная программе опытной эксплуатации, предусмотренной постановлением Правительства № 2031 от 5 декабря 2020 г.), включая перечень систем;
- оценка рисков эксплуатации МАНС;
- технические условия на вновь разрабатываемые системы МАНС;
- программа обеспечения безопасности применения МАНС;
- система обеспечения ситуационной осведомленности;
- средства радиосвязи и обмена данными;
- средства навигации и маневрирования;
- судовая энергетическая установка (СЭУ);
- центр дистанционного управления (ЦДУ) (стационарный или мобильный);
- средства разграничивающей движение разметки (разметки);
- кибербезопасность.

Требования Положений включают в себя требования ко всем перечисленным выше системам.

## ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ИТОГИ ИСПЫТАНИЙ

На борту сухогруза «Пола Анфиса» (компания Пола Райз), танкера «Михаил Ульянов» (компания СКФ), самоходной баржи «Рабочая» (предприятие Росморпорт) установлен набор бортовых экспериментальных систем. Пульты дистанционного управления расположены в офисах компании Пола Райз (связан с «Пола Анфиса»), компании СКФ (связан с «Михаил Ульянов») и на борту земснаряда «Редут» (связан с «Рабочая»). Дополнительные мониторинговые системы установлены в офисах Росморпорт, «Ситроникс КТ», Министерства промышленности и торговли России.

Экспериментальное оборудование на борту судов разработано и установлено в соответствии с проектной документацией, согласованной Российским морским регистром судоходства, освидетельствовано после установки им же и не создает угрозы безопасности или воздействия на другие бортовые системы судов. Подключения к существующим системам на борту согласовано с производителями систем и судовладельцами, при этом на линии подключения к исполнительным устройствам установлен механический переключатель режимов, обеспечивающий физическое отключение связи с мостика судна. Осуществляется постоянная индикация на борту и в ПДУ достояния переключателя режимов и доступности систем а-Навигации.

С сентября 2020 г. непрерывно ведутся сбор и анализ данных работы систем в условиях коммерческой эксплуатации указанных выше судов (без возможности влияния на исполнительные устройства судов). С февраля 2021 г. стартовали испытания непосредственного управления системами а-Навигации исполнительными устройствами под контролем экипажа на борту и ответственных специалистов судоходных компаний и компаний-разработчиков – в согласованные промежутки времени на судах активируется режим автономного управления.

При участии Центрального научно-исследовательского института «Курс» в 2019 г. в отношении функциональности новых систем и организации испытаний проведен анализ рисков, учтенный как в технических требованиях к системам комплекса БЭС-КФ, так и в программе испытаний. Последняя предусматривает полный и постоянный контроль со стороны капитана судна во время испытаний автоматического и дистанционного управления и немедленный переход к нормальному управлению при возникновении любых ошибок

или ограничений: критическое ухудшение погодных условий, интенсивный трафик, технические неполадки на борту судна и т. п.

В декабре 2020 г. на основании требований к системам, результатам предварительных береговых испытаний и анализа работы систем на борту Российский морской регистр судоходства выдал письменное одобрение для разработанных систем а-Навигации.

Достижение необходимого уровня точности систем а-Навигации требует значительного объема полевых данных для их настройки и обучения. На момент написания статьи, после 6 месяцев тестирования систем на борту трех судов, существующий уровень автоматического распознавания ОПС уже позволяет идентифицировать суда на воде с точностью до 90%. Однако пока не удалось реализовать в ОПС автоматическое определение дистанции до окружающих объектов с использованием лазерных дальнометров: получение приемлемого результата приведет к увеличению стоимости системы, что неприемлемо для большинства судоходных компаний. Поэтому прорабатывается технология использования стереопар в сочетании с интеллектуальным распознаванием объектов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автономная навигация – одно из важнейших направлений развития технологий морского транспорта во всем мире. Результатом их внедрения должно стать существенное повышение безопасности судоходства за счет снижения влияния человеческого фактора и улучшения условий труда моряков.

Благодаря реализации проекта БЭС-КФ Россия стала первой страной в мире, приступающей к широкому практическому применению технологий автоматического и дистанционного управления судами, являющейся необходимой основой для дальнейше-

го развития и правового регулирования, и технологий.

Важная особенность российского подхода к а-Навигации – внедрение автономного судовождения в рамках существующего международного регулирования и пригодность для существующих судов. Это открывает возможности распространения нашего опыта в любой из заинтересованных стран и судоходных компаний по всему миру.

Описанные выше правовые и технологические решения могут стать основой развития а-Навигации не только в России, но и в мире, обеспечив быстрое и гладкое внедрение новых технологий, открыть исключительные возможности повышения безопасности и эффективности всей мировой отрасли морского транспорта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. План мероприятий («дорожная карта») «Маринет» Национальной технологической инициативы. – [https://nti2035.ru/markets/docs/DK\\_marinet.pdf](https://nti2035.ru/markets/docs/DK_marinet.pdf).
2. MERCHANT SHIPPING (STCW CONVENTION 2010) REGULATIONS.
3. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты, Кодекс по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты. – Часть А: «Обязательные стандарты в отношении положений приложения к Конвенции ПДНВ».
4. Международные правила предупреждения столкновений судов в море, 1972 г.
5. Проект Федерального закона «О внесении изменений в Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части правоотношений, возникающих при использовании автономных судов». – <https://regulation.gov.ru/projects#npa=99191>.
6. Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС) НД № 2–030101–037/Российский морской регистр судоходства. ■

**В** современных условиях развития информационных технологий, систем, применяемых на защищаемых объектах информатизации (ОИ) организаций, повышения уровня конфиденциальности и ценности обрабатываемой в них конфиденциальной информации (КИ), возможного ведения промышленного шпионажа как органами служб безопасности конкурентов крупных холдингов и корпораций иностранных государств, так и кражи информации отдельными нарушителями информационной безопасности (ИБ), для различных компаний и организаций актуальным становится одно из важнейших направлений обеспечения информационной безопасности – защита информации от негласного добывания (съемка, получения) КИ (секретов производства, ноу-хау, коммерческой тайны, сведений о новейших технологиях, партнерах), а также создание в организации эффективной системы технической защиты КИ.

Для решения данной задачи необходимо первоначально оценить эффективность действий нарушителя ИБ по негласному добыванию КИ, обрабатываемой на защищаемом ОИ организации (защищаемом кабинете должностного лица, переговорной, конференц-зале). Для этого необходимы исследования, в том числе и теоретические. Исследования заключаются в наблюдении свойств процесса негласного добывания информации нарушителем ИБ и выполнении действий с целью выявления и оценки важных с точки зрения исследователя закономерных отношений между показателями данных свойств.

Одним из наиболее эффективных методов исследований является моделирование. Оно заключается в построении и изучении объектов (моделей), свойства которых подобны наиболее важным с точки зрения исследователя свойствам исследуемых процессов (оригиналов).

В связи с этим необходимо разработать модель негласного добывания нарушителем информации, обрабатываемой на ОИ для выявления вероятностно-временных зависимостей его событий и состояний.

Под *моделью* будем понимать формализованное описание процесса (информационного, управленческого, организационного и др.), структура которого определяется его объективными свойствами и субъективным целевым характером исследования.

Модель негласного добывания нарушителем ИБ КИ, обрабатываемой на защищаемом ОИ, – это математическое описание процесса негласного добывания нарушителем КИ, обрабатываемой на ОИ и вероятностно-временных зависимостей его элементов.

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ МАРКОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЦЕССА НЕГЛАСНОГО ДОБЫВАНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НАРУШИТЕЛЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**В.Г. Ерышов**, канд. техн. наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения,  
**Р.Д. Куликов**, специалист по интернет-проектам, АО «Армалит»,  
контакт. тел. +7 (904) 600 5380

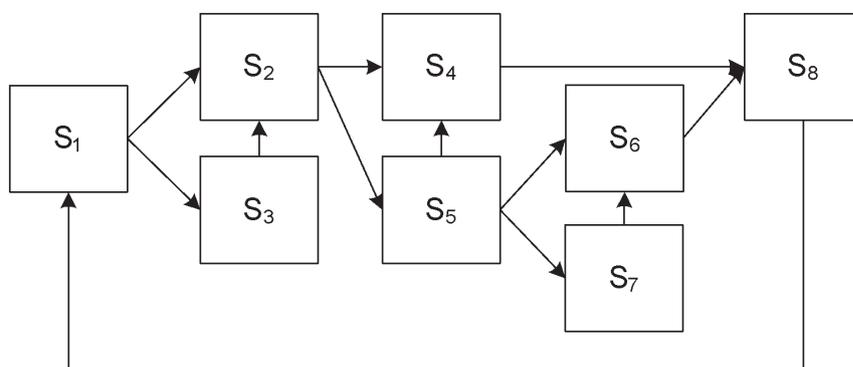


Рис. 1. Схема ориентированного графа переходных состояний процесса добывания нарушителем ИБ КИ, обрабатываемой на защищаемом ОИ

В классическом понимании модели могут быть статическими или динамическими; детерминистскими; стохастическими; дискретными и непрерывными; натурными и аналоговыми; символическими и условными.

В целях исследования сложных процессов создать адекватную физическую модель процесса достаточно сложно. Вследствие этого ограничиваются созданием и исследованием математических описаний закономерных отношений между значениями параметров оригиналов. Такие описания называются *математическими моделями*.

Математическая модель процесса отражает зависимости между входами и выходами реального процесса в виде некоторых математических соотношений. В тех случаях, когда задача может быть математически строго записана и разрешима, математическая модель становится наиболее мощным из существующих средств анализа и синтеза любой системы.

Для оценки эффективности действий нарушителя ИБ по негласному добыванию КИ, обрабатываемой на защищаемом ОИ и выявления вероятностно-временных зависимостей событий

и состояний его действий могут быть использованы вероятностные математические модели, описываемые в рамках теории Марковских случайных процессов.

Марковский процесс – это случайный процесс, протекающий в системе, если для любого момента времени вероятностные характеристики процесса в будущем зависят только от его состояния в данный момент и не зависят от того, когда и как система пришла в это состояние [1].

Процесс негласного добывания нарушителем ИБ КИ, обрабатываемых на ОИ, можно представить ориентированным графом состояний и описать в терминах теории Марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем (рис. 1).

Под таким процессом будем понимать процесс, у которого в любой момент времени  $t$  множество его состояний  $S$  счетно и конечно, а переходы из одного состояния в другое происходят в любой момент времени  $t$  наблюдаемого периода [1].

В разработанной модели приняты следующие допущения: при описании событий исследуемого процесса пред-

Таблица 1  
**Описание состояний процесса добывания нарушителем ИБ КИ, обрабатываемой на защищаемом ОИ**

№ п.п	Поток	Наименование
1	$\lambda_{12}$	Поток событий функционирования технических средств обработки информации (ТСОИ) ОИ и на сбор информации нарушителем ИБ о ОИ
2	$\lambda_{13}$	Поток событий на сбор информации нарушителем ИБ о ОИ при выключенных ТСОИ ОИ
3	$\lambda_{24}$	Поток событий на существование естественных технических каналов утечки информации (ТКУИ) на ОИ
4	$\lambda_{25}$	Поток событий на отсутствие естественных ТКУИ на ОИ
5	$\lambda_{32}$	Поток событий на функционирование ТСОИ на ОИ после их включения
6	$\lambda_{48}$	Поток событий на перехват КИ по естественным ТКУИ
7	$\lambda_{54}$	Поток событий на появление естественных ТКУИ
8	$\lambda_{56}$	Поток событий на установку специального электронного устройства (СЭУ) негласного добывания информации на ОИ
9	$\lambda_{57}$	Поток событий на отсутствие СЭУ на ОИ
10	$\lambda_{68}$	Сбор КИ нарушителем ИБ посредством установленных на ОИ СЭУ
11	$\lambda_{76}$	Поток событий на установку СЭУ на ОИ
12	$\lambda_{81}$	Поток событий на сбор КИ с ОИ

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt}P1(t) &= P8(t) \cdot \lambda_{81} - P1(t) \cdot (\lambda_{12} + \lambda_{13}), \\
 \frac{d}{dt}P2(t) &= P1(t) \cdot \lambda_{12} + P3(t) \cdot \lambda_{32} - \\
 &- P2(t) \cdot (\lambda_{24} + \lambda_{25}), \\
 \frac{d}{dt}P3(t) &= P1(t) \cdot \lambda_{13} - P3(t) \cdot \lambda_{32}, \\
 \frac{d}{dt}P4(t) &= P2(t) \cdot \lambda_{24} - P5(t) \cdot \lambda_{48}, \\
 \frac{d}{dt}P5(t) &= P2(t) \cdot \lambda_{25} - \\
 &- P5(t) \cdot (\lambda_{56} + \lambda_{57}), \\
 \frac{d}{dt}P6(t) &= P5(t) \cdot \lambda_{56} + P7(t) \cdot \lambda_{76} - \\
 &- P6(t) \cdot \lambda_{68}, \\
 \frac{d}{dt}P7(t) &= P5(t) \cdot \lambda_{57} - P7(t) \cdot \lambda_{76}, \\
 \frac{d}{dt}P8(t) &= P4(t) \cdot \lambda_{48} + P6(t) \cdot \lambda_{68} - \\
 &- P8(t) \cdot \lambda_{81}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

полагается, что переходы из состояния в состояние происходят под воздействием пуассоновских потоков событий.

В качестве исходных данных для модели негласного добывания нарушителем БИ КИ, обрабатываемых на ОИ, примем потоки событий, которые приведены в табл. 1. Эти данные получены на основе экспертных оценок и материалов [2].

Для получения вероятностных и временных характеристик процесса негласного добывания нарушителем ИБ КИ, обрабатываемых на ОИ, для графа состояний в модели была составлена и решена система обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова. При этом был рассмотрен частный случай, когда интенсивности событий не зависят от времени:  $\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}$  (Марковский процесс является однородным) [1].

Переходы из состояния в состояние в процессе негласного добывания нарушителем ИБ КИ, обрабатываемой на защищаемом ОИ, происходят под воздействием кусочно-стационарных пуассоновских потоков событий. При этом можно выделить сравнительно короткие временные интервалы времени, внутри которых поток считается приблизительно стационарным  $\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}$  при  $t_i < t_c \leq t_i + \Delta t_c$ , где  $t_i$  – начало, а  $\Delta t_c$  – длительность интервала квазистационарности (Марковский процесс при этом является однородным) [1].

Описание состояний процесса негласного добывания нарушителем ИБ КИ, обрабатываемой на ОИ представлено в табл. 2.

Таблица состояний процесса негласного добывания нарушителем ИБ КИ, обрабатываемых на ОИ, описывает все его этапы. Каждая операция в модели характеризует материальное действие,

требующее использования ресурсов, или логическое, требующее лишь взаимосвязи событий.

Для ориентированного графа, представленного на рис. 2, была составлена система обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова (1) [3].

Таблица 2  
**Описание состояний процесса негласного добывания нарушителем ИБ КИ, обрабатываемых на ОИ**

№ состояния	Описание состояния
$S_1$	Осуществление сбора нарушителем ИБ КИ с защищаемого ОИ
$S_2$	Функционирование ТСОИ на ОИ
$S_3$	ТСОИ выключены, не функционируют на ОИ
$S_4$	Существование перехвата КИ по ТКУИ на ОИ
$S_5$	Отсутствие перехвата КИ по ТКУИ на ОИ
$S_6$	Установка нарушителем ИБ СЭУ на ОИ
$S_7$	Отсутствие СЭУ на ОИ
$S_8$	Сбор и обработка КИ нарушителем ИБ

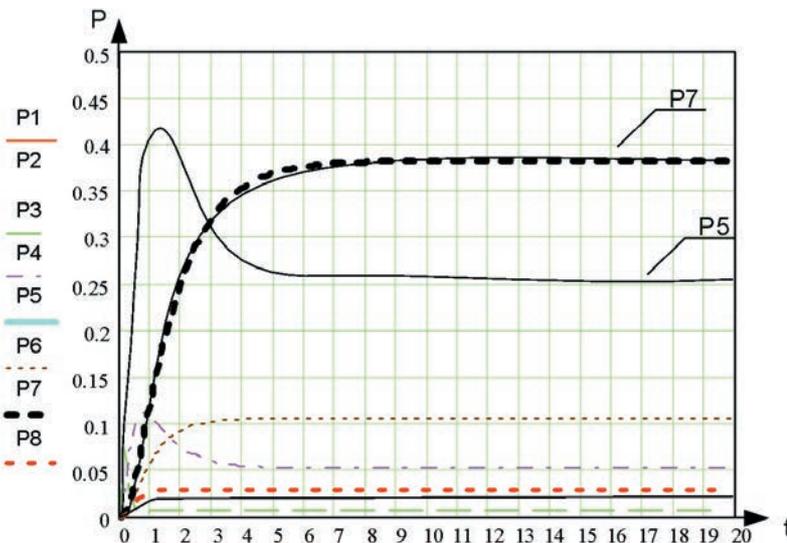


Рис. 2. Зависимости вероятностей нахождения нарушителя ИБ в состояниях процесса негласного добывания КИ, обрабатываемой на ОИ, от модельного времени

Зависимости вероятностей событий нахождения нарушителя ИБ в состояниях процесса негласного добывания КИ, обрабатываемой на защищаемом объекте, от времени представлены на рис. 2 [3].

Из полученных результатов моделирования, представленных на рис. 2, видно, что в рассмотренном примере в результате установления стационарности наблюдаемого процесса система находится в состоянии с наибольшей вероятностью  $P_7 = 0,39$ . Это означает, что при заданных исходных данных, использованных в расчете, нарушитель ИБ не сможет установить на защищаемом ОИ СЭУ из-за предпринятых органами службы безопасности организационно-технических мер защиты на защищаемом ОИ.

Таким образом, разработанная мо-

дель позволила получить вероятностные и временные зависимости и характеристики, описывающие все состояния исследованного процесса, а также определить возможности нарушителя по добыванию КИ, обрабатываемой на защищаемом ОИ.

Выходные данные модели могут быть исходными для оценки эффективности действий нарушителя ИБ, а также эффективности системы технической защиты КИ на защищаемом ОИ, а именно, дают возможность оценить своевременность и достоверность обнаружения ТКUI и СЭУ на защищаемом ОИ. Разработанная модель планируется к применению на АО «Армалит» в рамках мероприятий по повышению эффективности комплексной системы защиты информации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Вентцель Е.С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. – 2-е изд., стереотип. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
2. *Болдырев А.И., Василевский И.В., Сталенков С.Е.* Методические рекомендации по поиску и нейтрализации средств негласного съема информации: Практик. пособие. – М.: НПЦ «НЕЛК». 2001. – 138 с.
3. *Ерышов В.Г., Попов И. Д., Исаева М. Н.* Моделирование процесса негласного добывания конфиденциальной информации нарушителем информационной безопасности на защищаемом объекте. – Сб. статей 22-й Международ. науч. конференция «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы», Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП). – 2019. – Ч.1, ■

**В** конце прошлого года, 27 декабря, поступило сообщение о гибели в Баренцевом море, в районе Новой Земли, судна «Онега» – траулера-ярусолова норвежской постройки (рис. 1).

Сегодня еще трудно сделать окончательные выводы о причинах данной катастрофы, однако можно оценить по имеющимся сведениям условия его работы, которые могли привести к трагедии, прежде всего погодные условия: была штормовая обстановка – скорость ветра достигала 20–25 м/с, волнение – 5 баллов. Температура воздуха составляла  $-30^{\circ}\text{C}$ , что привело к обледенению верхней палубы и мачты.

Лов рыбы был только начат, рефрижераторный трюм пуст. Положение судна могло усугублять возможное поступление воды в трюм через бортовой люк. Сам трюм был большого размера и не разделялся водонепроницаемыми поперечными переборками. Все вышеизложенное способствовало уменьшению остойчивости судна. Вполне вероятно, что она могла стать отрицательной, и судно в этот момент завалилось на правый борт, со стороны которого шла погрузка рыбы (рис. 2, б).

Имея заниженный восстанавливающий момент, судно не могло «перевалить» на левый борт, и, потеряв свою динамическую составляющую, которую придает судну качка, скорость хода и т. п., оно было опрокинуто вследствие возникновения опрокидывающего момента и увеличения кренящего момента. Постараемся подтвердить это графически (рис. 3).

Для поставленной задачи наиболее эффективен совместный анализ статической и динамической остойчивости для различных исследуемых вариантов [1].

## И СНОВА СИГНАЛ SOS

*А.А. Уляшев, гл. конструктор проекта*

*АО «Центра технологии судостроения и судоремонта» – КБ «Восток»,*

*П.А. Шауб, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ,*

*лауреат Премии РФ, специалист по общему проектированию*

*АО «Центра технологии судостроения и судоремонта»,*

*контакт. тел. (812) 786 1619*



Рис. 1. Траулер-ярусолов «Онега»

а)

б)

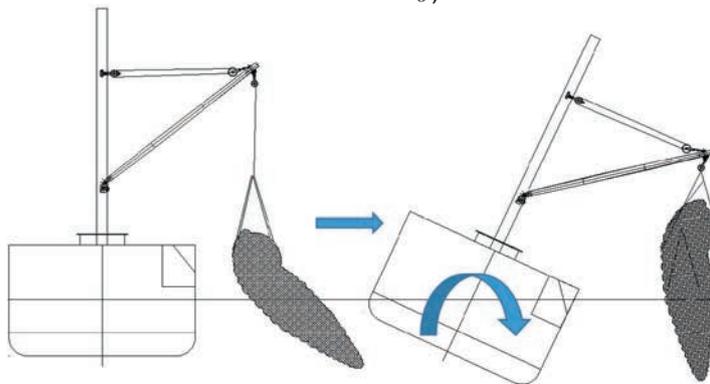


Рис. 2. Условная схема погрузки рыбы на борт судна

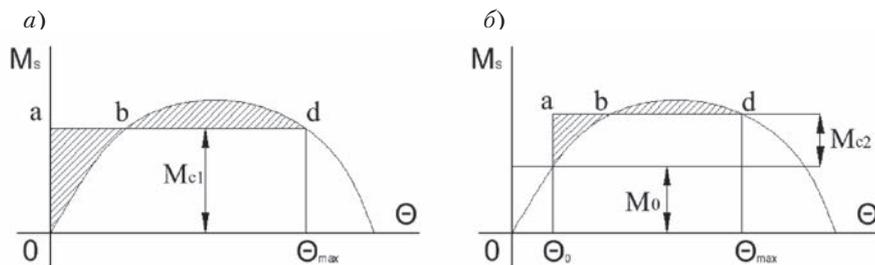


Рис. 3. Графики положения судна, имеющего положительную остойчивость без крена (а) и с креном  $\theta_0$  (б)

Вариант 1 (рис. 3).

Считается, что кренящий момент  $M_{c1}$  удерживает судно с креном  $\theta_0$ , а момент  $M_{c2}$  способствует опрокидыванию [1] (см. заштрихованные части на диаграммах статической остойчивости).

Вариант 2 (рис. 4).

Анализируя состояние внешней среды (штормовые и погодные условия), а также организацию лова рыбы и исходя из особенностей эксплуатации рыболовных судов и их современной конструкции, авторы склоняются к выводу о появлении отрицательной остойчивости траулера, которая и дала угол крена  $\theta_0$ , приведший в дальнейшем к его гибели.

Как видно из рис. 4, угол крена  $\theta_0$ , который удерживался моментом  $M_{кр}$ , в дальнейшем и стал роковым. Можно доказать, что если бы аварийное судно качнулось на левый борт, то при возвращении в прежнее положение момент  $M_c$  его бы не опрокинул

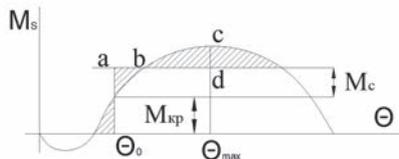


Рис. 4. Схема действия моментов  $M_{кр}$  и  $M_c$  на судно

Рассмотрим совместно самый общий вид диаграммы статической и динамической остойчивости поврежденного судна при наличии отрицательной остойчивости (рис. 5). За начало действия шквала примем положение судна с полученным наибольшим креном на наветренный борт, равным амплитуде бортовой качки  $\theta_m$ . Накренение судна заканчивается, когда оно получает динамический крен, равный  $\theta_1$ . В точке

начала отклонения и в конце отклонения кинетическая энергия равна нулю (точки *a* и *b*), в связи с чем энергия судна в этих точках определяется его потенциальной энергией, т.е. его диаграммой динамической остойчивости (рис. 5) [3].

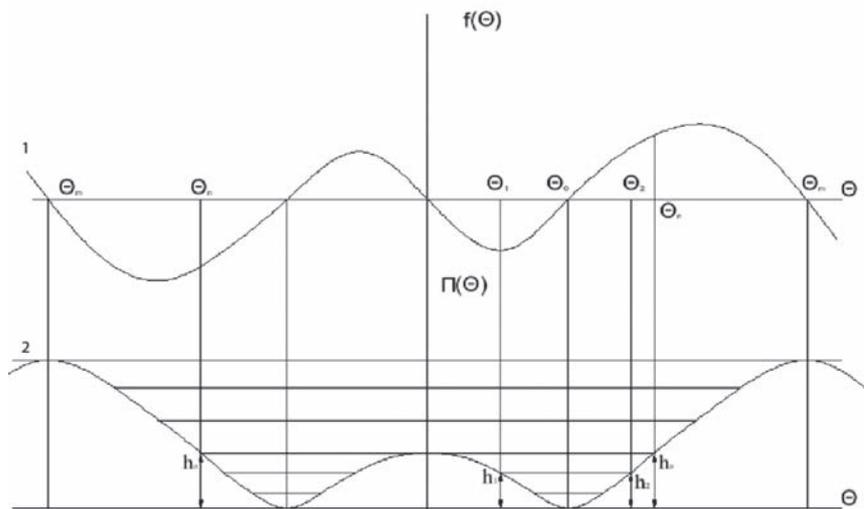


Рис. 5. Диаграммы статической и динамической остойчивости поврежденного судна

1 – диаграмма статической остойчивости (восстанавливающего момента) поврежденного судна (для простоты принята симметричной относительно начала координат), 2 – кривая потенциальной энергии (диаграмма динамической остойчивости поврежденного судна, ординаты которой отнесены к единице момента инерции)

При условии  $0 < h < h_{II}$  судно будет колебаться относительно равновесного положения  $\theta_0$ , не переваливаясь на противоположный борт. При потенциальной энергии, равной  $h_{II}$ , судно находится в покое, т.е. его состояние будет безразличным. При  $h_m > h < h_{II}$  судно будет совершать колебания с борта на борт.

Таким образом, колебания судна будут происходить без переваливания на противоположный борт при углах крена  $\theta_{II} < \theta < \theta_m$ . При  $\theta > \theta_m$  судно опрокидывается.

## ВЫВОДЫ

1. Проанализированные случаи (см. рис. 3–5) показывают, что в таких условиях нельзя было вести лов рыбы, а следовало освободиться от льда, особенно с верхней палубы.

2. Авторы рекомендуют проводить расчеты критерия  $K$  с учетом ухудшения штормовых условий по модели, предложенной Российским морским регистром судостроения:

$$K = (M_{опр}/M_{кр}) > 1.$$

4. Проведенное расследование также показало, что если крен судна не превышает 5 градусов, то можно вести работы, и опрокидывания не произойдет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по теории корабля/Под ред. Я.И. Войткунского. – Т. 2. – Л.: Судостроение, 1985.
2. Шауб П. А., Московкина С. В. Динамический крен поврежденного корабля на волнении при действии шквального ветра//Морской вестник. – 2013. – № 4 (48).
3. Шауб П. А. Качка поврежденного корабля. Динамическая непотопляемость. – СПб.: Моринтех, 2013. ■

**25** марта 2021 г. в Санкт-Петербургском морском техническом университете состоялась торжественная церемония открытия аудитории Героя Российской Федерации, почетного гражданина Санкт-Петербурга, доктора технических наук, профессора Владимира Леонидовича Александрова. В мероприятии приняли участие сам Владимир Леонидович, ректор СПбГМТУ Г. А. Туричин, представители судостроительной общественности, руководители крупнейших судостроительных предприятий города и представители ВМФ РФ.

Мероприятие прошло по решению Ученого Совета СПбГМТУ при поддержке Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова.

Аудитория предназначена для проведения занятий со студентами, слушателями, совещаний, советов и конференций. «Именная» аудитория призвана на примере жизни выдающегося кораблестроителя, ученого, общественного деятеля В. Л. Александрова воспитывать молодое поколение в преданности делу кораблестроения, любви к родному городу и стране.

Тематическое наполнение аудитории начинается со спортивного уголка под ликом Святого Николая. Именно гребля на победной восьмерке клуба «Красное знамя» привела школьника Володю Александрова в Кораблестроительный институт, где он прошел путь от студента до доктора технических наук, профессора. Успешная учеба, блестящая защита дипломной работы на закрытую тему позволили ему выбрать единственное место всей его дальнейшей работы – «Адмиралтейские верфи», где он прошел славный трудовой путь от мастера стапельного цеха до генерального директора. В течение всей жизни Владимир Леонидович никогда не прерывал дружеских, науч-

## АУДИТОРИЯ В. Л. АЛЕКСАНДРОВА ТОРЖЕСТВЕННО ОТКРЫТА В КОРАБЕЛКЕ

*Д. В. Никущенко, д-р техн. наук, доцент, проректор по научной работе Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, контакт. тел. (812) 714 6839*



ных, творческих отношений с родным институтом.

Государственная общественная деятельность В. Л. Александрова представлена на стенде «Завод, город, страна». Широкое общение с рабочими завода, мастерами, учеными-академиками, крупными руководителями ВМФ и промышленности оказали колоссальное влияние на становление истинного гражданина Отечества.

Стенды «ЦТСС» и «Лидер сообщества судостроителей» посвящены деятельности Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Научно-технического общества судостроителей (НТОС)

им. акад. А. Н. Крылова, Почетным президентом которых являлся В. Л. Александров.

Особая гордость Владимира Леонидовича – корабли и суда, построенные под его непосредственным руководством и участием, модели и снимки которых представлены на стендах и в экспозиции.

Изучение экспозиции новой аудитории и работа в ней, без сомнения, обогатят учащуюся молодежь и сотрудников университета полезными и интересными материалами и сведениями о плодотворной трудовой жизни выдающегося кораблестроителя современности. ■



*«Модернизация судостроительной отрасли России – актуальное требование времени. В Российском научно-техническом обществе судостроителей им. акад. А. Н. Крылова сосредоточены знания, опыт и люди, способные эффективно участвовать в решении этой необходимой, государственно значимой задачи».*

**В. Л. Александров,**  
*Почетный президент НТО*

**Р**азвитию кораблестроения в России способствовало создание российских школ ученых-кораблестроителей, каждая из которых проводила исследования в интересах решения конкретных практических задач, а затем, обобщая полученные результаты, формировала новые разделы и направления судостроительной науки.

История развития Российского флота подтверждает, что все наши достижения уходят корнями в прошлое и базируются на военно-морской науке, рождавшей гениальные решения и разработки, и авторство многих из них принадлежит русским кораблям.

В год 325-летия создания Российского флота следует особо подчеркнуть, что до появления авиации и освоения космоса именно военно-морской флот был единственным видом вооруженных сил, который постоянно требовал и требует качественно новых подходов к созданию морских технических средств.

Общероссийское общественное объединение «Российское научно-техническое общество судостроителей им. акад. А. Н. Крылова» ведет отсчет своей истории от 27 мая 1866 г., когда в составе Русского Технического Общества, образованного 22 апреля 1866 г., после подписания его Устава императором Александром II был образован Отдел судостроения, морской техники, артиллерии и оружейного производства – непосредственный исторический предшественник современного РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. Его руководителями и членами стали представители инженерно-кораблестроительной и военно-морской элиты того времени. Общество было призвано аккумулировать и развивать передовой научно-технический опыт своего времени в сфере теории и практики судостроения и способствовать его скорейшему внедрению в производство. Оно не раз меняло свое название: Союз морских инженеров, Всесоюзное научное инженерно-техническое общество судостроения (ВНИТОСС), Всесоюзное научно-техническое общество судостроения, но всегда являлось одним из главных участников развития этой важнейшей для экономики страны отрасли. С 1963 г. Общество носит имя великого ученого-кораблестроителя, академика АН СССР А. Н. Крылова.

Особое «высочайшее» внимание к делу образования такой организации лучших представителей военной и ин-

## **К 155-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СУДОСТРОИТЕЛЕЙ ИМЕНИ АКАДЕМИКА А.Н. КРЫЛОВА**

**В. С. Никитин,** *д-р техн. наук, проф., президент*

*Международного и Российского НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, контакт. тел. (812) 710 4011*



**В. С. Никитин**

женерной мысли своего времени, среди которых военным морякам и кораблестроителям придавалось повышенное значение, было обусловлено недавним сильнейшим поражением России в Крымской войне 1853–1856 гг. Государство нуждалось в решительном прорыве в области научно-технического прогресса для всех сфер индустрии и военного дела, но прежде всего для кораблестроения, которое всегда считалось системообразующей отраслью страны.

Свое предназначение высококомпетентного общественного эксперта, разработчика новейших технологий для судостроения и строителя новейших кораблей представители НТО судостроителей и морских инженеров на протяжении более чем полуторовекового своего развития выполняют с честью. С работой Общества связана деятельность практически всех известных инженеров-кораблестроителей, ученых и высших офицеров флота. На собраниях Общества судостроителей прошли в обсуждениях «апробацию» принципиально новые подходы к значимым разделам науки о корабле, передовые технологические идеи задолго до их непосредственной реализации в кораблестроительной практике.

Именно в этой аудитории впервые будущий академик А. Н. Крылов сделал свои основополагающие для развития современной теории корабля доклады «О килевой качке корабля на волнении» (1895) и «О вибрации судов» (1902). Именно в аудитории Отдела судостроения РТО уже в 1880-х гг. были впервые предложены проекты кораблей будуще-

го – подводных лодок, ставших ударной силой всех ведущих флотов мира.

В своих сообщениях Обществу великие ученые-кораблестроители внесли выдающийся вклад в развитие науки о корабле, впервые выделив строительную механику корабля как самостоятельную научную дисциплину.

В трудный период возрождения флота в начале XX в. особенно велика была роль Морского технического комитета, который в то время возглавлял академик А. Н. Крылов. В его трудах заложены научные основы расчета прочности корпусов подводных лодок, другими словами, основы строительной механики подводных лодок, не потерявшие своего значения до сегодняшнего дня.

Помимо новаторских разработок представители Общества были активно вовлечены в разработку и исполнение Большой и Малой судостроительных программ России.

Ускоренное развитие военно-морского флота, создание гражданского флота страны в рамках судостроительных программ требовали привлечения буквально всех активных членов профессионального сообщества к их исполнению.

Организация, объединившая специалистов старого и нарождавшегося нового поколения инженеров-судостроителей, стала массовой и сыграла первостепенную роль в деле радикальной модернизации судостроительной отрасли.

Многостороннее и интенсивное укрепление научно-производственных связей, массовое и постоянное участие членов Общества в развитии судостроительного производства стало главным содержанием его деятельности. Научно-технологическое обеспечение развития судостроения, например, внедрение таких передовых на тот период технологий, как сварка корпуса судна, скоростной метод постройки судов, стандартизация судового оборудования и конструкций и ряд других стали основой деятельности НТО на заводах. Получали свое развитие и вопросы экономики судостроения. Ведущие ученые и действительные члены Академии наук СССР, сам А. Н. Крылов, его ученики и соратники, академики Ю. А. Шиманский, В. Л. Поздунин, П. Ф. Папкович являлись активными членами Общества и последовательно развивали основные разделы

науки о корабле. Вопросы оптимальной организации кораблестроительного образования также стали предметом рассмотрения на заседаниях Общества.

Роль активного проводника и эксперта передовых научно-технологических идей и опыта для производства, разработка методов научной организации труда в судостроении, а также расширение массового участия судостроительной общественности в развитии отрасли составляют главное содержание работы НТО все годы.

В военных условиях продолжались научно-исследовательские работы с внедрением их результатов в производство. После окончания Великой Отечественной войны ученые решали новые задачи, вытекающие из общих тенденций развития кораблестроения: увеличение глубины погружения подводных лодок, повышение взрывостойкости кораблей. От участников НТО судостроителей требовалось направить свои усилия на скорейшее решение вопросов повышения эксплуатационных характеристик кораблей, сокращение трудоемкости их постройки. Комплекс вопросов повышения производительности труда на производстве всегда остается одним из главных в повестке дня работы НТО.

На первый план стали выходить и проблемы оптимизации работы проектных организаций в целях их максимального сближения с производственным циклом создания корабля.

Высокий научный уровень рекомендаций и разработок Общества – результат постоянного руководства выдающимися представителями академической науки. После смерти в конце 1945 г. академика А. Н. Крылова на посту председателя Правления Общества его последовательно сменяли академики В. Л. Поздюнин, Ю. А. Шиманский, П. П. Пустынцев, Н. Н. Исанин и уже в переходный и постсоветский периоды – академики И. В. Горынин и В. М. Пашин.

С 1960-х гг. началось создание разветвленной сети республиканских, краевых и областных подразделений НТО.

Деятельность НТО судостроения сыграла одну из ключевых ролей в организации эффективной системы взаимодействия учреждений и промышленных производств с фундаментальными и отраслевыми науками.

Развитие Общества закономерно переживало свои спады и подъемы в периоды социально-экономических кризисов или модернизационного развития страны. В 1990-е гг., когда отраслевая наука переживала непростые времена, деятельность НТО продолжалась благодаря активной работе его Правления.

С избранием в 2001 г. на должность президента НТО В. Л. Александрова наряду с решением традиционных проблем инновационного развития отрасли в области технологий и организации труда перед Обществом был поставлен комплекс новых задач – развитие международного сотрудничества и системы подготовки кадров. К его работе последовательно подключаются различные регионы России – от Калининграда и Крыма до Дальнего Востока. Коллективными членами РосНТО становятся все ведущие судостроительные заводы России и отраслевые проектные организации

Важнейшая роль науки прослеживается во всех направлениях создания и развития военно-морского и гражданского флота, который воплощает самые передовые достижения своего времени, является результатом деятельности многочисленных научных, проектных и производственных коллективов.

Результаты фундаментальных и прикладных исследований, проектно-конструкторских и технологических решений обеспечивают создание принципиально новых поколений кораблей и судов, оснащенных современными техническими средствами.

НТО объединяет управленцев, представителей инженерного корпуса судостроителей и отраслевой науки в целях сбора, разработки и внедрения в отрас-

ли на этой «площадке» передовых идей и технологий.

Сочетание опыта с постоянным стремлением к инновациям является основополагающим фактором успеха и залогом устойчивого развития любого предприятия.

В настоящее время РосНТО является крупнейшим в России научным институтом, центром сохранения, генерации, накопления и передачи широкого спектра традиционных и новых знаний судостроителям для технического развития производства. НТО выполняет важную роль в распространении научных и инженерных знаний, установлении личных связей между учеными и техническими специалистами предприятий, а также в координации их работ.

Важное место в работе НТО занимает Инновационный (экспертный) комитет по поиску, разработке и внедрению современных идей и проектов. Руководство комитетом осуществляет доктор технических наук, профессор В. Н. Половинкин – научный руководитель КГНЦ им. акад. А. Н. Крылова.

Инновационная работа охватывает все направления научной и практической деятельности 30 постоянных секций РосНТО, которые осуществляют мониторинг требуемых и координацию проводимых в отрасли научных и проектных работ, результатов и направлений работ научных, проектных и производственных коллективов отрасли.

Специализация секций НТО охватывает сегодня практически все области кораблестроения и судостроения (см. таблицу).

Основная задача секций – многосторонний информационный обмен научными знаниями, активизация сотрудничества руководителей и специалистов ОСК и отрасли с высокопрофессиональными представителями производства, объединенными в составе РосНТО.

Не менее важная задача секций – проведение системного анализа текущего со-



Участники пленума РосНТО, май 2019 г.

№	Наименование секции	Руководитель секции
1	Мореходные качества судов Подсекция «Мореходные качества судов в штормовых условиях»	А.А. Добродеев В.Н. Храмушин
2	Проектирование судов	М.А. Кутейников
3	Прочности и конструкции корпуса судна	Е.А. Шишенин
4	Судовые энергетические установки Подсекция «Арктическое судостроение»	А.З. Багерман В.М. Попов
5	Технологии судостроения	Ю.М. Габдрафиков
6	Электроэнергетические системы Подсекция «Электромагнитная совместимость судовых технических средств»	Л.И. Чубраева Г.Н. Цицикян
7	Приборное и радиоэлектронное оснащение кораблей и судов Подсекция «Интеллектуальные технологии технических систем»	Г.А. Коржавин Ю.И. Нечаев
8	Техническая эксплуатация и судоремонт	Г.Н. Муру
9	Морская навигация, гидрография, геофизика и гидрометеорология	П.И. Малеев
10	Судостроительные материалы	А.В. Анисимов
11	Судовое машиностроение	М.А. Александров
12	Судовая арматура	А.В. Кузнецов
13	Акустика в судостроении	С.В. Полков
14	История судостроения	С.П. Столяров
15	Экономики и управления	М.Ю. Алёхин
16	Экология и безопасность в судостроении Подсекция «Охрана труда»	Н.А. Вальдман В.Л. Сулов
17	Современные технологии подготовки и переподготовки кадров	Г.В. Проценко
18	Управление судостроительным производством	А.Е. Богданов
19	Нанотехнологии в судостроении	Б.В. Фармаковский
20	Надежность технических систем	О.В. Щербяков
21	Поисково-спасательная техника и технологии	В.Н. Илюхин
22	Малотоннажное судостроение	К.Д. Овчинников
23	Общесистемные вопросы развития радиоэлектронного оборудования судов и радиоэлектронного вооружения	В.В. Ханычев
24	Экранопланостроение.	Г.А. Федореев
25	Подводные технологии и гидронавтика	А.С. Гадалин
26	Технология и производство сварки	В.В. Мурзин
27	Современные технологии проектирования, изготовления и монтажа электротехнического оборудования на строящихся и ремонтируемых кораблях и судах	В.С. Татарский
28	Междисциплинарные технологии судовой энергетики	Ю.Н. Мясников
29	Управление судами и кораблями	К.Ю. Шилов
30	Обеспечение безопасности судоходства кораблей и судов в штормовых условиях	П.А. Шауб

стояния и прогнозирование приоритетных направлений и перспектив развития отечественного судостроения.

Для реализации поставленных целей секции привлекают ведущих российских ученых, а также взаимодействуют с государственными научными центрами, НИИ, университетами, общественными и другими организациями. Работу секций возглавляют авторитетные ученые и специалисты, которые нацелены на решение следующих задач:

- обеспечение общественного содействия мерам государственной поддержки российского судостроения;
- рассмотрение проектов стратегий, концепций, федеральных и отраслевых целевых программ в области судостроения.

Секции являются площадками для широкого междисциплинарного общения и обсуждения вопросов в различных сферах научной деятельности судостроителей. Членами секций ведется коор-

динация работ и взаимодействия с профильными отделами предприятий ОСК и приборостроительными организациями судостроительного кластера.

В центре внимания членов НТО – основные тренды в мировом судостроении: энергоэффективность и экологичность, применение инновационных материалов и аддитивных технологий, разработка морских робототехнических комплексов, интеллектуальных и безэкипажных систем управления объектами морской техники, развитие ряда новых перспективных научных направлений, значимых для укрепления обороноспособности страны и военно-технического сотрудничества, в том числе разработка систем автоматизированного управления жизненным циклом кораблей.

Члены секций участвуют в общественных слушаниях при рассмотрении работ, выдвигаемых на премии Правительства РФ, докладов и сообщений для публикации в научно-технических журналах, материалов кандидатских и док-

торских диссертаций, оформления заявок на изобретения или регистрации программного продукта, проводят экспертизы технических проектов для представления на конкурсы.

На заседаниях секций происходит обмен опытом в области правовой охраны и учета интеллектуальной собственности, создаваемой на предприятиях отрасли, заслушиваются магистерские работы ряда университетов Санкт-Петербурга.

Большое значение в работе секций имеет издательская деятельность НТО, в том числе в изданиях, вошедших в перечень ВАК.

НТО проведены выездные заседания в Крыловском государственном научном центре, в ЦНИИ КМ «Прометей», на базе предприятий приборостроения Санкт-Петербурга и судостроительных заводов Северодвинска с организацией конференций, «круглых столов» и семинаров, нацеленных на обсуждение приоритетных вопросов судостроения, популяризацию достижений, развитие кооперации между предприятиями, усилению роли и места НИИ и КБ в продвижении инновационных разработок.

Секция «Мореходные качества судов» проводит перспективные исследования, определяющие проектные решения по достижению наивысшей эффективности и безопасности мореплавания в сложных штормовых и ледовых условиях.

Одной из задач современного судостроения является снижение материалоемкости конструкций и изделий при одновременном повышении ресурса работы и надежности. Решению этой задачи во многом способствуют и инновационные технологии создания полимерных композиционных материалов и средств защиты от коррозии. Именно на это направлена деятельность секции «Судостроительные материалы».

Секция «Судовое машиностроение» вносит значительный вклад в создание и внедрение отечественных конкурентоспособных наукоемких изделий судового машиностроения.

Члены секции «Электроэнергетические системы» рассматривают широкий спектр проблем, связанных с принципиально новыми научно-техническими решениями в области разработки и создания электроэнергетического оборудования современных судов различного назначения. На заседаниях секции обсуждаются проблемы систем электродвижения с использованием высокотемпературной сверхпроводимости.

При активном участии и под патронажем ведущего мирового ученого в области разработки средств морской навигации В. Г. Пешехонова, академика РАН, члена президиума РосНТО, работает секция «Морская навигация, гидрография, геофизика и гидрометеорология».

Разработка автоматизированной информационной системы управления ресурсами на всех стадиях создания и эксплуатации кораблей – одно из главных направлений работы секции «Управление судостроительным производством». Творческий коллектив секции активно формирует и реализует техническую политику совершенствования процессов управления созданием и техническим обслуживанием морской техники.

Секция «Поисково-спасательной техники и технологий» активно и плодотворно занимается созданием и развитием поисково-спасательной техники и технологий, развитием аварийно-спасательного и судоподъемного дела с учетом уроков крупных аварий на море.

В 1917 г. академик А. Н. Крылов разработал не только теоретические основы способа подъема опрокинувшегося корабля вверх килем путем продувки воздухом его внутренних отсеков, но и довольно подробно разработал общую технологию выполнения таких работ.

В марте 2019 г. и в ноябре 2020 г. на базе РосНТО в рамках VI и VII международных конференций «Российское судостроение» проведены «круглые столы» «Перспективные судовые спасательные средства» и «Перспективное морское аварийно-спасательное оборудование для применения в Арктике».

В большинстве докладов и в выступлениях были обозначены конкретные задачи:

1. Разработка единой технической политики развития судового аварийно-спасательного оборудования (АСО) и морской поисково-спасательной техники.

2. Реализация программно-целевого подхода к развитию судовых спасательных средств на основе гармонизации государственных и ведомственных программ создания морской техники.

3. Актуализация национальных стандартов и ведомственных нормативных документов для средств спасения морских судов с учетом выполненных инновационных разработок и реальных природно-климатических условий Арктики.

Приказом руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15.02.2021 г. № 131 НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова определено базовой организацией Технического комитета по стандартизации ТК 416 «Гипербарическая техника».

Основные задачи ТК416:

- экспертиза проектов национальных и межгосударственных стандартов;
- подготовка предложений в Программы национальной стандартизации, в соответствии с которой секретариат ТК416 в настоящее время организует проведение экспертизы трех национальных стандартов.

Приоритетными направлениями в деятельности секции «Экология и безопасность в судостроении» являются:

- экологические обоснования проектов строительства и эксплуатации судов и транспортно-технологических систем, особенно с учетом условий Арктического региона;
- создание экологического оборудования для установки на судах и морских сооружениях;
- разработка нормативного и информационного обеспечения в области оценки технических и экологических рисков.

Одним из важнейших приоритетов в деятельности НТО судостроителей остаются проблемы подготовки и повышения квалификации кадров судостроителей всех уровней, формирование базовых кафедр на предприятиях и в организациях. Работа по данному направлению координируется на базе секции НТО «Современные технологии подготовки и переподготовки кадров» и реализуется в тесном взаимодействии с университетами.

Особое внимание НТО уделяет истории отечественного судостроения, пропаганде выдающихся достижений науки. Коллектив специалистов секции принял участие в подготовке к изданию и редактированию 5-томной истории отечественного судостроения и активно участвовал в работе авторского коллектива 3-томного Морского энциклопедического словаря.

Перед секцией «История судостроения» поставлена задача привлечь научно-техническую общественность к написанию новых страниц истории отечественного судостроения, созданию музея, воспитанию молодежи на лучших традициях корабелов, ученых-судостроителей и флотоводцев.

Успешно развивается международное сотрудничество. Вице-президентом РосНТО доктором технических наук К. В. Рождественским проведен ряд международных конференций, «круглых столов», семинаров, где происходил обмен информацией и опытом по важнейшим научно-технологическим направлениям и обсуждены конкретные вопросы по актуальным проблемам судостроения. Ведется подготовка к проведению в сентябре 2021 г. в Санкт-Петербурге международной конференции Паназиатской Ассоциации морских инженерных обществ (РАAMES), которая создана с целью развития сотрудничества между организациями-членами в странах и регионах Азиатско-Тихоокеанского региона.

На прошедшей в Пусане, Юж. Корея, в октябре 2018 г. конференции было принято решение поддержать заявку РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова на проведение 9-й Передовой мор-

ской инженерной конференции MagTech 4.0 и одновременно 9-й встречи Паназиатской Ассоциации морских инженерных обществ в сентябре 2021 г. в Санкт-Петербурге.

Особенностью предстоящей конференции является наличие в программе наряду с традиционными вопросами судостроения, океанотехники и судоходства, современных методов Индустрии 4.0, в том числе применение в морском инжиниринге цифровизации, аддитивных технологий, виртуального прототипирования, искусственного интеллекта, интернета вещей и т. д.

Активная международная деятельность ведется членами секции «Экология и безопасность в судостроении» с целью разработки руководящих документов по операционным выбросам и сбросам в результате работ на нефтегазовых объектах в море, включая сопутствующее судоходство, управление рисками основных угроз на морских объектах в Арктическом регионе, а также участие в деятельности подкомитетов Комитета по загрязнению морской среды Международной организации судостроителей.

Руководство и представители РосНТО тесно взаимодействуют и входят в состав Морского Совета и Морского Собрания Санкт-Петербурга, Российского и Санкт-Петербургского союзов промышленников и предпринимателей, являются членами научно-экспертного совета Морской коллегии при Правительстве РФ, Межведомственной комиссии по судостроению при ВПК, Президиума научно-технического совета Российского морского регистратора судоходства и активно участвуют в их работе.

Комитет по региональной политике, возглавляемый вице-президентом РосНТО Г. Н. Муру, объединяет более 45 региональных отделений и представительств Общества, во главе которых стоят крупные ученые и руководители производства. Наиболее активная работа в соответствии с тематическими планами Центрального правления РосНТО ведется в семи региональных отделениях: Чебоксарском на родине А. Н. Крылова, Московском, Калининградском, Дальневосточном, Архангельском и Северодвинском, Сахалинском и Волго-Вятском.

По инициативе НТО установлен памятник академику А. Н. Крылову в г. Чебоксары Чувашской республики (автор – народный художник России С. А. Щербakov) (2015 г.). Финансирование создания и установки памятника осуществлено судостроительными предприятиями Санкт-Петербурга и регионов России при ведущей роли руководства НТО.

В Калининградском региональном отделении члены делегации РосНТО выступили с докладами перед студентами и преподавателями Университета

им. И. Канта и посетили судостроительное предприятие «Янтарь». Проведены выездные заседания Пленума НТО в Казани и Зеленодольске.

Вице-президент РосНТО канд. техн. наук Б. А. Барбанель, руководитель Комитета по молодежной политике, уделяет пристальное внимание формированию и развитию научно-технического потенциала молодых работников предприятий и совершенствованию их профессионального мастерства.

Комитет ежегодно проводит конкурсы «Инженер года» и «Надежды России», конференций, привлекает молодежь к участию в работе научно-технических секций НТО, семинарах, «круглых столах», оказывает содействие в подготовке и размещении статей, ориентированных на защиту диссертаций, в научно-технических сборниках и журналах, в оформлении заявок на патенты и изобретения.

С 2014 г. РосНТО ежегодно проводит Всероссийский отраслевой научно-технический конкурс «Молодой кораблестроитель – инженер года». Его цель – повышение творческой активности и квалификации молодых специалистов судостроительной отрасли. Тематика конкурсных работ включает ключевые вопросы инновационных технологий в судостроении, машиностроении, приборостроении, информационных системах и 3D-моделировании.

Комитет по молодежной политике в тесном взаимодействии с Департаментом управления персоналом ОСК поддерживает тесную связь с НИИ, КБ и заводами отрасли, активно содействует представлению на конкурс работ предприятиями всех регионов России.

В ноябре прошлого года были подведены итоги конкурса «Молодой кораблестроитель – инженер года 2020». Победителям и лауреатам были направлены приветственные обращения директора Департамента судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга Б. А. Кабакова, генерального директора ОСК А. Л. Рахманова, руководства Госкорпорации «Ростех». Лучшие работы молодых специалистов постоянно публикуются в журналах «Морской вестник», «Судостроение».

В составе РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова – большинство специалистов старшего поколения, которые нацелены на неформальный диалог с представителями молодого поколения судостроителей, для чего расширяется сотрудничество с ведущими средними профессиональными учреждениями и высшими учебными заведениями в области кораблестроения.

Целям инновационного проектирования конкурентоспособных на отечественном и внешнем рынках кораблей и судов



*Подведение итогов конкурса «Молодой кораблестроитель – инженер года»*

с характеристиками, соответствующими или превышающими мировой уровень, служит и проведение при участии НТО ежегодной научно-технической конференции по строительной механике корабля, и публикации докладов ее участников в специальном сборнике. Проблеме прочности всегда уделялось первостепенное внимание выдающихся ученых-кораблестроителей, а сама наука считается приоритетной на всех этапах развития кораблестроения.

2020 г. внес свои коррективы в проведение конференции по строительной механике корабля, организованной секцией «Прочности и конструкции корпуса судна» РосНТО совместно с Крыловским государственным научным центром и СПбГМТУ. Впервые за 20 лет это мероприятие проводилось в режиме on line. Тем не менее научная программа включала более чем 40 докладов, затрагивающих актуальные проблемы конструирования, прочности и эксплуатации судов и морских сооружений. Все они были представлены тремя тематическими секциями и молодежной секцией. Заслушанные в декабре 2020 г. на 6-й конференции доклады посвящены рассмотрению наиболее актуальных задач современного судостроения, таких как:

- обеспечение прочности судов и морских сооружений, эксплуатирующихся в условиях Арктики: расчет усталостной прочности конструкций в низкотемпературных условиях, использование полимерных композиционных материалов при проектировании и строительстве судовых конструкций;
- строительство ледоколов: анализ параметров формы корпуса, уменьшение металлоемкости и объема сварки в защитной оболочке реакторной установки, прямой расчет усталостного ресурса гребных валов мощных ледоколов. Для судов ледового плавания рассмотрены вопросы, посвященные ледовым нагрузкам на корпус винторулевых колонок и защите винторулевых колонок, оценке влияния формы льдины и скорости движения на контактное давление;

- поиск современных методов компьютерного проектирования судовых перекрытий на основе оптимизации их топологии и параметров;
- анализ особенностей расчета конструкций из полимерных композиционных материалов с помощью метода конечных элементов;
- вопросы обновления транспортного флота.

Конференция побудила исследователей работать еще эффективнее, а главное взаимодействовать друг с другом в рамках судостроительной отрасли.

Развитие флота оценивается не только ростом его количественного состава, но, что более существенно, мощными, опирающимися на успехи науки, прорывами в достижении качественно новых уровней технических характеристик кораблей.

Серьезную ошибку допускают те, кто, признавая бесспорно выдающиеся практические результаты работ по созданию отечественного флота, в то же время недооценивают роль их научной основы. Именно благодаря объединенным усилиям науки и промышленности в нашей стране создан и развивается океанский атомный флот.

Сегодня, когда качественно обновлены Стратегии развития судостроительной промышленности и ОСК, особенно очевидно, как важна для их реализации наука.

Своими неординарными решениями и технологическим новаторством НТО судостроителей демонстрирует лучшие качества, присущие отечественной инженерной школе, вносит существенный вклад в обеспечение инновационного развития отечественного судостроения.

Сегодня члены НТО – создатели кораблей обладают способностями оценивать достижения судостроительной науки, определять возможности их использования в интересах флота.

Можно с уверенностью сказать, что в каждом корабле заложены частички интеллектуальных усилий членов НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. ■

**В**алерий Николаевич Половинкин родился 2 мая 1951 г. в п. Добромино Смоленской области, Глинковского района. В 1965 г. с семьей переехал на постоянное место жительства в г. Кобрин Брестской области, где в 1968 г. окончил среднюю школу.

В 1968 г. поступил, а в 1973 г. с отличием окончил полный курс Севастопольского высшего военно-морского инженерного училища, получив диплом инженера-электромеханика.

После окончания учебы был направлен на Краснознаменный Северный флот для прохождения службы в должности командира моторной группы электромеханической боевой части большой океанской подводной лодки пр. 641, а затем командиром электромеханической боевой части. На подводных лодках и в штабах 4-й эскадры Северного флота проходил службу до августа 1979 г., участвовал в четырех длительных походах на боевые службы продолжительностью по 11–12 месяцев каждый. В составе соединения подводных лодок участвовал в оказании международной помощи в Арабской Республике Египет, Сирийской Арабской Республике, Алжире. В течение шести месяцев находился в служебной командировке в порту Александрия. Получил опыт организации и проведения ремонтов различных кораблей и судов за границей, в том числе в Югославии.

В 1979 г. поступил, а в 1981 г. с отличием окончил кораблестроительный факультет Военно-морской академии (ВМА) по специальности «Инженерная, боевой эксплуатации кораблей» и был назначен преподавателем кафедры двигателей внутреннего сгорания на этом же факультете ВМА. В мае 1986 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. В 1987 г. назначен старшим преподавателем, а в 1988 г. заместителем начальника кафедры дизельных энергетических установок кораблестроительного факультета ВМА, а в следующем году – начальником этой кафедры. Тогда же ему присвоено звание капитана 1 ранга. В 1989 г. с отличием окончил академические курсы офицерского состава по специальности «Военно-педагогическая». В 1992 г. получил назначение на должность начальника кораблестроительного факультета ВМА, в декабре того же года защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. В 1993 г. окончил академические курсы офицерского состава ВМА по специальности «Военно-педагогическая управленческая», избран в состав Экспертного совета

## В.Н. ПОЛОВИНКИНУ - 70 ЛЕТ

*РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,  
контакт. тел. (812) 710 4011*



по проблемам флота и кораблестроения ВАК, а впоследствии заместителем председателя (2002) и председателем (2014) этого совета. В 1994 г. ему было присвоено ученое звание «профессор». В 1998 г. в составе официальной делегации направлялся в специальную служебную командировку в Алжир. В 1999 г. с отличием прошел профессиональную переподготовку в международном Учебно-методическом центре с получением диплома менеджера делового администрирования.

В 2002 г. его избирают председателем Диссертационного совета по присуждению ученых степеней доктора технических наук ВМА, в 2013 – почетным профессором ВМА. Тогда же ему было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ».

С мая 2005 г. после окончания действительной военной службы Валерий Николаевич приступил к работе в ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова» в должности референта генерального директора – научного руководителя института, с 2014 г. – советника генерального директора, а с 2018 г. – научного руководителя ФГУП «Крыловский государственный научный центр».

В декабре 2012 г. он стал лауреатом Международной литературной премии в номинации «Краеведение» (полярноведение) за книгу «Русский Север – прошлое, настоящее и будущее», через год за многолетний творческий труд избран членом Союза писателей РФ.

Валерий Николаевич – участник многих международных выставок достижений науки и техники. Так, на

Московском Салоне изобретений и инноваций «Архимед» с 2000 по 2021 г. решением Международного жюри награжден 30 золотыми и серебряными медалями.

Распоряжением Президиума РАН от 16.09.2016 г. по результатам конкурса был введен в Реестр экспертов РАН. В том же году назначен руководителем секции по судостроению Научно-экспертного совета Морской коллегии при Правительстве РФ.

В.Н. Половинкин – действительный член Петровской академии наук и искусств (2003), действительный член Академии инженерных наук РФ (2016), член-корреспондент РАН (2021). Председатель Экспертного совета ВАК Минобрнауки РФ по проблемам флота и кораблестроения, член Президиума РосНТО имени академика А.Н. Крылова, председатель специализированного диссертационного совета ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», заместитель председателя специального диссертационного совета ФГУП «Крыловский государственный научный центр».

В.Н. Половинкин – основоположник и руководитель научной школы, включенной в реестр научных школ Санкт-Петербурга, по проблемам обеспечения живучести, надежности и безопасности корабельных боевых и технических средств на базе высоких наукоемких технологий, он активный последователь идей академика В.И. Вернадского.

Под непосредственным руководством В.Н. Половинкина были защищены более 50 диссертаций на соискание кандидата технических и экономических наук, а также на соискание доктора технических и экономических наук.

Он – автор 650 научных трудов, в том числе 65 монографий, книг, брошюр, 42 патентов на изобретения и научные открытия.

Удостоен многих государственных наград СССР, РФ и ряда развивающихся стран, в том числе ордена «За военные заслуги», имеет более 40 медалей.

*РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова поздравляет Валерия Николаевича с знаменательной датой и желают ему доброго здоровья, благополучия и дальнейших творческих открытий.*

*Редсовет и редколлегия журнала «Морской вестник» поздравляют Валерия Николаевича с юбилеем и желают ему здоровья, благополучия и дальнейших научных достижений.■*

К началу 1930-х гг. отечественная судостроительная отрасль смогла преодолеть состояние разлуки, вызванное Гражданской войной и интервенцией бывших стран-союзниц. На повестке дня встал вопрос строительства современного флота, при этом самым прагматичным решением было использование международного опыта военного кораблестроения, производства военно-морской техники и вооружения. Так, 31 марта 1931 г. начальник ВМС РККА Р. А. Муклевич обратился к Генеральному секретарю ЦК ВКП (б) И. В. Сталину с письмом следующего содержания: «В августе месяце прошлого года Вами были даны мне личные указания о немедленной отправке группы морских специалистов в Италию для ознакомления с достижениями в технике и тактике итальянского флота. Такая группа работников под руководством опытного моряка-коммуниста А. К. Сивкова была направлена в Италию, проработала там два года и вернулась с богатым материалом и наблюдениями».

Объективности ради следует отметить, что у итальянцев на тот момент уровень морской техники был весьма высок. Как в кораблестроении, так и морском вооружении они ушли далеко вперед. На фоне итальянских достижений особенно бросалась в глаза наша отсталость по торпедам, зенитной артиллерии, специальным снарядам и приборам управления артиллерийским огнем (ПУАО).

После возвращения из командировки А. К. Сивков составил и представил точную заявку на необходимые заказы для морского флота. В записке, в частности, отмечалось: «Итальянцы подчеркивали в беседах с нашими специалистами, что они пойдут на предоставление нам кредита, так что первые валютные платежи по нашим заказам будут предстоять только в 1932 году. Имеется Постановление Политбюро ЦК ВКП (б) о том, чтобы дать необходимые контингенты для этих заказов; тем не менее, вопрос окончательного решения не получил и «повис в воздухе». Время идет, хороших торпед и зенитной артиллерии у нас нет. Отечественная промышленность безуспешно бьется над решением тех задач, которые за границей давно уже разрешены».

Давая указания о поездке наших специалистов в Италию в августе прошлого года, Вы придавали огромное значение нашим связям с итальянцами, именно по морской линии. Говорили даже о возможности заказа крейсера. Теперь это дело застопорилось, боюсь, что Вы об этом и не знаете. Докладываю и прошу Вашего личного вмешательства [1].

Данное письмо возымело свое действие. Партийно-хозяйственный механизм пришел в движение, и уже 5 апреля 1931 г. вышло Постановление Комитета

## ИТАЛЬЯНСКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОМОЩЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КРЕЙСЕРА «КИРОВ»

**В. Н. Половинкин**, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, науч. руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,  
**С. В. Федулов**, д-р истор. наук, доцент Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского,

**Б. А. Барбанель**, канд. техн. наук, академик РАЕН, вице-президент РосНТО им. акад. А. Н. Крылова,

**Д. А. Косаренко**, начальник учебной части – заместитель начальника кафедры Общевоенной подготовки ВУЦ СПбГУ,  
контакт. тел. (812) 315 5027

Обороны (КО) Совета Народных Комиссаров (СНК) СССР разрешающее Народному комиссариату по военным и морским делам (НКВМД) вести переговоры о заказе в Италии вооружения – торпед, зенитной артиллерии и приборов управления артиллерийским огнем (ПУАО). Сумма определялась в 4 млн. руб. сверх существующих контингентов без валютных платежей в текущем году. Ввиду срочности решения вопроса содержание постановления было передано руководству НКВМД ответственным секретарем КО СНК СССР Антоновым по телефону [2].

Был решен вопрос и о строительстве крейсера. Так, 28 сентября 1933 г. вышло Постановление КО СНК СССР «О приобретении иностранной технической помощи по постройке крейсеров». Данным постановлением было определено: «Предложить наркому тяжелой промышленности Г. К. Орджоникидзе немедленно пригласить в СССР представителей итальянской фирмы «Ансальдо» для переговоров о заключении договора на техническую помощь по постройке крейсеров и покупке механических установок для одного крейсера. Первый крейсер строить в г. Ленинграде, место постройки второго крейсера установить особом». [3]

Дальнейшей реализацией данного решения стало Постановление КО СНК СССР от 17 февраля 1934 г. «О результатах переговоров по иностранной технической помощи для постройки крейсеров», в котором, в частности, было определено Народному комиссариату тяжелой промышленности (НКТП) продолжить переговоры с фирмой «Ансальдо», заключить с ней в кратчайший срок договор на техническую помощь по крейсерам. Считать возможным принять цену в 3 000 000–3 300 000 рублей за крейсер и техпомощь». [4] Данный договор был заключен с фирмой «Ансальдо» Центральным конструкторским бюро судостроения-1 (ЦКБС-1) 6 мая 1933 г.

Договором определялось следующее: «I. В результате получения механизмов и техпомощи по судостроению

от итальянской фирмы в СССР должен быть построен крейсер со следующими характеристиками: вооружение: 6 180-мм орудий в 3-х парных башнях; 6 100-мм зенитных орудий; 6 45-мм зенитных полуавтомата; 23-трубных торпедных аппарата; 2 самолета на катапультах; ПУАО; мины и глубинные бомбы. Водоизмещение стандартное – 7000 т.

II. В соответствии с договором фирма поставляет в СССР:

1. Полный комплект главных и вспомогательных механизмов в соответствии с прилагаемым к договору перечнем.

2. Техпомощь по постановке производства указанных в перечне механизмов на заводах СССР. Передача данных технологического процесса, поставка калибров, шаблонов, приспособлений и устройств, необходимых для изготовления этих механизмов, отправка в СССР своих высококвалифицированных инженеров и техников (18–24 человека) для обучения и руководства работами на наших заводах и, наконец, обучение советских инженеров (12 человек) и рабочих на своих заводах.

3. Комплект чертежей, расчетов и спецификаций по корпусной части крейсера «Монтекуколи», одного из наиболее современных крейсеров итальянского флота, вступающего в состав флота в 1935 г. А также теоретические чертежи по винтам для проектируемых в СССР крейсера и эсминца.

III. Фирма обязалась поставить в СССР все вышеперечисленное имущество в следующие сроки:

1. Комплект механизмов – в течение 12 месяцев частями, начиная с 8-го месяца со дня вступления договора в силу. Чертежи и расчеты к ним – в течение 8 месяцев.

2. Все данные по технологическому процессу изготовления механизмов будут сданы в течение 8 месяцев, причем первая партия – через 80 дней со дня вступления договора в силу. Длительность обучения советских специалистов (12 инженеров и 10 рабочих) на заводах фирмы в Италии определена в 4,5 месяцев.

3. Все чертежи и материалы по крейсеру «Монтекукколи» будут сданы советской стороне в течение 7,5 месяцев, причем первая партия – через 80 дней. Теоретические чертежи будут сданы через 100 дней.

IV. Фирма гарантирует мощность и расход топлива главных механизмов крейсера, поставляемых ею, а также механизмов, построенных в СССР по ее чертежам и указаниям. Фирма гарантирует скорость корабля, построенного по разработанному ею теоретическому чертежу и снабженного механизмами фирмы. Материальное выражение гарантий определяется штрафными санкциями, которые не могут превышать 13% стоимости договора.

V. Стоимость техпомощи по крейсеру и условия платежей определялись следующим образом:

1. За механизмы и чертежи с расчетами (по п. I) уплачивается 26 000 000 ит. лир, из которых 70% векселями с 18-месячным кредитом, частями по мере изготовления механизмов (в течение года) и 30% наличными, из которых 15% после сдаточных испытаний и 15% после годового гарантийного срока работы этих механизмов.

2. За техпомощь, обучение советских специалистов, поставку инструментов и другого имущества (по п. II.), включая лицензии на право воспроизводства в СССР 3 комплектов турбин, уплачивается 5 530 000 ит. лир. Данная сумма должна выплачиваться равными частями каждые 6 месяцев, из них: 90% платежей векселями с 18-месячным кредитом и 10% наличными (последний платеж).

3. За чертежи и материалы по крейсеру «Монтекукколи», а также теоретические чертежи уплачивается 3 000 000 ит. лир пятью равными частями в течение 9 месяцев векселями с 18-месячным кредитом. Таким образом, вся сумма договора определяется в 34 350 000 ит. лир, включая проценты по кредиту, окончательная цена установлена в 36 300 000 ит. лир (около 3 750 000 золотых рублей).

VI. Для своевременного изготовления фирмой всех механизмов и поставки инструментов, шаблонов, и калибров Главный комитет морской промышленности должен в сроки, определенные договором, предоставить фирме ряд сведений, уточняющих требования по заказу, а также некоторые данные станочного оборудования заводов в СССР, которые предназначены для постройки этих механизмов» [5].

О ходе выполнения данного договора свидетельствует справка-доклад начальника Управления кораблестроения ВМС РККА А. К. Сивкова начальнику ВМС РККА В. М. Орлову, из которой видно следующее [6]: «Изготовление ме-



*Крейсер «Раймондо Монтекукколи»*

ханизмов на заводах фирмы «Ансальдо» осуществляется в соответствии с условиями договора. Чертежи I и II очереди по крейсеру «Монтекукколи» переданы итальянской фирмой в ЦКБС-1, хотя их доставка проходит медленно. Пять-шесть дней на пароходе до Одессы, а из Одессы в Ленинград доходят через месяц, причем по вине одесской таможни они пересылаются заводу «Большевик», несмотря на наличие на пакетах правильного адреса: «ЦКБС-1».

Особо начальник Управления кораблестроения ВМС РККА остановился на работе приемной комиссии в Италии. На заводах фирмы «Ансальдо», осуществляя прием механизмов для строящегося в СССР крейсера, находилась комиссия в составе председателя С. Н. Никитина и девяти инженеров (четверо – от Балтийского завода, один – от Северной судостроительной верфи, трое – от Харьковского тракторного государственного завода и один – от Управления ВМС РККА). На тот момент оформлялись документы для заграничной командировки еще трем инженерам (двум – от Балтийского завода и одному – от Ленинградского кораблестроительного института). Несколько увеличенное по сравнению с условиями договора количество приемщиков было вызвано тем, что контрагентские заводы фирмы были расположены в различных городах Италии, что затрудняло их приемку.

Для изучения производства механизмов в Италию было направлено восемь инженеров и один мастер (пять – от ЦКБС-1, один – от Северной судостроительной верфи, один – от Балтийского завода и двое – от Николаевской группы заводов) вместо двенадцати специалистов по договору. Оформлялась поездка еще двух инженеров (по литью и поковкам). Десять рабочих, которые, согласно условиям договора, должны были обучаться на заводах фирмы «Ансальдо», не были в срок отправлены. Документы были оформлены с большим опозданием и то, только

на восемь человек (четверо – от Главморпрома, двое – от Краматорского завода, двое – от завода «Баррикада») [7].

Начальник Управления кораблестроения ВМС РККА В. М. Орлов в связи с вышеизложенным предлагал увеличить технический аппарат приемки (на два делопроизводителя и два переводчика), так как председатель комиссии не справлялся с огромным количеством чертежей (он должен был принять около 10 000 чертежей и расчетов по 2000 в каждой партии), ускорить доставку почтой документации по контракту из Одессы в Ленинград, послать в кратчайший срок рабочих в Геную, предложить НКТП дооборудовать отечественные турбинные заводы необходимым оборудованием.

Следует отметить, что в конце 1934 – начале 1935 гг. в Италии на заводах фирмы «Ансальдо» находилось 26 инженеров. Это были специалисты по проектированию турбин и вспомогательных механизмов; рефрижераторной установке; трубопроводам и арматуре; котлам; технологическому процессу изготовления турбин, приспособлений, инструментов; стальному литью и по ковке; корпусу корабля; организации производства. Дополнительно были направлены еще пять инженеров (по электрооборудованию, главным турбинам и вспомогательным механизмам). Вместе с тем прибыли в Италию и десять рабочих [8].

Вместе с тем имелись отдельные проблемы с уже отправленными в Италию советскими специалистами. Так, 15 октября 1934 г. военно-морской аташе в Италии Л. В. Анципо-Чикунский докладывал начальнику ВМС РККА, что специалисты из СССР прибывают не тех специальностей и квалификаций, которые требуются ходом работ. Приехали четыре котельщика, хотя котлов фирма «Ансальдо» не строит, нет ни одного электрика, кузнеца, не хватает турбинистов.

Ряд заводов-смежников и цехов оказались без представителей советской приемки. У председателя прием-



**Л. В. Анципо-Чикунский**

ной комиссии по итальянской технической помощи постройки крейсера С. Н. Никитина нет заместителя, его «заваливают» бумагами, а Торгпредство дало ему указание ни одного документа фирмы «Ансальдо» не оставлять без ответа в тот же день. Это лишает его возможности руководить деятельностью членов комиссии на местах.

ЦКБС-1 не представило сведений об оборудовании харьковского завода, предложив фирме «Ансальдо» рассчитывать технологический процесс на базе собственного (итальянского) оборудования, а через два месяца прислали необходимые данные. Представители фирмы отметили, «что оборудование настолько различается, что необходимо рассчитывать процесс заново. Задержка выполнения заказа, таким образом, составляла два месяца.

Браковка чертежей нашими приемщиками осуществляется беспощадная, они требуют иногда сверх договора. Приемщики приезжают, конечно, без знания языка, а сроки предъявления изделий уже проходят. Приезжающие даже не знают содержания договоров, так что подготовка наших специалистов в Советском Союзе отсутствует».

В заключение военно-морской атташе И. Н. Анципо-Чикунский просил срочно направить заместителя председателя приемной комиссии в Италию и спешно прислать еще шесть специалистов, но обязательно тех специальностей и квалификаций, которые определены [9].

Следует отметить, что контроль за выполнением заказа осуществлял военно-дипломатический аппарат НК-ВМД в лице военно-морского атташе и его помощника. Они сообщали, что на заводе фирмы «Ансальдо» в Генуе для строящегося в Ленинграде крейсера «Киров» первая партия судовых установок должна быть сдана к 5 мая 1935 г., вторая – к 1 июня того же года. Однако уже на момент проверки хода работ

по выполнению заказа стало очевидно, что запоздание его составит несколько месяцев. Причину этой задержки руководство фирмы объяснило тем, что с 1 января 1935 г. завод приступает к постройке линкора для ВМС Италии водоизмещением 35 000 т и главное внимание уделяет этому участку работ. В конце декабря 1934 г. начал продвигаться и советский заказ.

О работе приемной комиссии на данном заводе помощник военно-морского атташе в Италии докладывал начальнику ВМС РККА следующее [10]: «В составе комиссии нет специалистов по кузнечному делу. Необходимо срочно прислать таковых, тем более что фирма приступила к поковкам для линкоров, надо использовать эту возможность для освоения опыта данной технологии и применять на отечественных предприятиях».

Также в докладе отмечалось, что «политико-моральное состояние членов комиссии удовлетворительное, но имелись два нерешенных вопроса:

- уравниловка: все члены комиссии (инженеры, мастера) без различия производственного стажа и характера работы получали по одной ставке – 1500 лир. Помощник военно-морского атташе предлагал ликвидировать эту не ведущую к пользе дела оплату труда путем установления специальной тарификации наркомата тяжелой промышленности;
- о семьях: комиссия должна была находиться в Италии до осени, поэтому возник деликатный вопрос о необходимости прислать семьи тем членам комиссии, кто останется до завершения заказа. Решение вопроса с присылкой семей, по мнению помощника военно-морского атташе, должно улучшить работу комиссии. Настроение членов комиссии было взято под контроль». [11]

Следует отметить, что первоначальный проект крейсера «Киров» основывался на проекте крейсера «Раймондо Монтекукколи», а окончательный проект создавался на основе теоретического чертежа крейсера «Эудженио ди Савойя» – дальнейшего развития крейсера «Раймондо Монтекукколи». Полный пакет технических документов на корабль был приобретен советской стороной у итальянской фирмы «Ансальдо» главным конструктором крейсера пр. 26в А. И. Масловым [12].

Однако уже в ходе строительства корабля в его проект были внесены поправки, предложенные представителями ВМФ. Так, например, 13 января 1937 г. командиром строящегося крейсера капитаном 2 ранга Птоковым было направлено письмо, адресованное уполномоченным Отдела кораблестроения (ОК) и Отдела вооруже-



**А. И. Маслов**

ния (ОВ) Управления морских сил (УМС) в Ленинграде, директору завода № 189 им. Орджоникидзе, начальнику Научно-исследовательского морского института связи (НИМИС), директору электро-морского проекта. В письме были изложены предложения, нацеленные на удобство обслуживания и улучшение эксплуатационных качеств радиооборудования и визуальной связи, а именно:

- «По радиотрансляционному узлу:
- из трансляционного узла на ют провести кабельную проводку с штепселями для возможности включения в городскую трансляционную сеть при стоянке у стенки;
- сделать параллельную линию для возможности трансляции через адаптер из радиоузла;
- в радиорубках и радиоцентре установить трансляционные точки, которые по каким-то причинам и соображениям не попадали туда;
- в помещении радиоузла для агрегата и аккумуляторов сделать выгородку (что вполне возможно) для их размещения;
- по радиорубке:
- как показал опыт, для обеспечения связи с самолетом-корректировщиком артиллерийского огня совершенно необходимо иметь радиस्ता, принимающего корректировку в непосредственной близости от управления огнем, при этом изготовить проводку со штепселями на концах, а именно: из средней радиорубки (радифон) – в командный дальноммерный пост, а также в центральный артиллерийский пост;
- поставить переходное устройство от УКВ в телефонную сеть корабля (симплекс);
- по оборудованию мостиков:
- в связи с тем, что сирена и свисток находятся на очень большом расстоянии от мест управления, электрифицировать управление ими;

– предусмотреть сигнализацию между постом визуальной связи и вахтенным командиром (на ходу), по типу линейного корабля «Марат», для удобства управления парами и сигналами при выполнении поворотов» [13].

На еще большие недостатки в реализации итальянского проекта при постройке крейсера «Киров» 25 февраля 1937 г. указывали начальник Управления кораблестроения (УК) УМС инженер флагман 2 ранга Б. Е. Алякрицкий и начальник 2-го отдела УК УМС военинженер 1 ранга Дмитриевский в письме, адресованном начальнику ЦКБ № 17. В нем указывалось, что планируемое размещение щитов с приборами в посту энергетика крейсера «Киров» «совершенно неудачно и не может быть допущено УК УМС РККА к выполнению без коренной переделки на основании следующего:

1. Щит главных турбин размещен в углу на кормовой переборке вместо центральной панели на правом борту, вследствие чего со своего места командир БЧ-5 лишен возможности производить обзор как котельного, так и электротехнических щитов.

2. Неудачное расположение приборов на щитах, которое не соответствует даже чертежам, предварительно разработанным ЦКБ № 17 с целью укорочения трубок для подвода к манометрам, а не лучшего управления механической частью корабля в боевой обстановке. Исходя из этой, так называемой экономии, с правой стороны щита главных механизмов расположены приборы левой турбины, а с левой стороны – правой турбины, что очевидно может вносить путаницу при наблюдении за приборами и не может быть оправдано, так как укорочение трубок составило не более 1 м для каждого манометра.

3. ЦКБ № 17, которое не имело опыта в оборудовании и размещении щитов в посту энергетика (так как строило только малые корабли), не используя опыта конструкторского бюро завода № 189 и не привлекая к решению флаг-

манских специалистов Балтийского флота и командиров БЧ-5 линейных кораблей, решило этот вопрос формально, основываясь на итальянском проекте.

4. ЦКБ № 17, проводя работы по размещению щитов и приборов на щитах поста энергетика, согласовало этот вопрос не с авторитетной макетной комиссией, а лишь с командиром БЧ-5 крейсера, военинженером 2 ранга Кетовым, не имеющим достаточного опыта в постройке кораблей и тем более в оборудовании постов».

На основании вышеизложенного УК УМС РККА категорически настаивал:

«1. До решения этого вопроса макетной комиссией приостановить монтаж приборов на щитах в посту энергетика.

2. Прекратить ЦКБ № 17 согласовывать принципиальные вопросы по механической части корабля с корабельным личным составом, минуя военных представителей УК УМС.

3. Чертежи окончательного расположения щитов в посту энергетика и размещение приборов на щитах должны быть утверждены УК УМС РККА» [14].

Это был далеко не полный перечень изменений и технических решений, которые необходимо было внести в итальянский проект, чтобы адаптировать его к требованиям ВМФ. Важно отметить, что крейсера «Раймондо Монтекукколи» и «Эудженіо ди Савойя» имели на вооружении по восемь 152-мм орудий главного калибра, в то время как крейсер «Киров» был вооружен девятью 180-мм орудиями, а это требовало существенной корректировки и переделки проекта. Об этом, в частности, свидетельствует обращение начальника бюро «К» Григорьева к главному инженеру завода № 194 им. Марти Петрову от 16 июня 1937 г., в котором он сообщает, что «согласно письма от 4 мая 1937 г. Вам необходимо изменить уклон носового 45-мм элеватора и увеличить его длину. Это стало необходимым в связи с изменением высоты надстроек». [15]

25 сентября 1938 г. крейсер «Киров» был включен в состав ВМФ. Но это уже был другой корабль – крейсер пр. 26.

#### Характеристики крейсера «Киров»

Водоизмещение, т:	
стандартное . . . . .	7880
нормальное . . . . .	8545
полное . . . . .	9436
Длина, м . . . . .	191,0
Ширина, м . . . . .	17,66
Осадка, м . . . . .	6,15
Мощность механизмов, тыс. л. с.	113
Скорость хода, уз:	
максимальная . . . . .	36
экономическая . . . . .	18
Дальность плавания	
(эконом. ходом), мили . . . . .	3750
Экипаж, чел. . . . .	872
Вооружение (кол-во):	
орудий. . . . .9×180-мм, 6×100-мм, 6×45-мм	
(в 1943 г. число 100-мм орудий было	
доведено до 8, а 37-мм – до 10,	
45-мм орудия были сняты)	
пулеметов . . . . .	4×12,7-мм
торпедных аппаратов . . . . .	2
трехтрубных 533-мм	
бомбометов . . . . .	4 БМБ-1
бомбосбрасывателей . . . . .	2
глубинных бомб . . . . .	26 больших
	и 40 малых

На палубу крейсер принимал до 100 мин «КБ». Имелись катапульты и два самолета типа «КОР». Бронирование корпуса и башен ГК – 50-мм, боевой рубки – 100–150-мм [16].

Затраты на строительство корабля составили 55,3 млн. руб. Примерно во столько же (около 60 млн. руб.) обошлось строительство однотипного «Ворошилова» и более совершенных крейсеров (пр. 26бис) «Максим Горький» и «Молотов». А вот стоимость постройки крейсеров для Тихоокеанского флота («Калинин» и «Каганович») в Комсомольске-на-Амуре оказалось практически в два раза дороже, чем в европейской части страны и достигла 111,2 млн. руб. [17].

Таким образом, использование итальянской технической помощи при строительстве крейсера «Киров» в определенной степени способствовало развитию отечественной судостроительной мысли. Это касалось как проектирования, так и производства. Вместе с тем говорить о том, что крейсера типа «Киров» были построены по итальянскому проекту не корректно, так как в результате переработки проектной документации, изменений, внесенных в ходе самой постройки, получился абсолютно новый корабль, ставший головным целой серии. Ряд последующих крейсеров строился по пр. 26бис со значительными усовершенствованиями. Необходимо отметить, что крейсера проектов 26 и 26бис достойно прошли выпавшие на них испытания в годы Великой Отечественной войны, а полученный по репарациям итальянского флота крейсер «Керчь» (бывш. итальянский «Эммануэле Филиберто Дюка ди Аоста», однотипный



Легкий крейсер «Киров»



*Крейсер «Эудженио ди Савойя»*



*Крейсер «Керчь» («Эммануэле Филиберто Дюка ди Аоста») передан ВМФ СССР по репарациям 6 февраля 1949 г.*

крейсеру «Эудженио ди Савойя») не вызвал особых затруднений у советских моряков при его освоении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Российский государственный архив Военно-Морского Флота (далее – РГАВМФ). Ф.Р-1483. Оп. 1. Д. 106. Л. 275.
2. Там же. Л. 276.
3. РГАВМФ. Ф.Р-1483. Оп. 1. Д. 498. Л. 202.
4. Там же. Д. 499. Л. 14.
5. РГАВМФ. Ф.Р-441. Оп. 14. Д. 56. Л. 20–29.
6. Там же, Л. 11–12.
7. Там же.
8. Там же, Л. 13–14.
9. РГАВМФ. Ф.Р-441. Оп. 14. Д. 56. Л. 17.
10. РГАВМФ. Ф.Р-1483. Оп. 1. Д. 294. Л. 5.
11. Там же. Л. 6–7.
12. «Киров» (крейсер). – [Электронный ресурс] <https://arsenal-info.ru/b/book/4159353989/13>. Дата обращения 23.12.2020.
13. Центральный государственный архив Санкт-Петербурга (далее – ЦГА СПб). Ф.Р-1192. Оп. 20 Д. 353. Л. 13.
14. ЦГА СПб. Ф.Р-1192. Оп. 20. Д. 352. Л. 39.
15. Там же. Д. 353. Л. 56.
16. Краснознаменный крейсер «Киров». – [Электронный ресурс] <https://diletant.media/articles/45269690/>. Дата обращения 23.12.2020. ■

**10** марта 2021 г. в ЦТСС состоялось совместное собрание Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга. На собрании присутствовали директор или заместители директоров 36 предприятий – членов Ассоциации из 49, председатель КППИ К. А. Соловейчик, заместитель председателя КППИ А. А. Яковлев, ответственный секретарь Морского Совета Правительства Санкт-Петербурга Т. И. Чекалова, генеральный директор Союза промышленников и предпринимателей М. А. Лобин, президент Ассоциации промышленных предприятий Санкт-Петербурга В. А. Радченко, почетный президент Ассоциации Санкт-Петербурга и Ленинградской области В. Л. Александров.

Председатель собрания – президент Ассоциации М. В. Александров.

Об итогах выполнения в 2020 г. Государственной программы «Развитие промышленности, инновационной деятельности и агропромышленного комплекса в Санкт-Петербурге на период 2015–2020 гг.» и задачах судостроителей на 2021 г. доложил председатель КППИ правительства Санкт-Петербурга К. А. Соловейчик. Он рассказал, что кораблями Санкт-Петербурга и Ле-

## ИТОГИ СОВМЕСТНОГО СОБРАНИЯ АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И СЕКЦИИ ПО СУДОСТРОЕНИЮ МОРСКОГО СОВЕТА ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, контакт. тел. (812) 786 1172*



*Слева направо: В.Л. Александров, К.А. Соловейчик, М.В. Александров*

нинградской области в 2020 г. спущено на воду 11 кораблей и судов. Выручка от экспорта судостроительной продукции в прошедшем году составила более 200 млн. долл. Между правительством города и АО «ОСК» заключено соглашение по четырем направлениям: производительность труда, экспорт, малое и среднее предпринимательство и инновации.



**И.Л. Вайсман**

С информацией о состоянии решения проблемы закредитованности предприятий ОПК выступил заместитель генерального директора завода «Пелла», эксперт Ассоциации И.Л. Вайсман. «Задержка принятия системного решения проблемы закредитованности предприятий ОПК, о которой шла речь в нашем обращении к Секретарю Совета безопасности РФ Н.П. Патрушеву (исх.165 от 09.12.2020 г.), – сообщил он, – приносит ежегодно значительный ущерб бюджету страны, препятствует привлечению инвестиций для диверсификации, импортозамещению и техническому развитию предприятий ОПК».

Об ограничениях импорта спутникового оборудования и последствиях для судостроительной отрасли рассказал директор по закупкам и логистике ООО «Транзас-Навигатор» С.А. Комаров. Решение Государственной комиссии по радиочастотам № 18–47–03 было принято без учета специфики судостроительной отрасли, что приводит к негативным последствиям для государственных программ развития судостроения и кораблестроения и их конкурентоспособности.

О дальнейшей деятельности Рабочей группы «Формирование предложений предприятий и организаций судостроения Санкт-Петербурга для создания и дооборудования объектов инфраструктуры, создания судов и объектов морской техники», сформирован-

ной в рамках ведомственного проекта Комитета Санкт-Петербурга по делам Арктики «Активизация участия города в развитии судоходства по Северному морскому пути» информировал генеральный директор ЦТСС М.В. Александров. Он отметил, что по инициативе Комитета Санкт-Петербурга по делам Арктики при ЦТСС сформирована Рабочая группа под его руководством для разработки предложений по организации комплексного решения проблем освоения Арктики. В рабочую группу вошли представители ведущих предприятий города.

Затем о работе Ассоциации в 2020 г. отчитался ее исполнительный директор А.А. Юрчак. (Письменный отчет о работе был представлен всем участникам собрания, также проект плана работы на 2021 г. и проект сметы расходов). Он напомнил, что согласно Уставу Ассоциации в 2021 г. истекает срок полномочий руководящих и исполнительных органов Ассоциации.



**А.А. Юрчак**

Далее В.Л. Александров сообщил, что сын генерального конструктора СПМБМ «Малахит» Г.Н. Чернышов написал книгу о нем и есть предложение оказать финансовую и организационную помощь в ее издании с целью увековечивания памяти об этом замечательном человеке.

Президент АПП СПб В.А. Радченко рассказал, что ООО «Завод по переработке пластмасс имени «Комсомольской правды» (далее – завод КП) предлагает ряд услуг предприятиям – членам Ассоциации, а именно: брать в переработку пластмассовые отходы, изготавливать для своих нужд пластмассовые изделия, оснастку из пластмассовых отходов.

В обсуждении докладов приняли участие В.Л. Александров, М.А. Лобин, Т.И. Чекалова и др.

РЕШЕНИЯ Собрания:

1. Доклад К.А. Соловейчика принять к сведению.

2. Руководителям предприятий – членов Ассоциации считать основной задачей достижение контрольных показателей Соглашения между правительством города и АО «ОСК» в части судостроения на 2021 г.

3. Поручить Рабочей группе под руководством В.Л. Александрова подготовить и направить Председателю Совета безопасности РФ В.В. Путину обращение с просьбой взять под личный контроль выполнение своего поручения о внесении необходимых изменений в Федеральный закон ФЗ-275 для системного решения проблемы закредитованности и безусловного обеспечения финансовой устойчивости деятельности предприятий ОПК – головных исполнителей ГОЗ, их технического развития, диверсификации и импортозамещения.

4. Обратиться в Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ и Министерство транспорта РФ с просьбой о нераспространении действия решения Государственной комиссии по радиочастотам № 18–47–03 на судовое оборудование.

5. Одобрить формирование Рабочей группы, а предприятиям – членам Ассоциации оказывать ее работе всяческую поддержку и содействие.

6. Рекомендовать к утверждению отчет за 2020 г., проект плана работы и проект сметы расходов на 2021 г.

7. Решено поддержать предложение увековечивания памяти генерального конструктора СПМБМ «Малахит» Г.Н. Чернышова, исполнительный директории подготовить письма-обращения к предприятиям – членам Ассоциации об оказании финансовой поддержки издания книги о нем.

8. Рекомендовать предприятиям – членам Ассоциации обратить внимание на предложения завода КП. Для уточнения предложений назначено контактное лицо – Елена Викторовна Орлова, тел. 542 1236.

Настоящее общее собрание провело выборы членов руководящих и исполнительных органов. В ходе открытого голосования президентом Ассоциации избран М.В. Александров, вице-президентами – А.С. Соловьев и Л.Г. Грабовец; членами исполнительного дирекции стали Т.Ю. Мишина, П.Н. Смирнов и А.А. Юрчак (за – 36, против – нет). ■

**26** марта 2021 г. в Санкт-Петербургском Морском Собрании состоялся круглый стол на тему: «165 лет Парижского мирного договора 1856 года». В заседании приняли участие сотрудники петербургских архивов федерального значения, историки, офицеры – члены Морского Собрания СПб: капитан 1 ранга в отставке С. В. Чернявский, капитан дальнего плавания А. Б. Давыдов, кандидат исторических наук заместитель директора РГАВМФ А. Ю. Емелин, кандидат исторических наук сотрудник РГАВМФ О. Н. Кондакова и др. Вела заседание историограф МС СПб доктор исторических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН Г. А. Гребенщикова.

Участники круглого стола отметили трагизм событий Крымской (Восточной) войны 1853–1856 гг., когда Россия оказалась наедине против коалиции держав – Великобритании, Франции, Австрии и Турции (Османской империи). Союзные державы – Англия и Франция – ввели в Черное море мощный парусно-винтовой флот, в результате чего император Нико-



лай I и главнокомандующий в Крыму князь А. С. Меншиков отказались вести боевые действия на Черном море. В 1854–1855 гг. по приказу А. С. Меншикова на Большом Севастопольском рейде были затоплены все корабли,

фрегаты и пароходы Черноморского флота вместе с яхтами, бригами, шхунами, мелкими и транспортными судами. Союзники добились давно вынашиваемой цели – уничтожить русский Черноморский флот – главное детище адмирала М. П. Лазарева. Противник, обстреливая укрепленные позиции города, так и не смог прорваться на рейд, а после взятия англо-французскими войсками главной высоты защитников – Малахова кургана – Севастополь пал.

После тяжелого поражения в Крымской войне Россия оказалась в униженном положении, в условиях международной изоляции, лишилась флота на Черном море, а судоходство по Дунаю фактически перешло под контроль Австрии. Оборонять огромное побережье от за-

падных до восточных рубежей России было нечем. 18 (30) марта 1856 г. в Париже состоялась конференция с участием воюющих держав, завершившаяся подписанием мирного договора России с Турцией. Черное

## О СУДЬБЕ ПАРИЖСКОГО МИРНОГО ДОГОВОРА 1856 Г.

*Г.А. Гребенщикова, д-р истор. наук, проф. СПбГМТУ, историограф Морского Собрания Санкт-Петербурга, контакт. тел. (812) 312 5396*

море получило статус нейтрального, Турция вернула крепости Карс, Баязет, Южную Бессарабию и Дунайские гирла, а Россия не могла иметь военный флот на Черном море. Условия Парижского договора строго регламентировали количество военных судов, которые русские могли держать здесь – шесть винтовых корветов, девять транспортов и четыре колесных парохода.

Вместе с тем на общих итогах конгресса в Париже благоприятно сказалось высокое дипломатическое искусство графа Алексея Федоровича Орлова, представлявшего Россию. Его дипломатия, помноженная на умение направлять переговоры в нужное русло и извлекать пользу из противоречий держав, позволила удержать Крым и сохранить инфраструктуру главных южных верфей – Херсона и Николаева.

31 октября 1870 г., четырнадцать лет спустя после конгресса в Париже, дипломатия императора Александра II покончила с униженным положением России на Черном море, ущемлявшим ее суверенитет и державное достоинство. Российский канцлер светлейший князь А. М. Горчаков направил циркуляры императорским послам в Лондон, Париж, Вену, Рим и Стамбул с уведомлением о непризнании более Россией ограничений в отношении военного флота на Черном море, наложенных на нее статьями Парижского договора, и что Россия более не считает себя связанной постановлениями, которые ставят под угрозу ее национальную безопасность. Нота А. М. Горчакова об аннулировании статей Парижского договора позволила правительству Александра II вплотную заняться подъемом флота на юге, что обуславливалось опасностью, исходившей от Османской империи.

Участники круглого стола подчеркнули большую научную и историческую значимость событий 1870 г. для дальнейшего строительства Черноморского флота, для укрепления положения России на внешнеполитической арене и для ее нормального торгово-экономического развития. ■

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутоновые), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутоновых, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безвозмездной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

## РЕФЕРАТЫ

УДК 629.56 **Ключевые слова:** торпедолов, проект, архитектура, состав оборудования, анализ характеристик

**Д. В. Жмурич, К. В. Жмурич, С. В. Московкина. Торпедолов ТЛ-2195. Пополнение в составе судов обеспечения боевой подготовки военно-морского флота//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 8**

Приведено краткое описание архитектуры и состава основного оборудования нового катера-торпедолова ТЛ-2195 пр. 1388нз. Выполнен краткий сравнительный анализ его тактико-технических характеристик и характеристик катеров аналогичного назначения отечественной постройки. Т. 1. Ил. 14. Библиогр. 8 назв.

УДК 629.576.532 **Ключевые слова:** судно на воздушной подушке, амфибийные свойства, преодоление препятствий

**В. К. Дьяченко, И. А. Захряпин, Д. Е. Цыпляков. Задача преодоления амфибийным судном на воздушной подушке препятствия типа «узкая вертикальная стенка»//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 12**

Рассмотрена аналитическая задача преодоления амфибийным судном на воздушной подушке при движении над твердым экраном препятствия типа «узкая вертикальная стенка». Т. 1. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** атомный ледокольный флот, Северный морской путь, Арктический регион России, перспективы развития

**М. А. Александров, Ю. Л. Бордученко. Перспективы атомного ледокольного флота по освоению Северного морского пути//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 17**

Арктическая зона в XXI в. становится важнейшим гарантом устойчивого развития Российской Федерации. Вклад Севера в экономику России во многом будет определяться масштабами и темпами развития арктической транспортной системы. Необходимо расширение коммерческого и научно-исследовательского судостроения, развитие транспортных узлов и коридоров, полярной авиации, грузопассажирских морских полярных перевозок. Всего этого невозможно достичь без развития уникального атомного ледокольного флота. Представлен краткий обзор текущего состояния и показаны возможные перспективы развития атомного ледокольного флота России. Показана его определяющая роль в обеспечении судоходства по трассам Северного морского пути для развития экономики Арктического региона России. Т. 4. Ил. 4. Библиогр. 15 назв.

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** речное круизное пассажирское судно, пассажироместимость, проектирование, анализ, инновации

**А. Г. Егоров. Речные круизные суда КНР: исследование характеристик судов//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 25**

Выполнено исследование флота китайских речных круизных пассажирских судов, выделены особенности этого флота, определена суммарная пассажироместимость. Т. 8. Ил. 21. Библиогр. 16 назв.

УДК 65.011.56 **Ключевые слова:** цифровой двойник, модельно-ориентированное проектирование, техническое задание, опытно-конструкторская работа, единая система конструкторской документации, техника, система, жизненный цикл

**Е. В. Сальников, Ю. С. Самычко. Цифровой двойник: теория и перспективы применения//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 33**

Снижение и устранение технических рисков при создании новой техники происходит на этапе опытно-конструкторских работ (ОКР) по созданию опытного образца техники. Интегральный результат ОКР проявляется на этапе испытаний, и часто он не полностью положительный. Возникает необходимость повышения эффективности ОКР, что обеспечивается при более глубоком инженерном анализе и проверке результатов проектных работ, т.е. до изготовления опытного образца. Традиционный метод выполнения данной работы заключается в описании объекта в виде множества конструкторских документов в единой системе конструкторской документации (ЕСКД). Сформировать достоверный аналитический интегральный вывод по всему множеству разнородных бумажных документов практически невозможно. Альтернативным вариантом технологии выполнения ОКР по ЕСКД является метод модельно-ориентированного проектирования. Комплексная модель объекта будет полноценным ресурсом для системы управления жизненным циклом, выраженной в виде цифрового двойника объекта и инфраструктуры по его изготовлению и эксплуатации. Рассмотрен вариант создания новой техники с помощью цифрового двойника и отказа от бумажной версии проекта. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.128 **Ключевые слова:** укладка подводных трубопроводов, самоходные баржи-трубоукладчики, полупогружные трубоукладочные установки, суда для укладки гибких трубопроводов, S- и J-образные укладки, стингеры, вертикальные рампы

**Р. Н. Караев. Плавучие трубоукладочные сооружения. Часть 2//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 36**

Отмечается роль подводных трубопроводов на этапе обустройства нефтегазового месторождения. Рассмотрены классификация плавучих трубоукладочных плавсредств и технические требования, предъявляемые к ним. Проанализированы архитектурно-конструктивное оформление и особенности эксплуатации трубоукладочных плавсредств, предназначенных для укладки внутри промысловых и магистральных трубопроводов с использованием жестких (стальных) и гибких (термопластичных) труб. Часть 1 – см. «Морской вестник». 2021. № 1 (77). Ил. 16. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.833:629.5:658.01 **Ключевые слова:** термины и определения, техническое состояние, дефектация, освидетельствование, ГОСТ РВ

**Г. Н. Муру, Ю. И. Витенбергский. Определение технического состояния кораблей, их составных частей и комплектующих изделий. Дефектация или освидет-**

**ельствование: какой термин применять? В порядке обсуждения//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 47**

Рассмотрены термины, их определения или описания ремонта кораблей и судов ВМФ, установленные в стандартах, Правилах Регистра и Гостехнадзора, иных нормативных документах. Показано, что вызывающие споры термины «предремонтная дефектация» и «освидетельствование», предусматривающие предварительное определение необходимого объема работ перед ремонтом корабля или продлением срока его службы, являются идентичными. Т. 2.

УДК 629.05.081 **Ключевые слова:** лазерные технологии, точность, резка, сварка, сборка корпуса

**К. О. Будников, Д. А. Полянская. Применение лазерных технологий в корпусосборочном производстве//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 52**

Рассмотрены процессы сварки, минимизирующие остаточные деформации с целью достижения необходимой точности изготовления и монтажа корпусных конструкций, а также уменьшения объема пригоночных работ. Применение прогрессивных способов и новых технических средств выполнения сварочных работ способствует повышению качества и эффективности корпусостроительного производства. Т. 3. Ил. 2. Библиогр. 11 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** военно-морской флот, военно-морские силы, боевые надводные корабли, многоцелевые корабли, корабельные дизельные двигатели, корабельные газотурбинные двигатели, корабельные энергетические установки

**А. В. Шляхтенко, И. Г. Захаров, В. В. Барановский. Тенденции развития корабельных тепловых двигателей многоцелевых надводных кораблей//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 59**

Проведен анализ достижений ведущих мировых энергомашиностроительных корпораций в области разработки и создания корабельных тепловых двигателей (дизельных и газотурбинных), получивших наибольшее распространение на надводных кораблях ВМС зарубежных стран и ВМФ РФ, а также анализ тенденций их развития и совершенствования. Ил. 15. Библиогр. 12 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** корабельные газотурбинные двигатели, ресурс, топливная экономичность, минимизация расхода топлива, режимы использования газотурбинных двигателей, частичное электродвижение, ресурс

**П. Г. Печковский. Обоснование наиболее предпочтительных вариантов главных энергетических установок многоцелевых надводных кораблей//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 66**

Показана сложность обеспечения высокой топливной эффективности перспективных многоцелевых кораблей при использовании в составе главных энергетических установок лишь газотурбинных двигателей (ГТД). Акцентируется внимание на ускоренное истощение ресурса ГТД. Т. 2. Ил. 12. Библиогр. 5 назв.

УДК 621.311 **Ключевые слова:** судовая единая электроэнергетическая система, система электродвижения, синхронный генератор, преобразователь частоты, автономный инвертор напряжения, гребной электродвигатель, электромагнитная совместимость.

**А.Н. Калмыков, В.И. Кузнецов, А.П. Сеньков, Пась Ханой. Способ повышения качества напряжения в судовой электроэнергетической системе//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 73**

Рассмотрена структура судовой единой электроэнергетической системы (СЕЭС), разработанная специалистами «Сименс». Предложена структура СЕЭС, позволяющая обеспечить более высокое качество напряжения в судовой сети по сравнению со структурой системы «Сименса». Выполнено компьютерное моделирование двух структур в пакете Matlab Simulink R2018b. Ил.6. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.123 **Ключевые слова:** гибридная судовая энергетическая установка, снижение выбросов, повышение энергоэффективности

**С.А. Казанов. Гибридные судовые энергетические установки//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 76**

Проанализировано современное состояние гибридных судовых энергоустановок (ГСЭУ) и их возможное использование для достижения оптимизации энергоэффективности, экономичности и соблюдения экологических норм в соответствии со стратегией, принятой Международной морской организацией (ИМО). Сформулированы обоснованные выводы о возможности использования ГСЭУ при проектировании новых судов и модификации имеющихся. Ил. 2. Библиогр. 11 назв.

УДК 629.5.035 **Ключевые слова:** валопровод, дейдвудный подшипник, износ, зазор, поперечные колебания, экспериментальная установка

**А.А. Халаякин, А.Х. Саламех, В.А. Мамонтов, А.В. Ивановская. Экспериментальное исследование отрыва гребного вала от дейдвудных подшипников на динамическую устойчивость//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 80**

Посвящена экспериментальному исследованию влияния износа дейдвудных подшипников на динамическую устойчивость судового валопровода. Отмечено, что надежность судна в целом зависит от состояния кормового дейдвудного подшипника. Поперечные и крутильные колебания подвергаются контролю Российским морским регистром при ремонте судов. Представлен график собственной частоты от величины зазора. Уменьшение собственной частоты приводит к образованию резонансному состоянию при рабочих частотах валопровода. Изучение поперечных колебаний и совершенствование методов определения собственной частоты позволит прогнозировать долговечность и повысить надежность судового валопровода и судна в целом при эксплуатации. Ил.6. Библиогр. 16 назв.

УДК 621.833 **Ключевые слова:** армированные зубчатые колеса, зубчатые венцы с несимметричным профилем, полигональный профиль армирующих элементов, формообразующие оболочковые матрицы

**В.А. Зинков, В.М. Медунецкий. Повышение качественных характеристик цилиндрических зубчатых передач при мелкосерийном и единичном их производстве//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 83**

Предложены варианты повышения показателей качества зубчатых передач из современных видов пластических масс и конструктивных полимерных материалов. Для повышения нагрузочной способности

цилиндрических эвольвентных передач рекомендовано использование зубчатых венцов с несимметричным профилем зубьев, а также предлагается выполнять их с внутренними армирующими элементами. С целью получения качественной рабочей поверхности зубчатых венцов из композитов и пластмасс в условиях мелкосерийного производства предложено применять формообразующие оболочковые матрицы их реактопластов. Ил. 4. Библиогр. 9 назв.

УДК 536.631 **Ключевые слова:** теплоемкость металлов, теплоемкость сплавов, точка Кюри, температура

**А.З. Багерман. Оценка теплоемкости сплавов на основе железа и никеля в окрестностях «точки Кюри» этих металлов//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 86**

Получены характеристики удельной теплоемкости никеля и железа при их работе в составе сплавов в зависимости от температуры с учетом эффекта «точки Кюри», а также общая характеристика удельной теплоемкости жаропрочных сплавов в зависимости от безразмерного параметра при температурах 100–900 °С. Ил. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 627.71 **Ключевые слова:** АО «МНС», совместное норвежско-русское предприятие, научные изыскания, разработчик, производитель, морское приборостроение, навигационные, гидрографические, гидрометеорологические системы, морская техника, прорывные технологии, выставки, судостроительная отрасль

**К.А. Смирнов, В.С. Кожевников. Делаем недоступное возможным//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 88**

АО «МНС» 3 июня 2021 г. исполняется 30 лет. Рассмотрены история становления и развития компании, основные направления деятельности, обзор выпускаемой продукции, достижения. Ил. 6.

УДК 681.518.5 **Ключевые слова:** организационная эффективность, сложная техническая система, система показателей, нечеткий классификатор, алгоритм нечеткого вывода

**К.С. Смирнов, А.В. Викторов. Организационная эффективность интеллектуальной системы для контроля сложных технических систем//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 91**

Рассмотрены вопросы оценки организационной эффективности функционирования интеллектуальной системы поддержки принятия решений для контроля сложных технических систем. В качестве показателя организационной эффективности предложено использовать степень достижения организационной цели, которая определяется путем сопоставления полученного результата (организационного эффекта интеллектуальной системы) и цели (повышение качества управленческих решений). Полученные теоретические результаты могут быть использованы при разработке и внедрении информационных систем для оценки предварительного, потенциального, планового и фактического эффекта и организационной эффективности. Т.6. Ил. 3. Библиогр. 11 назв.

УДК 338.28 **Ключевые слова:** автономное судовождение, автономные суда, полная функциональная эквивалентность, системная архитектура, БЭС-КФ, а-Навигация

**А.С. Пинский. Автономное судовождение//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 101**

Представлены детали реализуемого в России подхода к внедрению автономного судовождения в прак-

тику судоходных компаний. Рассмотрены вопросы правового регулирования. На примере пилотного проекта БЭС-КФ представлена системная архитектура средств автономного судовождения и промежуточные итоги испытаний автономных судов в условиях реальной коммерческой эксплуатации. Ил.2. Библиогр. 6 назв.

УДК 004.056.53 **Ключевые слова:** информационная безопасность, конфиденциальная информация, объект информатизации, промышленные предприятия

**В.Г. Ерышов, Р.Д. Куликов. Применение математического аппарата теории марковских случайных процессов для оценки процесса негласного добывания конфиденциальной информации нарушителем информационной безопасности//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 109**

Приведено описание разработанной модели, позволяющей получить вероятностные и временные зависимости и характеристики, описывающие все состояния исследованного процесса негласного добывания конфиденциальной информации, а также определить возможности нарушителя по добыванию конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемом объекте информатизации. Разработка модели велась в рамках мероприятий по повышению эффективности комплексной системы защиты информации в АО «Армалит». Т. 2. Ил.2. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.12:532.5.041 (075.8) **Ключевые слова:** судно, обледенение, опрокидывание, диаграмма остойчивости, крен

**А.А. Уляшев, П.А. Шауб. И снова сигнал SOS//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 111**

Рассмотрен трагический случай гибели судна «Онега» в декабре 2020 г. Проанализированы возможные причины, приведшие к его опрокидыванию и даны рекомендации судоводителям. Ил. 5. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** Международное и Российское НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, история создания, развитие, задачи, секции

**В.С. Никитин. К 155-летию Российского научно-технического общества имени академика А.Н. Крылова//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 114**

Подробно рассказано об образовании Научно-технического общества, которому в этом году исполнилось 155 лет (ведет свой отсчет от 27 мая 1866 г.), ученых, принимавших участие в его становлении и развитии: А.Н. Крылова, Ю.А. Шиманского, В.Л. Поздюнина, П.Ф. Папковича. Особое внимание уделено задачам, стоявшим перед ним в разные периоды, усилиям ученых, которые нацелены на развитие кораблестроительной науки и создание современного гражданского и военного флота России. Показана работа 30 секций, действующих сегодня в НТО, объединяющих ученых и представителей промышленности страны. Т. 1. Ил. 3.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** ВМФ, крейсер «Киров», итальянская техническая помощь, крейсер «Раймондо Монтекуколи», фирма «Ансальдо», фирма «Одеро Терни Орландо»

**В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, Б.А. Барбанель, Д.А. Косаренко. Итальянская техническая помощь при строительстве крейсера «Киров»//Морской вестник. 2021. № 2 (78). С. 120**

Показано, как руководство страны использовало итальянскую техническую помощь при строительстве легкого крейсера «Киров» для ВМФ СССР после восстановления судостроительной отрасли в середине 1930-х гг. Ил. 6.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

**ABSTRACTS**

UDC 629.56 **Keywords:** torpedo retriever, design, architecture, equipment composition, analysis of characteristics

**D.V. Zhmurin, K.V. Zhmurin, S.V. Moskovkina. TL-2195 torpedo retriever – replenishment as part of ships for providing combat training of the Navy//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.8**

A brief description of the architecture and composition of the main equipment of the new project 1388nzt TL-2195 torpedo retriever, is given, a brief comparative analysis of its tactical and technical characteristics and characteristics of boats of similar purpose of domestic construction is carried out. T.1. Fig.14. Bibliography 8 titles.

UDC 629.576.532 **Keywords:** hovercraft, amphibious properties, overcoming obstacles

**V.K. D'yachenko, I.A. Zakhryapin, D.E. Tsyml'yakov. The problem of overcoming obstacles of the «narrow vertical wall» type by an amphibious hovercraft//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.12**

An analytical problem of overcoming an obstacle of the «narrow vertical wall» type by an amphibious hovercraft while moving above a solid screen is considered. T.1. Fig.2. Bibliography 4 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** nuclear icebreaker fleet, Northern Sea Route, Arctic region of Russia, development prospects

**M.A. Alexandrov, Yu.L. Borduchenko. Prospects of the nuclear icebreaker fleet for the development of the Northern Sea Route//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.17**

Arctic zone in the XXI century becomes the most important guarantor of sustainable development of the Russian Federation. The contribution of the North to the Russian economy will largely be determined by the scale and pace of development of the Arctic transport system. It is necessary to expand commercial and research shipping, to develop transport hubs and corridors, polar aviation, and cargo-passenger polar sea transportation. All this cannot be achieved without the development of a unique nuclear-powered icebreaker fleet. A brief overview of the current state is presented and possible prospects for the development of the Russian nuclear icebreaker fleet are shown. It shows its decisive role in ensuring navigation along the routes of the Northern Sea Route for the development of the economy of the Arctic region of Russia. T.4. Fig.4. Bibliography 15 titles.

UDC 629.5.01 **Keywords:** river cruise passenger ship, passenger capacity, design, analysis, innovation

**A.G. Egorov. Chinese river cruise ships: research of ships' characteristics//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.25**

Study of Chinese river cruise passenger ships has been carried out, features of this fleet were highlighted and summarized passenger capacity was defined. T.8. Fig.21. Bibliography 16 titles.

UDC 65.011.56 **Keywords:** digital twin, model-oriented design, technical assignment, development work, unified system of design documentation, technology, system, life cycle

**E.V. Sa'nikov, Yu.S. Samychko. Digital twin: theory and application prospects//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.33**

Reduction and elimination of technical risks when creating new equipment occurs at the stage of experimental design work (R&D) to create a prototype of equipment. The integral result of OCD appears during the testing phase, and often the result is not completely positive. There is a need to increase the efficiency of R&D, which is ensured with a deeper engineering analysis and verification of the results of design work, that is, before the manufacture of a prototype. The complex model of the object will be a full-fledged resource for the life cycle management system, expressed in the form of a digital twin of the object and the infrastructure for its manufacture and operation. The option of creating a new technique using a digital twin and abandoning the paper version of the project is being considered. Bibliography 4 titles.

UDC 629.128 **Keywords:** laying of underwater pipelines, non-self-propelled pipe-laying barges, semi-submersible pipe-laying plants, vessels for laying flexible pipelines, S- and J-shaped laying, stingers, vertical ramps

**R.N. Karaev. Floating pipe-laying structures. Part 2 //Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.36**

The role of underwater pipelines at the stage of development of an oil and gas field is noted. The classification of floating pipe-laying vessels and technical requirements for them are considered. The article analyzes the architectural and structural design and features of the operation of pipe-laying vessels intended for laying inside the field and main pipelines using rigid (steel) and flexible (thermoplastic) pipes. Fig.16. Bibliography 3 titles.

UDC 621.833: 629.5: 658.01 **Keywords:** terms and definitions, technical condition, fault detection, inspection, GOST RV

**G.N. Muru, Yu.I. Vitenberg. Determination of the technical condition of ships, their components and components. Which term to use: fault detection or survey? By way of discussion//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.47**

The terms, their definitions or descriptions of the repair of ships and vessels of the Navy, established in the standards, the Rules of the Register and Gostekhnadzor, and other regulatory documents are considered. It is shown that the controversial terms «pre-repair fault detection» and «survey», which provide for a preliminary determination of the required scope of work before repairing a ship or extending its service life, are identical. T.2.

UDC 629.05.081 **Keywords:** laser technologies, precision, cutting, welding, body assembly

**K.O. Budnikov, D.A. Polyanskaya. Application of laser technologies in hull-assembly production//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.52**

Welding processes are considered that minimize residual deformations in order to achieve the required accuracy in the manufacture and installation of hull structures, as well as to reduce the amount of fitting work. The use of progressive methods and new technical means of performing welding works contributes to an increase in the quality and efficiency of hull-building production. T.3. Fig.2. Bibliography 11 titles.

UDC 621.436: 621.438 **Keywords:** navy, naval forces, surface warships, multipurpose ships, ship diesel engines, ship gas turbine engines, ship power plants

**A.V. Shlyakhtenko, I.G. Zakharov, V.V. Baranovsky. Trends in the development of ship heat engines for multipurpose surface ships//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.59**

The analysis of the achievements of the world's leading power engineering corporations in the development and creation of ship heat engines (diesel and gas turbine), which are most widely used on surface ships of the Navy of foreign countries and the Russian Navy, as well as an analysis of trends in their development and improvement. Fig.15. Bibliography 12 titles.

UDC 621.436: 621.438 **Keywords:** ship gas turbine engines, resource, fuel efficiency, minimization of fuel consumption, modes of use of gas turbine engines, partial electric propulsion, resource

**P.G. Pechkovsky. Substantiation of the most preferable options for the main power plants of multipurpose surface ships//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.66**

The complexity of ensuring high fuel efficiency of promising multipurpose ships when using only gas turbine engines (GTE) as part of the main power plants is considered. Attention is focused on the accelerated depletion of the GTE resource. T.2. Fig.12. Bibliography 5 titles.

UDC 621.311 **Keywords:** ship's unified electric power system, electric propulsion system,

synchronous generator, frequency converter, autonomous voltage inverter, propeller motor, electromagnetic compatibility.

**A.N. Kalmykov, V.I. Kuznetsov, A.P. Sen'kov, Pan Hanyu. Method of improving the quality of voltage in the ship's electric power system//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.73**

The article examines the structure of the ship's unified electric power system, developed by Siemens specialists. The structure of the ship's unified electric power system is proposed, which makes it possible to ensure a higher quality of voltage in the ship's network, in comparison with the structure of Siemens. Computer simulation of two structures was performed in the Matlab Simulink R2018b package. Fig.6. Bibliography 6 titles.

UDC 629.123 **Keywords:** hybrid, marine, power plant, emission reduction, energy efficiency increase

**S.A. Kazanov. Hybrid ship power plants // Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.76**

The purpose of the article is to analyze the current state of the SSEU and their possible use to achieve the goals of optimizing energy efficiency, economy and compliance with environmental standards, in accordance with the strategy adopted by the International Maritime Organization (IMO). Reasonable conclusions about the possibility of using the GSEU in the design of new ships and modification of existing ones are formulated. Fig.2. Bibliography 11 titles.

UDC 629.5.035 **Keywords:** shaft line, stern tube bearing, wear, clearance, lateral vibrations, experimental setup

**A.A. Khalyavkin, A.Kh. Salamekh, V.A. Mamontov, A.V. Ivanovskaya. Experimental study of the separation of the propeller shaft from stern tube bearings for dynamic stability//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.80**

The article is devoted to an experimental study of the influence of stern tube bearings wear on the dynamic stability of a ship shafting. It is noted that the reliability of the vessel as a whole depends on the condition of the stern tube bearing. Lateral and torsional vibrations are monitored by the Russian Maritime Register during ship repairs. A graph of the natural frequency versus the gap value is presented. A decrease in the natural frequency leads to the formation of a resonant state at the operating frequencies of the shafting. The study of lateral vibrations and the improvement of methods for determining the natural frequency will make it possible to predict the durability and increase the reliability of the ship shafting and the ship as a whole during operation. Fig.6. Bibliography 16 titles.

UDC 621.833 **Keywords:** reinforced gear wheels, gear rims with an asymmetric profile, polygonal profile of reinforcing elements, shaping shell matrices

**V.A. Zinkov, V.M. Medunetsky. Improving the quality characteristics of cylindrical gears in small-batch and single production//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.83**

Variants of improving the quality indicators of gears made of modern types of plastics and structural polymer materials are proposed. To increase the load capacity of cylindrical involute gears, it is recommended to use gear rims with an asymmetric tooth profile, and it is

also proposed to perform them with internal reinforcing elements. In order to obtain a high-quality working surface of gear rims made of composites and plastics under conditions of small-scale production, it is proposed to use the form-forming shell matrices of their thermosetting plastics. Fig.4. Bibliography 9 titles.

UDC 536.631 **Keywords:** heat capacity of metals, heat capacity of alloys, «Curie point», temperature

**A.Z. Bagerman. Estimation of heat capacity of alloys based on iron and nickel in the vicinity of the «Curie point» of these metals//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.86**

The characteristics of the specific heat capacity of nickel and iron during their operation in the composition of alloys are obtained depending on the temperature, taking into account the effect of the «Curie point». A general characteristic of the specific heat of heat-resistant alloys is obtained as a function of the dimensionless parameter at temperatures of 100° – 900 °C. Fig.5. Bibliography 7 titles.

UDC 627.71 **Keywords:** MNS JSC, a joint Soviet-Norwegian venture, scientific research, developer, manufacturer, marine instrumentation, navigation, hydrographic, hydrometeorological systems, marine technology, breakthrough technologies, exhibitions, shipbuilding industry

**K.A. Smirnov, V.S. Kozhevnikov. Making the inaccessible possible//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.88**

MNSJSC celebrates its 30<sup>th</sup> anniversary on June 3, 2021. The history of the formation and development of the company, the main areas of activity, an overview of the products, achievements and awards are considered. Fig. 6.

UDC 681.518.5 **Keywords:** organizationalefficiency, complex technical system, indicator system, fuzzy classifier, fuzzy inference algorithm

**V.A. Smirnov, A.V. Viktorov. Organizational efficiency of an intelligent system for the control of complex technical systems//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.91**

The article deals with the issues of assessing the organizational effectiveness of the functioning of an intelligent decision support system for controlling complex technical systems. As an indicator of organizational effectiveness, it is proposed to use the degree of achievement of the organizational goal, which is determined by comparing the result (the organizational effect of the intellectual system) and the goal (improving the quality of management decisions). The obtained theoretical results can be used in the development and implementation of information systems to assess the preliminary, potential, planned and actual effect and organizational effectiveness. T.6. Fig. 3. Bibliography 11 titles.

UDC 338.28 **Keywords:** autonomous navigation, autonomous ships, full functional equivalence, system architecture, BES-KF, a-Navigation

**A.S. Pinsky. Autonomous navigation // Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.101**

The details of the approach implemented in Russia to the implementation of autonomous navigation in the practice of shipping companies are presented. The issues of legal regulation are considered. On the

example of the BES-KF pilot project, the system architecture of autonomous navigation facilities and the intermediate results of tests of autonomous ships in real commercial operation are presented. Fig.2. Bibliography 6 titles.

UDC 004.056.53 **Keywords:** information security, confidential information, object of informatization, industrial enterprises

**V.G. Eryshov R.D. Kulikov. Application of the mathematical apparatus of the theory of Markov random processes to assess the process of secretly obtaining confidential information by an information security violator//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.109**

A description of the developed model is given, which makes it possible to obtain probabilistic and temporal dependencies and characteristics that describe all states of the investigated process of secretly obtaining confidential information, as well as to determine the capabilities of the intruder to obtain confidential information processed at the protected object of informatization. The development of the model was carried out within the framework of measures to improve the efficiency of the integrated information security system at Armatil JSC.T.2. Fig.2. Bibliography 3 titles.

UDC 629.12: 532.5.041 (075.8) **Keywords:** vessel, icing, capsizing, stability diagram, roll

**A.A. Ulyashev, P.A. Schaub. And again the SOS signal//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P. 111**

The tragic case of the sinking of the vessel «Onega» in December 2020 is considered. Possible reasons that led to its capsizing are analyzed and recommendations are given to skippers. Fig.5. Bibliography 3 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** International and Russian NTO of shipbuilders them. acad. A.N. Krylov, the history of development, tasks, sections

**V.S. Nikitin. To the 155th anniversary of the Russian Scientific and Technical Society named after Academician A.N. Krylov//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.114**

Described in detail about the education of Scientific technical society, which this year was executed it was 155 years old (dates back to May 27, 1866), scientists who took part in its formation and development: A. N. Krylov, Yu. A. Shimansky, V. L. Pozdyunin, P. F. Papkovich. Particular attention is paid to tasks that faced him in different periods, efforts of scientists who are aimed at the development of shipbuilding science and the creation of modern civil and military fleet of Russia. Shown is bot 30 sections operating today in NTO, united scholars and industry representatives countries. Fig.3.

UDC 629.5 **Keywords:** naval shipbuilding, Italian technical assistance, cruiser «Kirov», cruiser «Raimondo Montecuccoli», firm «Ansaldo», firm «Odero Terzi Orlando»

**V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, B.A. Barbanel, D.A. Kosarenko. Italian technical assistance in the construction of the cruiser «Kirov»//Morskoy Vestnik. 2021. № 2 (78). P.120**

In the mid-1930s, after the restoration of the shipbuilding industry, the Soviet government decided to build new cruisers for the Soviet Navy, the first of which was the cruiser «Kirov» The article shows how the country's leadership used Italian technical assistance in its construction. Fig.6.