

Морской



№4(76)
декабрь
2020
ISSN 1812-3694

Вестник

Morskoy Vestnik

Доверяй опыту!



www.granit-electron.ru



О РЕЗУЛЬТАТАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕДИНЕННОЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ КОРПОРАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО СУДОСТРОЕНИЯ

А.Л. Рахманов, генеральный директор
АО «Объединенная судостроительная корпорация»

В будущем году исполняется 300 лет Российской империи, появление которой стало возможно только после выхода страны к морю. Более того, в следующем году есть и другой юбилей – 325 лет исполняется России как морской державе. Хотя, безусловно, само государственное кораблестроение началось раньше – с создания фрегата «Орел». Петр Великий, продолжив дело отца, выстроил промышленный комплекс страны под нужды флота и по сути сделал «госзаказ» на военные корабли постоянным. С тех пор флот стоит на защите своих национальных интересов.

300 лет назад, как и сегодня, у нас были «трения» с нашими европейскими партнерами, в результате чего те многое потеряли, а мы кое-что приобрели. Сейчас нельзя не замечать, как моря и океаны вновь становятся ареной не только борьбы за мировую торговлю, но и военного противостояния. Это заставляет нас крайне ответственно подходить к собственной работе по воссозданию мощи военно-морского флота. Боевая техника производства ОСК продолжает оставаться одной из самых грозных в мире, что подтвердила в том числе и сирийская кампания.

В 2016 г. Президентом России была поставлена задача увеличить долю гражданской продукции на предприятиях ОПК. И к 2030 г. мы должны выйти на паритет выручки от госзаказа и «гражданки».

Мы уверенно наращиваем долю выручки от коммерческих заказов с 2016 г. примерно на 30% в год.

Только по итогам 2019 г. было заключено контрактов на строительство на сумму порядка 137 млрд. руб. При этом доля гражданской продукции в общей выручке предприятий корпорации превысит 17%.

Как известно, войны традиционно ведутся за контроль над территорией и ресурсами. И та «холодная» (во всех смыслах) война, которая развернулась между северными державами за Арктику – не исключение. Арктика – перспективный источник пресной воды, биоресурсов, уникальная исследовательская площадка и, конечно, транспортный коридор. США анонсировали программу по модернизации ледокольного флота, свои программы в регионе имеют Дания, Норвегия, Канада.

В этой ситуации мы тоже не можем отставать. Северный морской путь (СМП) становится не только перспективной транспортной артерией, но и залогом национальной безопасности. Эта территория имеет огромный уже освоенный и потенциальный запас ресурсов на прибрежных территориях и шельфе. Согласно базовому сценарию, по данным ГК «Росатом», грузооборот по СМП возрастет к 2035 г. более чем в 4 раза. Вклад минерально-сырьевого и транспортного сектора СМП в ВВП России вырастет в 2024 г. почти в 2 раза, а к 2035 г. – в 3 раза.

Те внешние ограничения, которые были приняты против России в 2014 г., имели в том числе целью сдержать развитие СМП и Арктического региона как такого.

Однако мы не останавливаемся. Россия – ледокольная держава. Более того, главная ледокольная держава. Поэтому среди основных задач, которые ОСК решает в рамках развития СМП, – конечно, создание ледоколов и судов усиленного ледового класса. Передан заказчику первый ледокол-гигант ЛК-60 «Арктика» – самый мощный в мире. Еще четыре атомохода строятся на Балтийском заводе («Якутия» была заложена в мае ны-

нешнего года). Мы крайне признательны Госкорпорации «Росатом» и Сергею Владиленовичу Кириенко за то, что поверили в проект 22220.

30 октября состоялось подписание актов передачи заказчику самого мощного в мире дизель-электрического ледокола «Виктор Черномырдин».

Отмечу также, что именно верфя ми ОСК в 2017 г. был сдан финскому заказчику ледокол «Polaris» – первый двухтопливный ледокол в мире, способный работать на СПГ. Это подтвердило статус корпорации не только как лидера российского, но и глобального ледоколостроения.

При этом сложным остается вопрос ценообразования головных судов в гражданском судостроении. Мы идем в проект, иногда не понимая до конца, как будет выглядеть судно, достраиваем и совершенствуем вместе с заказчиком по ходу дела. В начале все, что у нас есть, – это далекий от совершенства технический проект, да еще под заданную себестоимость.

Но мы делаем акцент не только на создании атомных ледоколов-гигантов, но и другой высокотехнологичной техники для освоения Арктического региона. «Адмиралтейские верфи» ведут строительство ледостойкой самодвижущейся платформы «Северный полюс». Она должна стать плавающей обсерваторией для российских исследований и мониторинга природной среды. Строительство «Северного

Продолжение см. на с. 6



Срок сдачи
Развитие арктического региона

Морской Вестник



№ 4 (76)
декабрь
2020

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный 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 «Кронштадт Технологии»

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

- А. Л. Рахманов.** О результатах деятельности и перспективах развития российского судостроения 1
- И. В. Щербаков, С. М. Тимофеев, С. В. Мазохин, А. М. Тимофеев.** Обновление портового ледокольного флота 9
- Г. В. Егоров, А. Г. Егоров.** Отечественные сухогрузные суда ограниченных районов плавания. Анализ существующего, нового и перспективного флота 13
- И. В. Щербаков, П. Г. Тенишев, А. И. Гайкович.** Возвращение «Рюрика». Обоснование облика проекта перспективного круизного парома для Балтийского моря. Часть 1 22
- Д. В. Жмури, А. В. Соколов, С. В. Московкина.** Средний морской танкер «Академик Пашин». Особенности конструкции и проведения испытаний 27
- К. Д. Овчинников, Ю. П. Потехин, В. А. Рыжов.** Экспериментальное исследование характеристик модели волнового глайдера 33
- Ш. Г. Алиев, В. А. Павловский.** Тензорный взгляд на задачи гидродинамики. Часть 1 36

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- И. Л. Вайсман, А. Е. Карлик, Е. А. Ткаченко.** О необходимости системного решения проблем закрединности предприятий ОПК для обеспечения финансовой устойчивости и ускорения их развития и диверсификации 43
- Д. А. Полянская.** Спуск на воду траулера проекта СТ-192 с помощью кормового крыла 45
- К. Л. Новиков.** Защита корпуса судов и кораблей иностранной постройки 51

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

- В. А. Колесник, Д. В. Быков, В. И. Ануфриев.** Методы расчета и средства борьбы с гидроударом в корабельных гидравлических системах 52
- В. В. Замуков, М. И. Романова, Д. В. Сидоренков, В. А. Михайлов.** Пути оптимизации структур систем управления ядерной энергетической установкой и ее место в составе комплексной системы управления техническими средствами корабля 57
- Е. А. Густякова, В. В. Фогель.** Использование квазирезонансных преобразователей для улучшения качества систем компенсации корабельных магнитных полей 61
- Л. Г. Кузнецов, А. В. Бураков, А. С. Перминов, С. Н. Серебренников, А. В. Тикалов, О. К. Котов.** Новое поколение отечественных азотных компрессорных станций для кораблей ВМФ и ледокольного флота 67
- Е. А. Рылов, В. В. Николаев, О. Д. Руптанова, А. В. Сорокин, Р. В. Николаев.** Исследование и построение системы бесперебойного питания для нужд военно-морского флота 71
- Д. В. Умяров, В. В. Волков.** К вопросу об оборудовании траулера СТ-192 электростанцией с переменной частотой 75



М. В. Горячев. Сравнение различных вариантов защитных кожухов обмоток размагничивающего устройства с использованием коэффициента детерминации 77

А. В. Балакин, А. Н. Дядик, А. С. Кармазин, М. В. Ларионов, С. Н. Сурин. Разработка принципиальных схем очистки водорода от углекислого газа 81

Е. Н. Ефремов, Д. С. Сверчков, А. А. Гадалин. Система управления вращателем погружного бурового комплекса 85

М. В. Гомзяков. Отказы главных двигателей и механизмов на дальневосточных судах в 2015 г. 90

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

А. Г. Юрескул, Ю. А. Ямщиков, Ю. В. Романова, А. Н. Попадьян, А. В. Анисимов. Испытания автоматизированных систем судовождения на динамическом моделирующем комплексе 93

А. Н. Борисов, Ю. Л. Сиек. Управление движением автономного необитаемого подводного аппарата на основе прогнозирующей модели 98

Е. А. Рылов, В. В. Николаев, О. Д. Руптанова, А. В. Сорокин, Р. В. Николаев. Многофункциональные абонентские терминалы – перспективные средства связи надводных кораблей 102

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

К. А. Смирнов, А. Д. Измайлов, Р. А. Андреюк, Д. С. Бабкин. Мобильный пост управления подводно-техническими работами 107

В. В. Ефимов. О применимости рекомендаций Международной морской организации по оценке риска систем для морских автономных надводных судов 110

С. В. Козик, В. А. Сибилев, Г. О. Алцыбеев. Концепция навигационного прибора «электронный секстант» 116

В. Н. Илюхин. Актуальные нормативно-правовые и организационно-технические аспекты подъема затонувших объектов. Часть 2 119

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

Б. А. Барбанель. Итоги VI всероссийского отраслевого конкурса Российского НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова «Молодой кораблестроитель – инженер года 2020» 122

Памяти Л. А. Проmysлова. 23.09.1938 – 02.10.2020 123

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

Г. А. Гребенищикова. Памяти погибших моряков: церковь Святого Георгия в турецкой Чесме. К 250-летию сражения. Часть 1 125

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. Подоплёткин, 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 36093) может быть оформлена по каталогу

Агентства «Роспечать» или непосредственно

в редакции журнала через издательство «Мор Вест»

Отпечатано в типографии «Премиум-пресс»

Тираж 500 экз. Заказ № 1609

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

№4(76)

December

2020

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 SPMD 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 Kronstadt Technologies

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 Vypel

K.Yu. Shilov, General Director
JSC Concern SPA Aurora

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB

K.A. Smirnov, General Directors 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. Ulyanov, General Director
LLC Neva International

N.M. Vikhrov, General Director
JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director
JSC Purnor-north-west

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

- A. L. Rakhmanov**. On the results of activities and prospects for the development of Russian shipbuilding..... 1
- I. V. Shcherbakov, S. M. Timofeev, S. V. Mazokhin, A. M. Timofeev**. Renovation of the port icebreaker fleet 9
- G. V. Egorov, A. G. Egorov**. Native restricted sailing areas dry-cargo vessels – analysis of existing, new and perspective fleet..... 13
- I. V. Shcherbakov, P. G. Tenishev, A. I. Gaikovich**. Return of «Rurik». Justification of the appearance of the project of a promising cruise ferry for the Baltic Sea. Part 1..... 22
- D. V. Zhmurin, A. V. Sokolov, S. V. Moskovkina**. «Akademik Pashin» medium-size fleet tanker. Design features and testing..... 27
- K. D. Ovchinnikov, Yu. P. Potekhin, V. A. Ryzhov**. Experimental study of wave glider model characteristics..... 33
- Sh. G. Aliev, V. A. Pavlovsky**. A tensor view of the problems of hydrodynamics. Part 1... 36

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING

- I. L. Vaisman, A. E. Karlik, E. A. Tkachenko**. On the need for a systematic solution to the problems of debt burden of defense industry enterprises to ensure financial stability and accelerate their development and diversification 43
- D. A. Polyanskaya**. Launching a trawler of ST-192 project using a stern wing 45
- K. L. Novikov**. Protection of the hull of ships and ships of foreign construction..... 51

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- V. A. Kolesnik, D. V. Bykov, V. I. Anufriev**. Calculation methods and means of combating water hammer in ship hydraulic systems..... 52
- V. V. Zamukov, M. I. Romanova, D. V. Sidorenkov, V. A. Mikhailov**. Ways of optimizing the structures of control systems for a nuclear power plant and its place in the integrated control system for the technical means of a ship 57
- E. A. Gustyakova, V. V. Fogel'**. The use of quasi-resonant transducers to improve the quality of compensation systems for ship magnetic fields 61
- L. G. Kuznetsov, A. V. Burakov, A. S. Perminov, S. N. Serebrennikov, A. V. Tikalov, O. K. Kotov**. A new generation of domestic nitrogen compressor stations for Navy ships and icebreaking fleet..... 67
- E. A. Rylov, V. V. Nikolaev, O. D. Ruptanova, A. V. Sorokin, R. V. Nikolaev**. Research and construction of an uninterrupted power supply system for the needs of the Navy 71
- D. V. Umyarov, V. V. Volkov**. On the issue of equipping the ST-192 trawler with a power plant with variable frequency 75
- M. V. Goryachev**. Comparison of various options for protective casings of windings of a demagnetizer using the coefficient of determination 77



A. V. Balakin, A. N. Dyadik, A. S. Karmazin, M. V. Larionov, S. N. Surin.	
<i>Development of basic schemes for purifying hydrogen from carbon dioxide</i>	<i>81</i>
E. N. Efremov, D. S. Sverchkov, A. A. Gadalin.	
<i>Control system for a submersible drilling complex's rotator</i>	<i>85</i>
M. V. Gomzyakov.	
<i>Failures of main engines and mechanisms on Far Eastern ships in 2015</i>	<i>90</i>

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

A. G. Yureskul, Yu. A. Yamshchikov, Yu. V. Romanova, A. N. Popad'in, A. V. Anisimov.	
<i>Testing of automated navigation systems on a dynamic simulation complex</i>	<i>93</i>
A. N. Borisov, Yu. L. Siek.	
<i>Motion control of an autonomous unmanned underwater vehicle based on a predictive model</i>	<i>98</i>
E. A. Rylov, V. V. Nikolaev, O. D. Ruptanova, A. V. Sorokin, R. V. Nikolaev.	
<i>Multifunctional subscriber terminals – promising means of communication for surface ships</i>	<i>102</i>

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

K. A. Smirnov, A. D. Izmailov, R. A. Andreyuk, D. S. Babkin.	
<i>Mobile control post for underwater technical works</i>	<i>107</i>
V. V. Efimov.	
<i>On the applicability of the recommendations of the International Maritime Organization to the risk assessment of systems for autonomous sea surface vessels</i>	<i>110</i>
S. V. Kozik, V. A. Sibilev, G. O. Altsybeev.	
<i>The concept of the electronic sextant navigation device</i>	<i>116</i>
V. N. Ilyukhin.	
<i>Relevant regulatory, organizational and technical aspects of the lifting of sunken objects. Part 2</i>	<i>119</i>

IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

B. A. Barbanel.	
<i>Results of the VI All-Russian sectoral competition of the Scientific and Technical Society of Shipbuilders of the Russian Federation named after academician A. N. Krylov «Young shipbuilder – engineer of the year 2020».</i>	<i>122</i>
<i>In memory of a L. A. Promyslov. 23.09.1938–02.10.2020</i>	<i>123</i>

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

G. A. Grebenshchikova.	
<i>In memory of the lost sailors: the Church of St. George in Turkish Chesme. To the 250th anniversary of the battle. Part 1</i>	<i>125</i>

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. Ilukhin, D. Sc., Prof.

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

D. V. Kazunin, D. Sc.

R. N. Karaev, 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 the catalogue of «Rospechat» agency (subscription index 36093) or directly at the editor's office via the Morvest Publishing House

Printed in the Printing-House «Premium-press»

Circulation 500. Order № 1609

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

полюса» направлено на укрепление российского присутствия в Арктике и позиций России как мирового лидера полярной науки.

Консорциум предприятий ОСК начал работать над созданием добычной ледостойкой платформы для проекта Газпрома «Каменномыское-море».

Балтийским заводом создан первый в истории мобильный транспортно-энергетический блок ПЭБ «Академик Ломоносов», который теперь работает в Певеке в составе ПАТЭС. Электростанция сможет вырабатывать не только электроэнергию, но и тепло, а в перспективе будет использоваться для опреснения воды. Мы воспринимаем этот проект как пилотный и внимательно изучаем запросы и на внутреннем, и на внешнем рынках. Нет сомнений, что мы находимся только в самом начале эры мобильных электростанций, и наш опыт при их создании может стать важным конкурентным преимуществом.

ОСК взялось и за обновление рыбопромыслового флота. В 2016 г. на Калининградском судостроительном заводе «Янтаре» состоялась закладка головного траулера-сейнера проекта SK-3101R, так начал реализовываться первый за 20 лет в России контракт на строительство подобных судов. Сегодня и Выборский судостроительный завод, «Адмиралтейские верфи» и «Северная верфь» ведут строительство более 40 судов: это и траулеры, и ярусоловы.

На протяжении многих десятилетий российские верфи не строили судов этого типа. Сейчас рыбопромысловое направление по сути воссоздается заново. Конечно, на этом пути есть ряд проблем. Одна из них – локализация проектов, в том числе локализация комплектующих. Заказчики все еще зачастую отдают предпочтение иностранным проектантам, работы которых у нас нужно обстоятельно «приземлять», в первую очередь, находить отечественных производителей необходимого судового оборудования. На Кронштадтском заводе запущена линия по выпуску судового рыбоперерабатывающего оборудования по проектной документации норвежской компании Бьердал (PE Bjordal AS).

Развитие водного туризма и строительство судов, отвечающих современным туристическим запросам, – это еще одна государственная задача. Как и в случае с рыболовными судами, необходимо по сути воссоздавать заново строительство круизных лайнеров, последний из которых на территории СССР создавался в начале 60-х гг. прошлого века (последней серией стали суда типа «Киргизстан» постройки завода им. Жданова).

Мы заново осваиваем этот «велосипед», поскольку и заказы на круизные суда получали верфи ГДР, Польши, Чехословакии и даже Югославии и в связи с послевоенной практикой поддержки судостроительной промышленности братских соцстран. Таким образом, реализованный нами проект круизного лайнера RV300 стал первым, построенным российскими корабелями за 60 лет. Судно «Мустай Карим» уже у заказчика, второй лайнер – «Петр Великий» – планируем сдать в мае будущего года. Он потенциально сможет ходить до Турции, Греции и Италии. И в случае интереса к подобным судам для развития морского туризма мы готовы доработать проект этого судна под более суровые морские условия эксплуатации.

Наши верфи научились быстро и эффективно строить грузовые суда. Мы создали и собственный проект грузового судна – «Финвал 8000». Его концепция предполагает максимальное использование отечественных материалов и оборудования. Постройка, скорее всего, будет организована на нескольких верфях таким же образом, как и строительство круизных судов.

В прошлом году ОСК также представила проект небольшого гражданского судна «Соталия». Оно имеет серьезный потенциал стать базой для производства широкого спектра моделей (от пассажирского катера до медицинского надводного пункта, с помощью которого появится возможность оказывать помощь вдоль берегов удаленных регионов).

Мы убеждены, что при росте грузопотока через Каспийское море логична организация регулярных паромных и контейнерных линий в направлении основных транспортных коридоров: Оля–Энзели и Махачкала–Энзели. Следовательно, для грузовых перевозок нужны современные контейнеровозы. А для пассажирских и грузопассажирских перевозок требуется быстроходный паром-катамаран. Мы готовы к постройке судов и того и другого типа.

Наш уникальный беспилотник «Витязь» в мае этого года спустился в Марианскую впадину и установил там флаг 75-летия Победы. В отличие от работавших в этом районе японских и амери-

канских комплексов, «Витязь» функционировал как безэкипажный, полностью телеуправляемый автоматический аппарат.

Беспилотные системы приходят в нашу жизнь во многих сферах: автотранспорт, авиация, и судоходство – не исключение. Сегодня с учетом развития Северного морского пути безэкипажное судовождение может получить дополнительный импульс. Уверен, это ключевое направление в развитии судостроения ближайшего будущего.

Мы в ОСК готовы к разработке техники подобного рода. На сегодняшний день проектами робототехнических комплексов занимаются и «Рубин», и «Малахит», а Средне-Невский судостроительный завод провел испытания безэкипажного катера. Технологии автономного судовождения тестируются уже в 11 регионах страны.

Однако пока как российская, так и мировая морская инфраструктура еще не готова к масштабному использованию автономных судов. В частности, отсутствует проработанное законодательство, определяющее использование техники подобного типа.

Беспилотники – это пример инновационных систем. Но тематика инновационного развития корпорации, безусловно, гораздо шире.

Мы стремимся превратить ОСК в «корпорацию знаний». Ведь особенностью наступающей четвертой промышленной революции становится акцент на технологиях получения знаний и их применения через специальные технические системы.

В ближайшие годы важнейшей из тенденций в судостроении станет совершенствование компьютерного (цифрового) инжиниринга. То есть обеспечение всех этапов жизненного цикла морской техники будет осуществляться на основе виртуальных систем моделирования, 3D-проектирования и средств оптимизации.

Основная часть испытаний при создании типовых судов, а в долгосрочной перспективе – практически весь их объем будет проводиться в виртуальном пространстве. Сократится (а постепенно и почти исчезнет) потребность в до-

**Грузовое судно
«Финвал 8000»**



**Гражданское судно
«Соталия»**



**Быстроходный
паром-катамаран**



Перспективные гражданские проекты

рогостоящих испытательных стендах и установках. А заводы и КБ, участвующие в системе 3D-моделирования, получают возможность параллельного использования моделей в режиме реального времени.

Новым видом цифровой технологии станет смешанная реальность (Mixed reality), которая совместит в себе две самые перспективные технологии визуализации в современном мире – виртуальную и дополненную реальность. Ее суть – создание наиболее качественных и реалистичных образов, которые потребитель не смог бы отличить от реальных. Для судостроителей внедрение подобных систем в значительной мере облегчит создание морских объектов с их особой архитектурой и насыщением. Уже сегодня именно технологии виртуальной и дополненной реальности наилучшим образом проявляют себя при работе со сложными архитектурными конструкциями. В первую очередь – с перспективным экологическим дизайном.

Судостроительное производство трансформируется в направлении укрупнения производимых секций и блоков, модульного принципа компоновки корпусов кораблей и судов. Это будет способствовать снижению трудоемкости работ, сокращению сроков постройки, а также повышению точности механомонтажных и сборочно-сварочных работ на всех стадиях производства.

Усложнение конструкций судна – в том числе при их распределенном изготовлении – требует высокой точности реализации модульного (крупноблочного) производства в соответствии с цифровой моделью, это становится возможным благодаря применению технологий цифровой реальности и совершенствованию трехмерных моделей судов.

Аддитивные технологии (суть которых – в послойном соединении материалов при создании объектов из данных 3D-модели) изменяют логику судостроения. Позволяют собирать готовые машины и оборудование прямо на борту судна, поскольку появляется возможность «печатать» даже крупные судовые комплектующие.

В свою очередь 3D-печать влияет на способы и технологии, используемые в судостроении для моделирования и конструирования абсолютно во всех сферах: начиная с кораблей, подводных лодок, авианосцев и заканчивая технологическим оборудованием, которое находится на борту.

Растет доля применения композиционных материалов. Их основными плюсами являются легкость,

долговечность и отсутствие электрохимической коррозии. Кроме того, в композитном судостроении есть возможность выполнять одновременно операции по сборке корпуса и монтажу внутренних судовых элементов. Этим мы пользуемся, например, при создании серии современных кораблей противоминной обороны проекта «Александрит», которые строятся на Средне-Невском судостроительном заводе.

В последние годы отчисления ОСК на НИОКР составляли от 10 до 20% от общей выручки. Сенсорика, Big Data, искусственный интеллект, водородные и ядерные энергетические установки, электродвижение, новые марки стали (например, азотистые), безэкипажные суда, гидродинамика корпуса и винта, «вечные» антикоррозийные покрытия – это наш перспективный заказ к фундаментальной и прикладной науке.

Говоря о строительстве военного и гражданского флота, нельзя забывать и о том, чьими руками и – что немаловажно – головами этот флот создается.

Сегодня в ОСК работают более 100 тысяч человек, это крупнейшая компания отрасли. При этом на одно рабочее место в судостроении приходится до семи рабочих мест в смежных отраслях.

Усилия кадровых служб ОСК направлены на то, чтобы мотивировать молодых людей еще со школьной скамьи заинтересоваться профессией корабеля. Именно поэтому на все предприятия корпорации был распростран образовательный проект «Царь-плотник» для детей и внуков работников наших верфей и КБ.

Мы ежегодно увеличиваем объемы сотрудничества с профильными колледжами и вузами. Причем не только материально или организационно помогаем учебным заведениям, но и создаем на их базе новые научно-технические центры и базовые кафедры. Важнейшее для нас – это сотрудничество с Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом.

Мы ориентируем все наши предприятия и проектные бюро на обязательное тестирование будущих специалистов, чтобы они могли определиться с профессией более точно. И делаем все для пропаганды инженерных специальностей. Не случайно, молодые инженеры ОСК – традиционные победители соревнований профмастерства Worldskills и целого ряда других инженерных конкурсов.

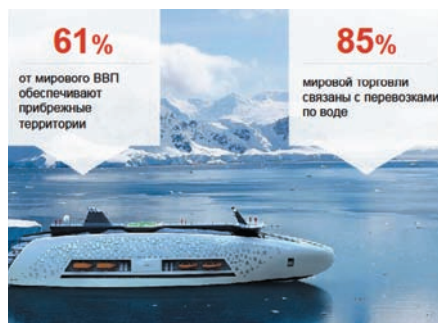
Сейчас мы работаем над создани-

ем единого методического центра, который будет заниматься формированием единых стандартов подготовки по рабочим профессиям, развитием наших критических судостроительных компетенций (сварка, сборка корпусов металлических судов, обработка листового металла и других).

Ну а для подготовки управленческих кадров и кадрового резерва мы формируем Корпоративный университет, который должен привлекать лучшие российские и зарубежные практики в области управления проектами, инжиниринга, маркетинга и продаж, финансов, организации производства и обучать им руководящее звено корпорации.

Ресурсы и экономика Мирового океана чем дальше, тем все сильнее определяют жизнь нашей планеты. Морская торговля сейчас занимает до 85% всей мировой, поэтому и торговые войны связаны с перевозками по воде. Мировой океан в ближайшем будущем останется и основным источником биоресурсов.

По сути, мы возвращаемся в Океанскую эру, где судьба мира решается «державами моря». Несмотря на любые санкции и ограничения – здесь могут появляться точки роста для новых международных операционных проектов и связей.



Океанская эра

Мировой океан покрывает более 70% земной поверхности. Очевидно, что в экономике большинства стран роль океана будет неизменно возрастать. Уже сегодня рыбный промысел и производство аквакультуры обеспечивают работой до 12% населения планеты, а прибрежные территории дают порядка 60% мирового ВВП.

Растет запрос на все более широкий круг объектов, которые могут находиться на воде или передвигаться по воде. Причина – не только в дешевизне перевозок. Люди хотят использовать те глобальные климатические изменения, которые мы уже ощущаем.

Если взглянуть на нашу планету из космоса, то хочется назвать ее не Земля, а Океан, и будущее этого Океана в наших руках. ■

1 сентября 2020 г. ООО ПКБ «Петробалт» совместно с АО «Нордик Инжиниринг» завершили разработку эскизного и технического проекта нового портового ледокола IBP07 мощностью 7 МВт для нужд ФГУП «Росморпорт» (рис. 1).

Новый ледокол будет эксплуатироваться в период навигации по своему назначению в морях Дальневосточного бассейна, а также при необходимости в других морских бассейнах, в том числе арктических. Ледокол предназначен для выполнения следующих операций:

- ледокольное обеспечение зимней навигации;
- выполнение ледокольных операций в портовых и припортовых зонах;
- буксировка судов и других плавучих сооружений в ледовых условиях и на чистой воде;
- оковка причалов и выполнение вспомогательных операций при швартовке судов;
- оказание помощи аварийным судам;
- оказание помощи судам в ледовых условиях;
- участие в поисково-спасательных операциях;
- тушение пожаров на других судах, плавучих и береговых сооружениях;
- перевозка генеральных грузов в 20-футовых контейнерах на кормовой рабочей палубе;
- участие в операциях по ликвидации разливов нефти.

Технические характеристики судна

Главные размерения:

– длина, м	75
– ширина наибольшая, м	20,4
– высота борта на миделе, м	9,2
Осадка, м	6,5
Автономность, сут.	30
Экипаж/спецперсонал, чел.	12/18
Скорость хода, уз.	14
Класс	..РС.КМ Icebreaker6 [2] AUT1-ICS OMBO FF3WS DYNPOS-2 EPP TUG

Одной из основных задач первого этапа проектирования, которую решало бюро, было размещение всех необходимых устройств и запасов судна на автономность 30 суток. Сложность заключалась в том, что в соответствии с техническим заданием длина нового ледокола не должна была превышать 75 м и осадка судна должна удовлетворять заданному району эксплуатации. Результаты анализа существующего ледокольного флота показали, что построенные за последнее время суда (MPSV06, пр. 21180, «Илья Муромец», ARC124) схожего класса, на-

ОБНОВЛЕНИЕ ПОРТОВОГО ЛЕДОКОЛЬНОГО ФЛОТА

И.В. Щербаков, ген. директор,

С.М. Тимофеев, главный инженер, ООО ПКБ «Петробалт»,

С.В. Мазохин, ген. директор,

А.М. Тимофеев, начальник отдела, АО «Нордик Инжиниринг»,

контакт. тел. 8 (812) 644 5686



Рис. 1. Внешний вид ледокола IBP07

значения и дедвейта имеют большую длину (на 10 м и более). В результате были спроектированы абсолютно новые обводы для достижения заданных в техническом задании основных размерений судна и обеспечения заданной классом судна ледопроеходимости. Применить новые нетрадиционные обводы ледокола также стало возможным в связи с изменениями, которые были введены в Правила РМРС в 2019 г. (циркулярное письмо «314-47-1249ц от 27.07.2019 г.»). Изменения в Правила РМРС были введены с учетом развития арктического флота, оптимизации формы корпуса при движении во льдах. Это позволило спроектировать ледокол, который не уступает по оснащению и запасам своим «одноклассникам», но имеет меньшую длину. Важным отличием по сравнению с современными судами аналогичного ледового класса и мощности является ширина ледокола 20,4 м, которая не уступает аналогам, а в некоторых случаях и шире, что дает значительные и очевидные преимущества при осуществлении ледокольных операций.

Мореходные качества и ледопроеходимость судна подтверждены модельными испытаниями в двух независимых лабораториях: ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и ФГУП «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (рис. 2).

По результатам испытаний в опытовых бассейнах проектируемое судно будет способно преодолевать сплошной лед требуемой метровой толщины, со скоростью около 4 уз при движении носом вперед и не менее 3 уз при движении кормой вперед (хотя к данному ледоколу не предъявлялось требование как «судну двойного действия»). Ледовая ходкость судна в битом льду, канале с ледяной кашей, при преодолении гряд также характеризуется высоким показателем. В рамках разработки технического проекта мореходные качества ледокола проверялись с помощью программного комплекса «Star CCM+» и были максимально близки к полученным в результате модельных бассейновых испытаний (рис. 3–5).



Рис. 2. Проведение модельных испытаний в ледовом опытовом бассейне

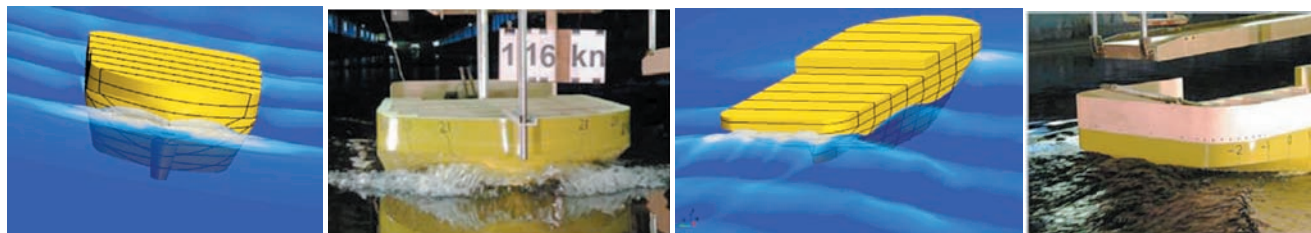


Рис. 3. Примеры визуализации волнообразования при расчетах и при модельных испытаниях

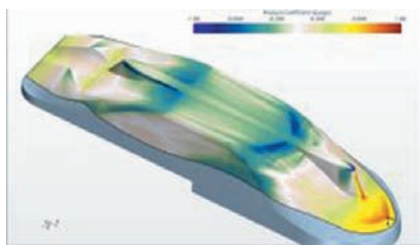


Рис. 4. Распределение коэффициента давления

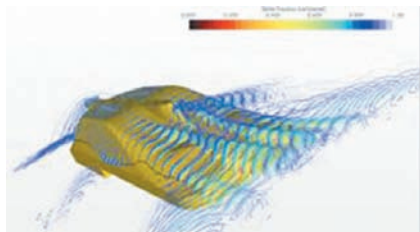


Рис. 5. Вихреобразование

Все расчеты по остойчивости и непотопляемости выполнялись в программе «NAPA» (рис. 6 и рис. 8).

Для полной уверенности в расчетах нагрузки масс и для детальной проработки всех компоновочных решений, принятых для судна, была выполнена трехмерная модель ледокола в системе «CADMATIC» и проработана по всем специализациям от корпуса до достройки. Данный подход позволит уверенно начать строительство судна сразу после заключения контракта с верфью (рис. 7).

В проекте особое внимание уделено проработке внутренних помещений экипажа и спецперсонала (рис. 9). Полностью определен состав, технические

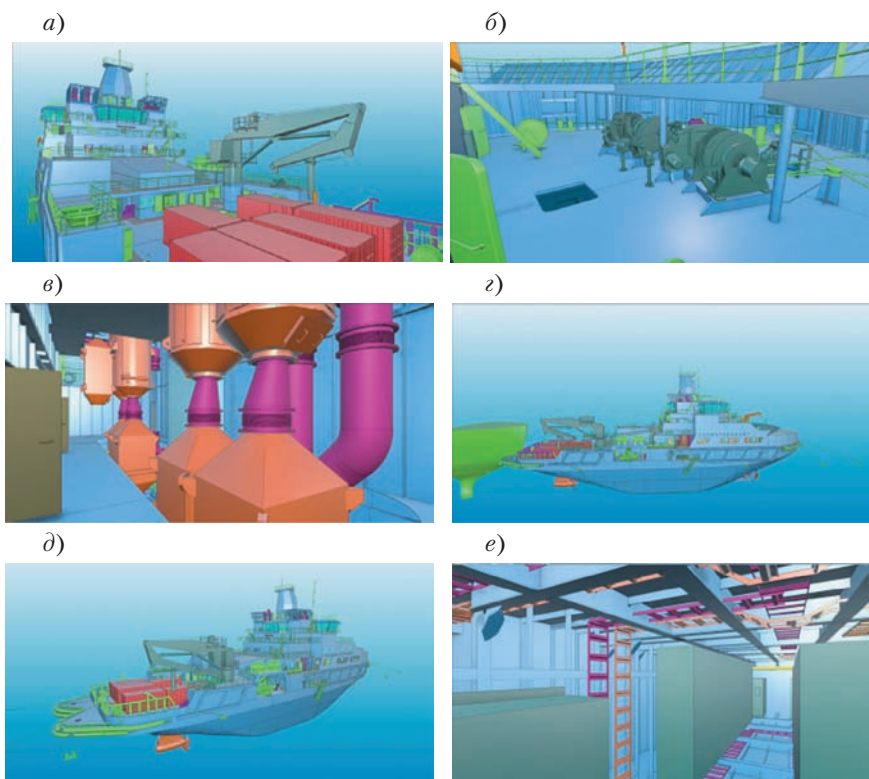


Рис. 7. Разработка трехмерной модели на стадии технического проекта: а – расстановка палубного оборудования; б – расстановка электрооборудования; в – трассировка системы газопроводов; г – внешний вид ледокола, вид сбоку; д – внешний вид ледокола, вид с кормы; е – трассировка магистральных кабельных трасс

характеристики и размещение оборудования помещений пищеблока, кают, мастерских, служебных и санитарных помещений.

Проработаны помещения для хранения ЗИП, инвентарного имущества, снабжения, помещения для обработки,

хранения и утилизации отходов, образующихся при эксплуатации судна.

При выборе конструкций зашивок, изоляции и материалов покрытий уделено внимание решениям, способствующим улучшению обитаемости и повышению комфорта для команды.

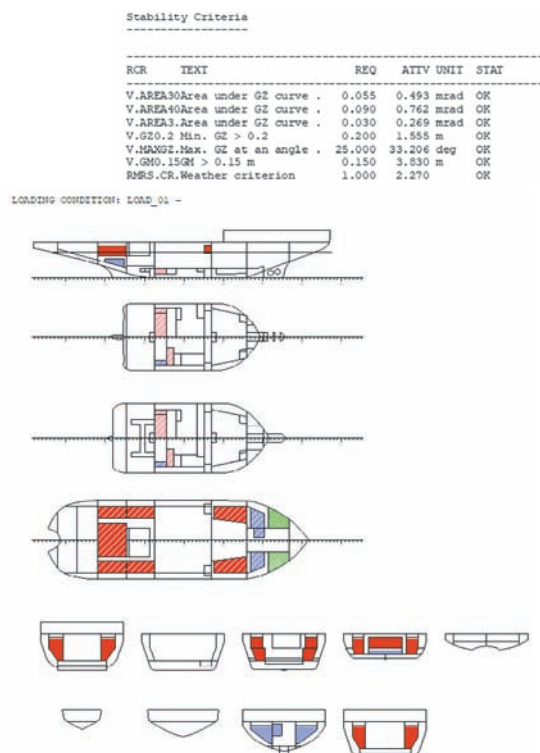


Рис. 6. Расчет посадки и остойчивости в программном комплексе «NAPA»

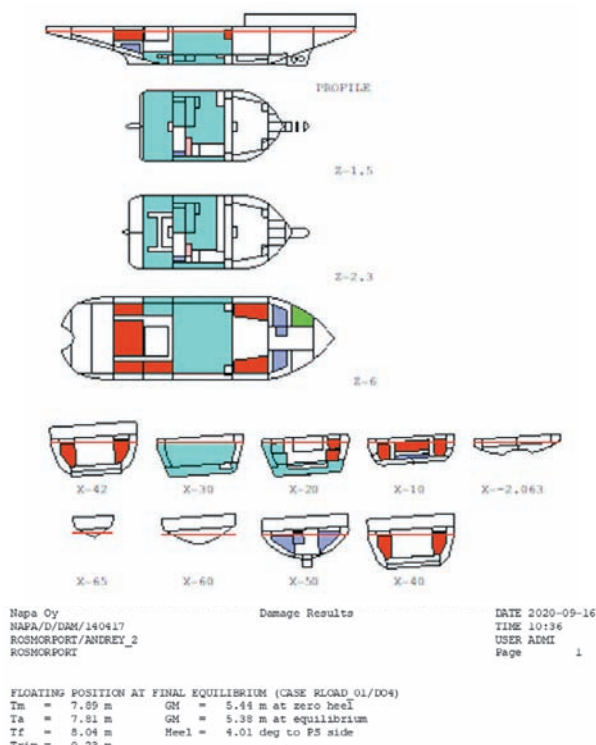


Рис. 8. Расчет аварийной остойчивости в программном комплексе «NAPA»



Рис. 9. Дизайн архитектурного оформления помещений: а – двухместная каюта; б – одностная каюта; в – кают-компания; г – буфетная; д – прачечная; е – коридор; ж – камбуз

Проработан дизайн архитектурного оформления помещений, в котором отражены варианты компоновочных и цветовых решений по оборудованию и материалам отделки. Сегодня на начальных этапах проектирования судна учет пожеланий заказчиков, накопленного опыта эксплуатации подобных судов и детальная проработка внутренних помещений становятся необходимой нормой (рис. 9).

В соответствии с техническим заданием на ледоколе проработана возможность реализации мачты закрытого типа. Мачта выполнена из радиопрозрачного композитного материала для размещения внутри радионавигационного оборудования (рис. 10).

Основной функцией такого исполнения мачты является защита радионавигационного оборудования от воздействия атмосферных осадков.

Также при реализации проекта была рассмотрена еще одна актуальная задача – возможность применения энергетической установки, работающей как на дизельном, так и на газовом топливе. Конструкторами проработана и реализована возможная модификация данного ледокола с использованием двухтопливных двигателей. Для размещения запасов газового топлива был рассмотрен вариант с модульной системой хранения топлива, размещенной на верхней палубе (рис. 11).

Однако в качестве основного варианта исполнения ледокола была выбра-

на энергетическая установка, работающая на тяжелом топливе. Данное решение было заложено в виду отсутствия в предполагаемом районе работы ледокола необходимой инфраструктуры для проведения бункеровочных операций. Это немаловажный фактор, так как автономность плавания на газовом топливе ниже, чем на тяжелом, из-за невозможности размещения большого количества емкостей для хранения газового топлива. Также по результатам НИР, выполненной в рамках контракта на проектирование данного ледокола в различных модификациях определено, что предварительная стоимость его строительства в варианте с двухтопливной энергетической установкой выше, чем с энергетической установкой, работающей на тяжелом топливе. И для окупаемости строительства такого ледокола необходимо либо увеличить емкость танков для газового топлива, что невозможно конструктивно или приведет к серьезным переделкам судна, либо уменьшить «плечо» работы с более частой бункеровкой в порту базирования. В настоящее время модификация ледокола с двухтопливной энергетической установкой может быть востребована при работе в портах Северо-Западного региона с имеющейся там необходимой инфраструктурой для обеспечения регулярной, циклической бункеровки судна. В процессе проектирования был сделан отдельный акцент импорто-

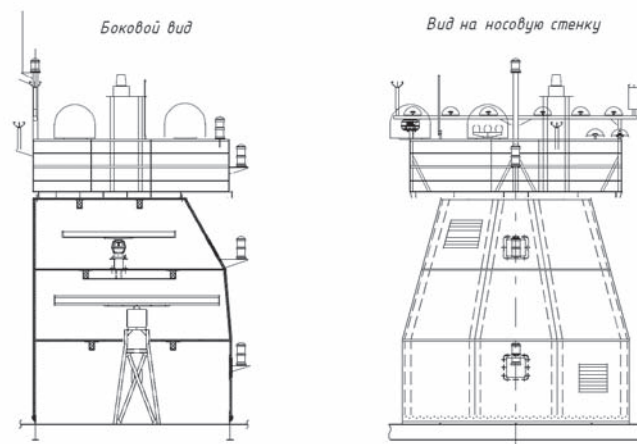


Рис. 10. Схема мачты закрытого типа



Рис. 11. Емкости хранения газомоторного топлива

замещении судового комплектующего оборудования и возможности его применения. Дополнительно, по соответствующему запросу ФГУП «Росморпорт» и в рамках государственной программы развития судостроительной промышленности, АО «Нордик Инжиниринг» был выполнен анализ судового комплектующего оборудования отечественного производства для учета его при выборе поставщиков на следующих этапах проектирования и строительства судна. В рамках данной работы из 215 позиций судового комплектующего оборудования 181 может быть отечественного производства. В качестве основных поставщиков отечественные производители рекомендованы и включены в проект 76 позиций. Другие 105 позиций могут рассматриваться в качестве альтернативы зарубежному судовому комплектующему оборудованию на последующих стадиях проектирования. По 35 позициям серийно выпускаемые аналоги российского производства не выявлены.

В целом ледокол данного проекта может быть рассмотрен не только как новая «боевая единица» в порту Ванино, но и как альтернативная замена работающим в Северо-Западном регионе ледоколам «Капитан Измайлов», «Иван Крузенштерн», «Семён Дежнёв», «Капитан Косолапов», «Капитан Плахин» и «Капитан Зарубин».■

Значительную часть мирового торгового флота составляют суда дедевейтом менее 5000 т. Они, как правило, осуществляют перевозки между морскими, устьевыми и речными портами. Их значительная часть имеет ограничения по районам, сезонам, удаленности от места убежища, условиям волнения и ветра, т.е. относятся к судам ограниченного района плавания (СОРП). Наличие таких ограничений позволило существенно уменьшить строительную стоимость СОРП за счет обоснованного снижения требований к общей и местной прочности, мореходным качествам корпусов, номенклатуре и параметрам судового оборудования и снабжения, мощности главных двигателей, что позволило увеличить грузоподъемность судов при фиксированных проходных осадках за счет уменьшения массы судна порожнем и роста коэффициента общей полноты [1].

Отечественные СОРП были разработаны на основе судов внутреннего плавания (СВВП). К началу 60-х гг. усилиями советских конструкторов был создан новый архитектурно-конструктивный тип СВВП с «ящичными» трюмами, широким раскрытием палубы, практически без «карманов», с двойным дном и двойными бортами, с малой осадкой. Аналогичные суда на море появились позже. При этом реальный дедвейт (в море) у таких судов вырос до 8000 т.

При проведении анализа такого флота следует четко понимать, что главным его признаком является именно грузовая база, так как флаг судна в каждый данный конкретный момент может быть самым разным, часто в зависимости от того грузопотока, на который его нацеливает частный судовладелец – надо будет работать с речных портов, флаг будет российский или украинский, из

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СУХОГРУЗНЫЕ СУДА ОГРАНИЧЕННЫХ РАЙОНОВ ПЛАВАНИЯ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО, НОВОГО И ПЕРСПЕКТИВНОГО ФЛОТА

Г.В. Егоров, д-р техн. техн. наук, проф., ген. директор,
А.Г. Егоров, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
«Морское Инженерное Бюро – СПб»,
контакт. тел. (812) 2336403, 2328538

морских портов (включая Ростов-на-Дону, Санкт-Петербург, Архангельск, Астрахань, Херсон и др. которые де-факто по путевым условиям речные, но юридически – морские порты) – возможны разные варианты [7].

Реальный интерес отечественного судоходного бизнеса сегодня сосредоточен в нескольких главных направлениях:

- перевозка грузов из(в) мелководных и устьевых портов на морские порты;
- работа на рейдовые перевалочные комплексы;
- перевозка по внутренним водным путям (ВВП), в том числе на морские порты, с выходом в море (классическая перевозка смешанного река-море плавания);
- «северный» завоз;
- транзит через внутренние водные пути в (из) Каспийское море;
- мелкопартионные (от 2000 до 8000 т) перевозки между морскими портами.

Эти СОРП в силу особых путевых условий сильно отличаются от мирового флота. Парадокс состоит в том, что на открытом морском рынке этим судам делать нечего (они не смогут быть конкурентоспособными с судами существенно большего размера – хендисайзами, панамаксами, суэцмаксами, кэпсайзами) – это эффект размера (5000–7000 т против 50 000–300 000 т груза). Но и,

наоборот, на мировом рынке нет морских судов, которые могли бы «заменить» суда смешанного река-море флота.

Для сведений, и речные суда из Европы тоже не могут быть конкурентоспособными на водном рынке России опять же из-за размера (типовая грузоподъемность европейского судна смешанного река-море плавания – 1700–2500 т против наших 5000–7000 т), а европейские СОРП плавания имеют дедвейты около 4500 тонн при осадке 5–6 м (предел наших портов на Азовском и Каспийском море – 4,5 м).

Именно в этом и состоит особенность флота большинства постсоветских компаний. Основу торгового флота в исследуемом сегменте составляют в первую очередь сухогрузные суда смешанного река-море плавания (ССП) и СОРП, а также морские суда дедвейтом до 8000 т (так называемые «коастеры»).

Этот флот состоит из двух больших групп: грузовых самоходных судов смешанного, внутреннего и ограниченного морского плавания самых известных «советских» серий, построенных с 1956 по 2000 г., и новых судов новых проектов, построенных уже в XXI в.

Авторами были проведены специальные исследования (начатые еще в 2017 г. [4]) по 1735 построенным с 1956 по 2000 г. сухогрузным судам (табл. 1).

Таблица 1

Сводная информация по составу флота сухогрузных судов смешанного плавания основных «классических» проектов

Проект	Всего построено, ед.	Всего списано, ед.	Всего списано, ед.		В отстое, ед.	В эксплуатации, ед.	Средний возраст	Средний возраст судов в отстое	Средний возраст гибели судов	Средний возраст утилизации судов
			Потеряно в авариях, ед.	Утилизировано, ед.						
«Волго-Дон максы»										
507А, Б	119	53	4	49	13	53	45,64	46,00	33,50	37,04
1565	108	22	5	17	16	70	42,43	44,50	28,40	37,65
05074	63	9	2	7	4	50	30,54	29,75	18,50	19,71
19610, 19611	47	0	0	0	4	43	27,05	25,50	–	–
Итого по разделу	337	84	11	73	37	216	37,40	41,38	28,45	35,52
«Трехтысячники»										
92-040	44	6	4	2	4	34	32,03	32,50	29,00	30,00
791	40	37	7	30	0	3	53,67	–	32,57	34,73
2-95	152	69	11	58	4	79	43,16	46,00	34,64	41,05
1557	121	66	11	55	8	47	41,21	45,13	35,82	39,35
488	34	0	0	0	0	34	35,62	–	–	–
1743, 1743.1	138	18	8	10	5	115	36,11	39,00	27,88	31,50
16290, 16291	10	0	0	0	0	10	24,70	–	–	–
292, 0225	33	2	0	2	1	30	38,90	38,00	–	23,00
17310	8	0	0	0	0	8	21,88	–	–	–
Итого по разделу	580	198	41	157	22	360	37,64	41,27	32,73	38,27

**Сводная информация по составу флота сухогрузных судов смешанного плавания
основных «классических» проектов**

Проект	Всего построено, ед.	Всего списано ед.	Всего списано, ед.		В отстое, ед.	В эксплуатации, ед.	Средний возраст	Средний возраст судов в отстое	Средний возраст гребели судов	Средний возраст утилизации судов
			Потеряно в авариях, ед.	Утилизировано, ед						
«Первые» серии										
21-88, 21-89	118	58	12	46	13	47	55,51	54,54	36,00	37,50
576	252	180	5	175	22	50	58,98	58,77	43,80	38,71
Фин1000	20	5	0	5	1	14	57,07	55,00	–	42,40
Итого по разделу	390	243	17	226	36	111	57,27	57,14	38,29	38,54
Морские ограниченного района плавания										
1588	24	21	3	18	0	3	32,67	–	22,67	30,56
16510	3	0	0	0	0	3	22,00	–	–	–
1572	35	24	1	23	8	3	43,67	43,88	37,00	36,78
Итого по разделу	62	45	4	41	8	9	32,78	43,88	26,25	34,05
«Двухтысячники»										
613, 620	16	7	0	7	1	8	41,25	39,00	–	34,14
781, 781Э	76	70	7	63	2	4	55,50	54,50	31,14	37,21
285, 289, 787	27	20	0	20	4	3	34,67	31,50	–	34,15
1810двт, 1814двт	22	20	1	19	2	0	–	51,50	38,00	40,63
Итого по разделу	141	117	8	109	9	15	43,73	41,89	32,00	37,05
СТ и СТК										
037	9	8	2	6	0	1	38,00	–	28,50	29,17
326, 326.1	67	24	2	22	8	35	35,09	37,00	20,00	30,00
191, Р-168, 19620, 19621	87	31	7	24	15	41	32,02	32,20	21,29	25,71
Итого по разделу	163	63	11	52	23	77	33,49	33,87	22,36	27,92
Площадки и бункерные без крышек										
Д-080, Д-080МК	22	12	1	11	3	7	32,29	30,00	23,00	22,55
Р-32, Р-32А, Р-32К	40	4	2	2	0	36	37,50	–	14,50	21,50
Итого по разделу	62	16	3	13	3	43	36,65	30,00	17,33	22,38
Итого по типу	1735	766	95	671	138	831	39,80	44,15	31,21	36,50

Анализ показал, что из этих судов по состоянию на апрель 2020 г. работает 831 ед. средним возрастом 39,8 год а. Списано 766 судов (44%), из них потеряно в катастрофах 95 (12%) средним возрастом 31,2 года и утилизировано 671 средним возрастом сдачи на металл 36,5 года. В отстое – 138 судов со средним возрастом 44,2 года.

Например, из 121 «Сормовских» пр. 1557 (строились в 1967–1986 гг.) списаны 54,4% – 66 ед. (17% – 11 судов потеряны в катастрофах, утилизировано – 55 судов). В эксплуатации 47 судов средним возрастом 41,2 года. Средний возраст утилизации – 39,4 года. Основной график списания судов (рис. 1 и рис. 2) имеет после 2008 г. ярко выра-

женный экспоненциальный характер (в 2011 г. было утилизировано 10 судов), утилизация продолжается, например, в 2017–2019 гг. было списано 21 судно. В отстое находится 8 судов средним возрастом 45,1 года – они, вероятнее всего, также будут сданы на металлолом; 56 судов (85%) были списаны, имея не российский флаг (это, как правило, турецкие судовладельцы).

Из 152 других не менее известных «трехтысячников» «Волго-Балтов» проектов 2-95 и 2-95А/Р постройки ЧССР (строились в 1967–1984 гг.) списаны 45,4% – 69 ед. (16% – 11 судов потеряны в катастрофах, утилизировано – 58 судов). В эксплуатации 79 судов средним возрастом 43,1 года,

в отстое 4 судна средним возрастом 46 лет. Средний возраст утилизации – 41,1 год. Основной график списания судов имеет после 2008 г. (рис. 3 и рис. 4) ярко выраженный экспоненциальный характер – это отражение морального старения по экономическим причинам (в 2011 г. было утилизировано 9 судов, в 2010 г. – 8 судов). Утилизация продолжается, например, в 2017–2020 гг. было списано 16 судов. Интересно отметить, что 60 судов (87%) были списаны, имея не российский флаг (это тоже, как правило, были турецкие судовладельцы).

Из 87 относительно новых судов-«овощевозов» проектов 19620, Р-168, 191 типа «СТ» (строились в 1983–

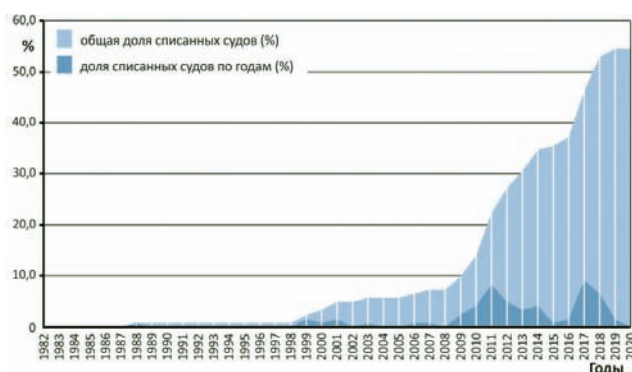


Рис. 1. Количество списанных судов, в %-ном соотношении от всех судов проекта 1557 типа «Сормовский»

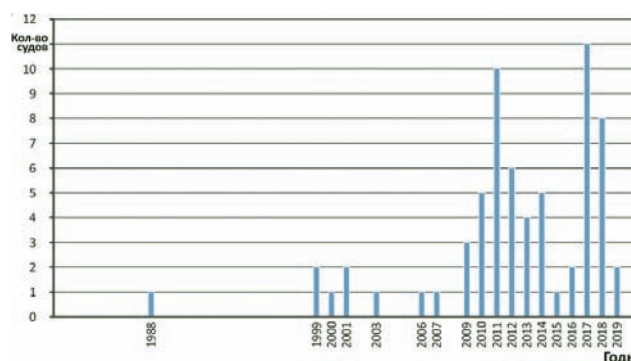


Рис. 2. Количество утилизированных судов пр. 1557 типа «Сормовский» с распределением по годам

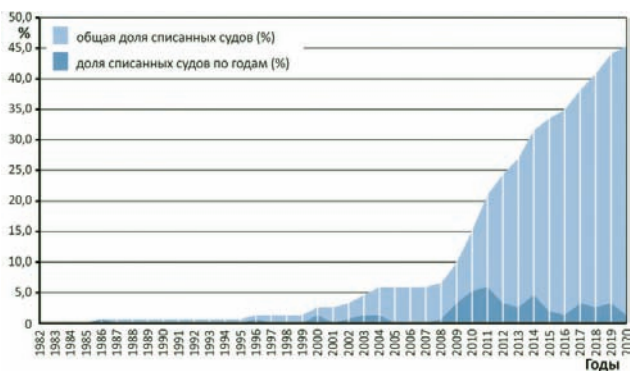


Рис. 3. Количество списанных судов, в %-ном соотношении от всех судов проектов 2-95 и 2-95А/В типа «Волго-Балт»

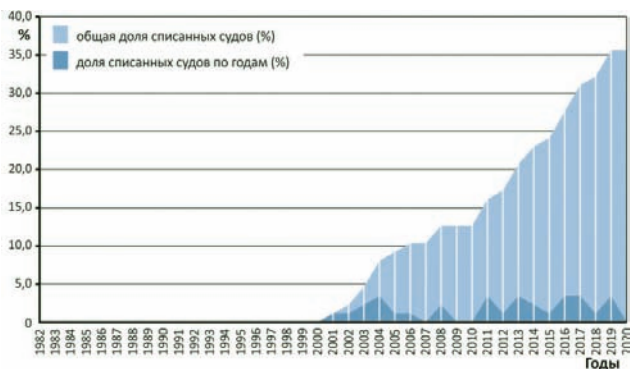


Рис. 5. Количество списанных судов, в %-ном соотношении от всех судов проектов 19620, Р-168, 191 типа «СТ»

1994 гг.) списаны 35,6% – 31 ед. (23% – 7 судов потеряны в катастрофах, утилизировано – 24 судов, причем 20 имели флаг, отличный от России). В эксплуатации 41 судно средним возрастом 32 года. Средний возраст утилизации – 25,7 года (!). Основной график списания судов (рис. 5 и рис. 6) также имеет после 2003 г. ярко выраженный экспоненциальный характер, утилизация продолжается. В отстое находится 14 судов средним возрастом 30 лет – они, скорее всего, также будут сданы на металлолом, причем именно из-за невостребованности на рынке. Относительно большое количество потерянных судов отражает не столько их технические особенности, сколько попытки их новых владельцев использовать такие объекты для нестандартных рейсов (например, по Индийскому океану и т.п.).

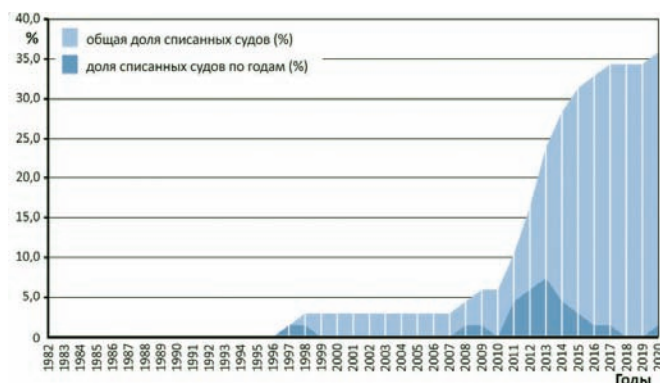


Рис. 7. Количество списанных судов, в %-ном соотношении от всех судов проектов 326 и 326.1 типа «СТК»

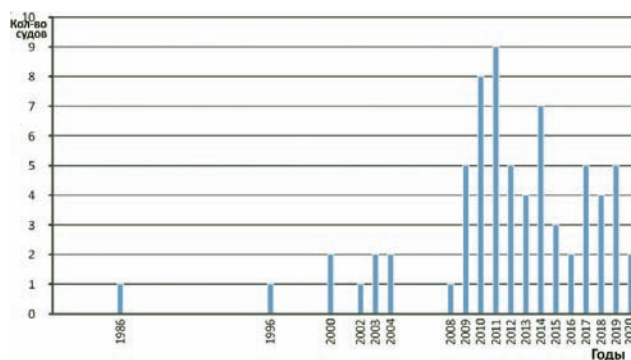


Рис. 4. Количество утилизированных судов проектов 2-95 и 2-95А/В типа «Волго-Балт» с распределением по годам

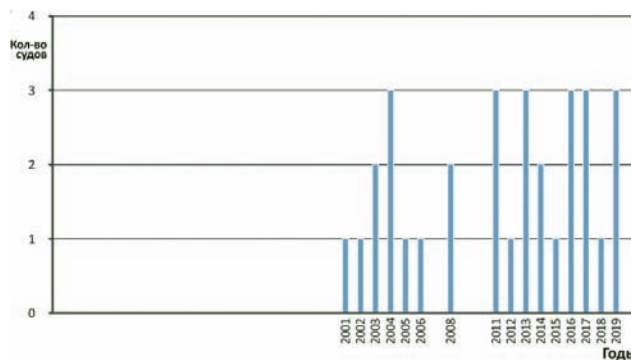


Рис. 6. Количество утилизированных судов проектов 19620, Р-168, 191 типа «СТ» с распределением по годам

Похожая ситуация с 67 тоже относительно «свежими» судами постройки ГДР проектов 326 и 326.1 типа «СТК» (строились в 1978–1989 гг.). Из них списаны 35,8% – 24 ед. (8,6% – 2 судов потеряны в катастрофах, утилизировано – 22 судна). В эксплуатации 35 судов средним возрастом 35,1 года. Средний возраст утилизации – 30 лет. Основной график списания судов (рис. 7 и рис. 8) имеет после 2009 г. ярко выраженный экспоненциальный характер, пик пришелся на 2013 г., когда было списано сразу 5 судов, утилизация продолжается. В отстое находится 8 судов средним возрастом 37 лет – они скорее всего также будут сданы на металлолом, причем именно из-за невостребованности на рынке.

Прямо противоположная тенденция наблюдается по сухогрузным судам типа «Омский» (строились в России и в Румынии в 1972–1995 гг.), особен-

ностью которых является возможность перевезти 3000 т груза при осадке в реке 3,20 м, что крайне важно для маловодных годов. Из 138 сухогрузов этого типа списано всего 13% – 18 ед., причем 8 были потеряны в катастрофах, а сданы на металлолом всего 10 (рис. 9 и рис. 10). В эксплуатации сейчас находятся 115 судов средним возрастом 36,1 года, в отстое – 5 средним возрастом 39 лет (в основном из-за банкротства операторов).

Безусловно, суда «Волго-Дон макс» класса востребованы еще больше, чем суда типа «Омский». Из 63 сухогрузов типа «Волжский» пр. 05074 (строились в 1981–1999 гг.) 2 были потеряны в катастрофах, а 7 были переделаны в танкеры. В эксплуатации сейчас находятся 50 судов средним возрастом 30,5 года, в отстое – 4 средним возрастом 29,8 года (в основном из-за банкротства операторов).

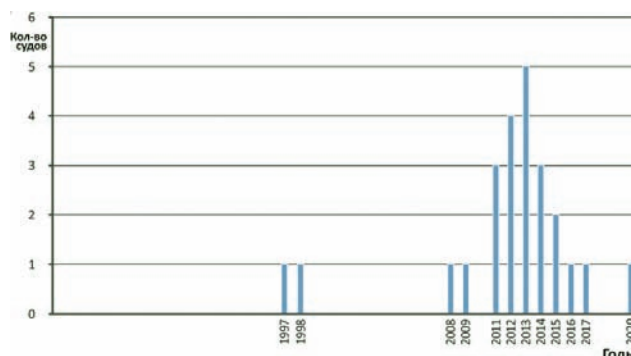


Рис. 8. Количество утилизированных судов проектов 326 и 326.1 типа «СТК» с распределением по годам

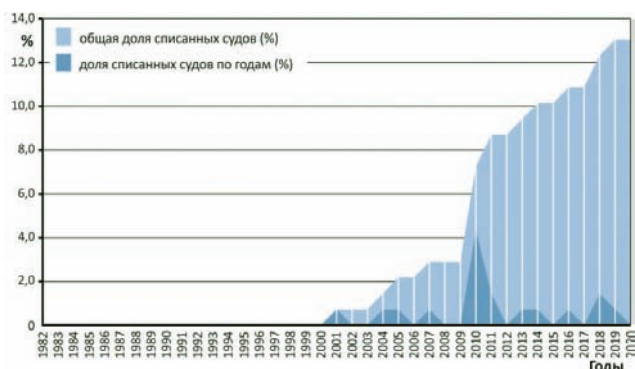


Рис. 9. Количество списанных судов, в %-ном соотношении от всех судов типа «Омский»

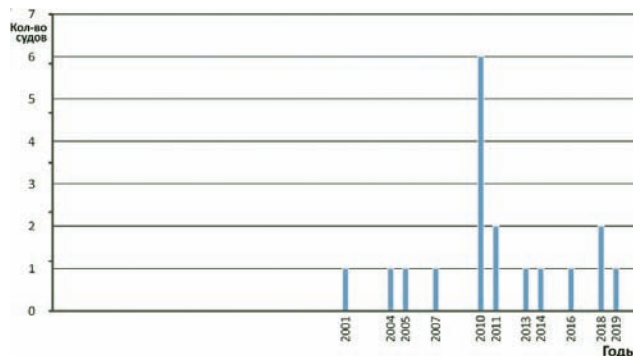


Рис. 10. Количество утилизированных судов типа «Омский» с распределением по годам

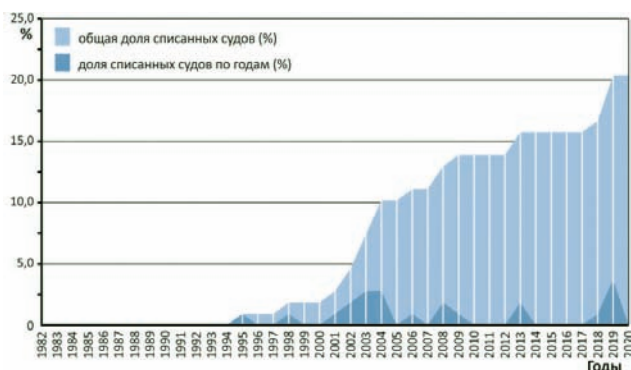


Рис. 11. Количество списанных судов, в %-ном соотношении от всех судов пр. 1565 типа «Волго-Дон»

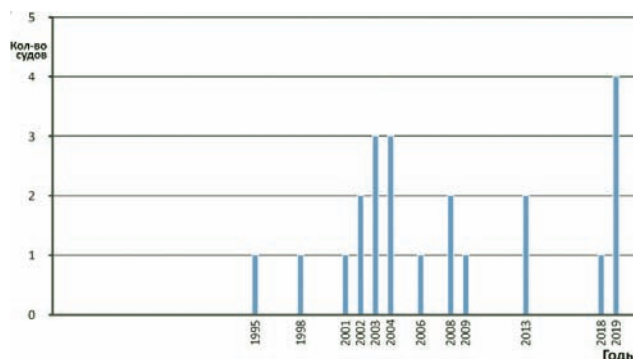


Рис. 12. Количество утилизированных судов пр. 1565 типа «Волго-Дон» с распределением по годам

Из 108 сухогрузных судов типа «Волго-Дон» пр. 1565 (строились в 1968–1990 гг.) списано 20% – 22 ед., причем 5 были потеряны в катастрофах, а сданы на металлолом 17 средним возрастом 37,6 года. В эксплуатации сейчас находятся 70 судов средним возрастом 42,4 года, в отстое – 16 средним возрастом 44,5 года (рис. 11 и рис. 12).

Из 119 сухогрузов типа «Волго-Дон» проектов 507, 507А, 507Б (строились в 1960–1980 гг.) списано 45% – 53 ед., причем 4 были потеряны в катастрофах, а сданы на металлолом 49 средним возрастом 37 лет. В эксплуатации сейчас находятся 53 судна средним возрастом 45,6 года, в отстое – 13 средним возрастом 46 лет.

Основной график списания судов типа «Волго-Дон» имеет линейный характер (рис. 13 и рис. 14). Суды сей-

час работают, как правило, на реке, что собственно видно из графика списания, характерного для судов внутреннего плавания.

Прогнозировать выбытие судов смешанного река-море плавания можно в целом для всего флота, но это будет очень грубой оценкой, так как закономерности выбытия для судов различных проектов значительно отличаются друг от друга. Для каждого проекта, базируясь на данных, полученных выше, и опираясь на выбранную модель утилизации, были получены сроки списания (без учета влияния Конвенции BWB 2004), которые указаны в табл. 2.

Прогноз «Морского Инженерного Бюро», основанный на полученных законах списания: 552 судна из «советских» серий останутся в 2025 г., 208 судов – в 2030 г.

Только в 2017 г. было списано 30 сухогрузов, в 2018 г. – 23, в 2019 г. – 26, в 2020 г. – 5 (неполные данные). Среди списанных судов продолжают превалировать «трехтысячники» – 21 судно пр. 1557 типа «Сормовский», 18 судов проектов 2-95, 2-95А/Р и 791 типа «Волго-Балт», 3 судна пр. 92-040 типа «Амур», а также 9 судов типа СТ и СТК (табл. 3).

Также за последние три года списаны 12 судов проектов 507 и 1565 типа «Волго-Дон» (и поставлены на утилизацию еще 17 ед.) и три судна пр. 1743 типа «Омский», по более ранним оценкам, относящиеся к объектам, которые будут ремонтировать «до последнего», что является признаком физического старения корпуса и механизмов, так как сам тип таких судов востребован на рынке.

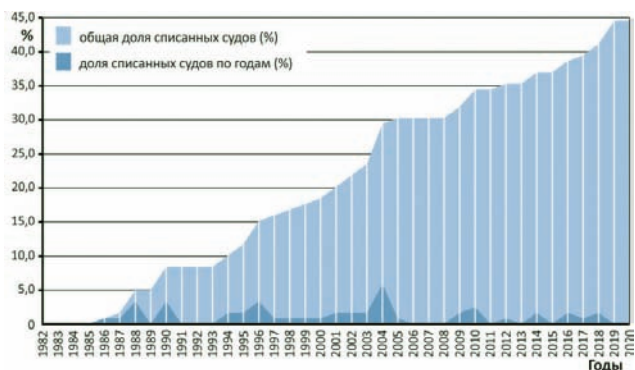


Рис. 13. Количество списанных судов, в %-ном соотношении от всех судов проектов 507, 507А, 507Б типа «Волго-Дон»

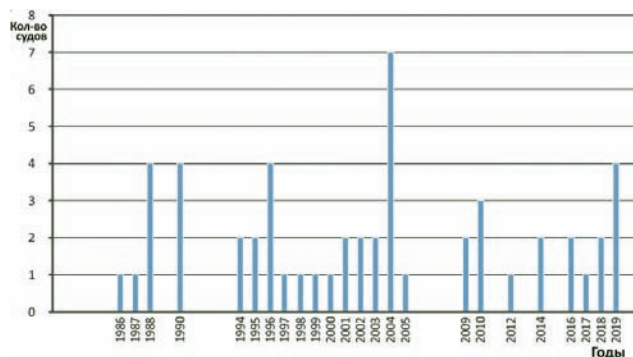


Рис. 14. Количество утилизированных судов проектов 507, 507А, 507Б типа «Волго-Дон» с распределением по годам

Прогноз выбытия сухогрузных судов смешанного река-море плавания «классических» проектов на апрель 2020 г.

Проект	Прогноз выбы- тия, год	Количество судов, ед.		Прогноз количества судов, ед.	
		2019 г.	2020 г.	на 2025 г.	на 2030 г.
«Волго-Дон максы»					
507А, Б	2031	53	53	34	8
1565	2034	81	70	61	31
05074*	2036	46	50	40	27
19610, 19611	2036	43	43	35	27
Итого по разделу		223	216	170	93
«Трехтысячники»					
92-040	2033	32	34	25	5
791	2022	3	3	0	0
2-95	2030	86	79	55	4
1557	2029	50	47	18	0
488	2033	33	34	25	17
1743, 1743.1	2032	116	115	86	40
16290, 16291	2034	10	10	7	4
292, 0225	2031	30	30	25	7
17310	2038	8	8	8	7
Итого по разделу		368	360	249	84
«Первые» серии					
21-88, 21-89	2031	53	47	29	4
576	2028	51	50	20	0
Фин1000	2030	14	14	10	4
Итого по разделу		118	111	59	8
Морские ограниченного района плавания					
1588	2022	3	3	0	0
16510	2035	3	3	3	2
1572	2023	3	3	0	0
Итого по разделу		9	9	3	2
«Двухтысячники»					
613, 620	2027	8	8	2	0
781, 781Э	2023	5	4	0	0
285, 289, 787	2025	8	3	1	0
Итого по разделу		21	15	3	0
СТ и СТК					
037	2022	1	1	0	0
326, 326.1	2029	38	35	16	0
191, Р-168, 19620, 19621	2030	42	41	19	3
Итого по разделу		81	77	35	3
Площадки и бункерные без крышек					
Д-080, Д-080МК	2025	7	7	3	0
Р-32, Р-32А, Р-32К	2035	36	36	30	18
Итого по разделу		43	43	33	18
Итого по сухогрузным судам		863	831	552	208
*В статистике 2019 г. учтены 3 переоборудованных в сухогрузы по пр.RSD22 танкера пр. 05074Т.					

*В статистике 2019 г. учтены 3 переоборудованных в сухогрузы по пр.RSD22 танкера пр. 05074Т.

Таблица 3

Динамика состояния флота сухогрузных судов за 2018–2019 гг.

Проект	Всего списано				Всего в отстое				Всего в эксплуатации			
	на 2018	на 2019	ед.	%	на 2018	на 2019	ед.	%	на 2018	на 2019	ед.	%
«Волго-Дон максы»												
507А, Б	49	53	4	8,2	17	13	–4	–23,5	53	53	0	0,0
1565	19	22	3	15,8	8	16	8	100,0	81	70	–11	–13,6
05074*	12	9	–3	–25,0	5	4	–1	–20,0	46	50	4	8,7
19610, 19611	0	0	0	0,0	4	4	0	0,0	43	43	0	0,0
Итого по разделу	80	84	4	5	34	37	3	8,82	223	216	–7	–3,14
«Трехтысячники»												
92-040	5	6	1	20,0	7	4	–3	–42,9	32	34	2	6,3
791	37	37	0	0,0	0	0	0	0,0	3	3	0	0,0
2-95	64	69	5	7,8	2	4	2	100,0	86	79	–7	–8,1
1557	60	66	6	10,0	11	8	–3	–27,3	50	47	–3	–6,0
488	0	0	0	0,0	1	0	–1	–100,0	33	34	1	3,0
1743, 1743.1	18	18	0	0,0	4	5	1	25,0	116	115	–1	–0,9
16290, 16291	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	10	10	0	0,0

Динамика состояния флота сухогрузных судов за 2018–2019 гг.

Проект	Всего списано				Всего в отстое				Всего в эксплуатации			
	на 2018	на 2019	ед.	%	на 2018	на 2019	ед.	%	на 2018	на 2019	ед.	%
292, 0225	2	2	0	0,0	1	1	0	0,0	30	30	0	0,0
17310	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	8	8	0	0,0
Итого по разделу	186	198	12	6,45	26	22	-4	-15,38	368	360	-8	-2,17
«Первые» серии												
21-88, 21-89	57	58	1	1,8	8	13	5	62,5	53	47	-6	-11,3
576	178	180	2	1,1	23	22	-1	-4,3	51	50	-1	-2,0
Фин1000	5	5	0	0,0	1	1	0	0,0	14	14	0	0,0
Итого по разделу	240	243	3	1,25	32	36	4	12,5	118	111	-7	-5,93
Морские ограниченного района плавания												
1588	21	21	0	0,0	0	0	0	0,0	3	3	0	0,0
16510	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	3	3	0	0,0
1572	23	24	1	4,3	9	8	-1	-11,1	3	3	0	0,0
Итого по разделу	44	45	1	2,27	9	8	-1	-11,11	9	9	0	0
«Двухтысячники»												
613, 620	6	7	1	16,7	2	1	-1	-50,0	8	8	0	0,0
781, 781Э	70	70	0	0,0	1	2	1	100,0	5	4	-1	-20,0
285, 289, 787	17	20	3	17,6	2	4	2	100,0	8	3	-5	-62,5
1810двт, 1814двт	20	20	0	0,0	2	2	0	0,0	0	0	0	0,0
Итого по разделу	113	117	4	3,54	7	9	3	42,86	21	15	-6	-28,57
СТ и СТК												
037	8	8	0	0,0	0	0	0	0,0	1	1	0	0,0
326, 326.1	23	24	1	4,3	6	8	2	33,3	38	35	-3	-7,9
191, Р-168, 19620, 19621	28	31	3	10,7	17	15	-2	-11,8	42	41	-1	-2,4
Итого по разделу	59	63	4	6,78	23	23	0	0	81	77	-4	-4,94
Площадки и бункерные без крышек												
Д-080, Д-080МК	12	12	0	0,0	3	3	0	0,0	7	7	0	0,0
Р-32, Р-32А, Р-32К	4	4	0	0,0	0	0	0	0,0	36	36	0	0,0
Итого по разделу	16	16	0	0	3	3	0	0	43	43	0	0
Итого по сухогрузным судам	738	766	28	3,8%	134	138	4	3,0%	863	831	-32	-3,7%

*В статистике 2019 г. учтены 3 переоборудованных в сухогрузы по пр. RSD22 танкера пр.05074Т.

Таблица 4

Сводная статистика по новым сухогрузным судам за 2000–2020 гг. с прогнозом до 2022 г.
Получено 246 судов и строится еще 38 судов

Проект	Количество построенных судов																				Прогноз		Построено + в постройке	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Сухогрузные суда «Волго-Дон макс» класса	2	1	1		2	3	4	6	4	3	1	9	5	6	3		3	2	6	10	23	22	13	Россия 162+4, Турция 37, Китай 33, Украина 4+1, Азербайджан 1+3 94+35
Сухогрузные суда других классов	5	4	6	8	6	10	15	17	9	5	6	7	11	3	2	1		15	12	10		3		Россия 72+29, Украина 11+4, Китай 7, Турция 4+2 152+3
Всего сухогрузных судов	7	5	7	8	8	13	19	23	13	8	7	16	16	9	5	1	3	18	18	20	23	25	13	Россия 129+30, Китай 35+1, Турция 23+3, Украина 21+4, Румыния 18, Вьетнам 8, Нидерланды 5, Болгария 4, Германия 2, Польша 1 246 + 38

Источник: «Морское Инженерное Бюро»

Сегодня в работе примерно 1077 сухогрузов, из них «старых» 77%, остальные 23% построены в XXI в. При этом действующий грузовой флот – это не только «советские» серии судов. С 2000 г. построены (или куплены на рынке) 246 сухогрузных судов смешанного, внутреннего и морского ограниченного района плавания (поступало в среднем по 12 новых сухогрузов в год – табл. 4).

Интересно, что 15 судов приобретены, а не специально заказаны под россий-

ские путевые условия. Причем китайской постройки три судна, голландской – пять, болгарской – четыре, немецкой – два, польской – один. Данные приведены без учета специально построенных в Китае для Северо-Западного пароходства коастров концепта DCV36 (10 судов) и ряда подобных проектов.

С 2000 г. в России было построено 129 сухогрузных судов (52%), в Китае – 35, в Турции – 23, Украине – 21, Румынии – 14, Вьетнаме – 8.

С 2017 г. количество поступающих от промышленности новых сухогрузных судов превысило соответствующие поставки танкеров. Сейчас в постройке на разных стадиях находятся еще 38 сухогрузов (рис. 15).

В России – 30 ед., или 79% от общего заказа, в Украине – 4, Турции – 3.

Сейчас наиболее востребованными являются суда «Волго-Дон макс» класса [2], отвечающие габаритам Волго-Донского судоходного канала (ВДСК)

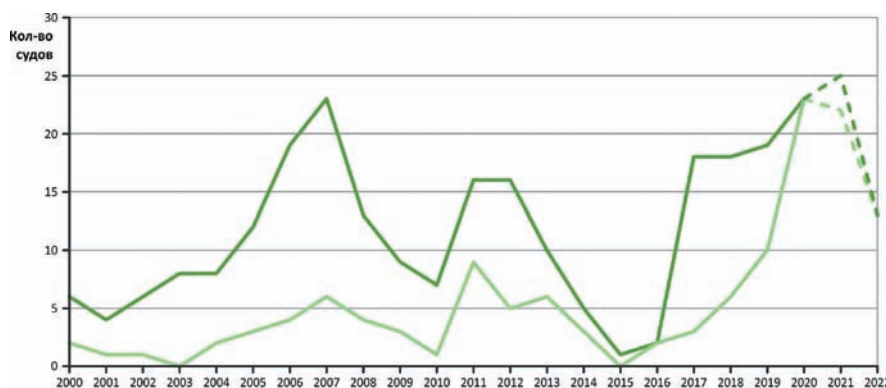


Рис. 15. График постройки новых сухогрузных судов

— построено сухогрузных судов «Волго-Дон макс» класса; — прогноз строительства сухогрузных судов «Волго-Дон макс» класса; — всего построено сухогрузных судов; — прогноз строительства сухогрузных судов всех классов

и предназначенные для замены известных советских серий «Волго-Донов», т.е. универсальные по своим размерам суда для работы на европейской части ВВП России с дедвейтом в реке от 4600 до 5400 т, в море — до 8000 т. Их построено с 2000 г. 94 ед. (38%), но при этом среднестатистический уже 35 ед., или 92%.

Британское Королевское общество корабельных инженеров RINA в число лучших судов года в мире в 2018 г. включило судно «Волго-Дон макс» класса «Пола Макария» пр. 2020 г. в эксплуатации находятся уже 32 таких судна, еще три спущены на воду, а всего заказано 60 судов этого проекта. Проработана версия пр. RSD59 на газомоторном топливе (рис. 16).

Сопоставление технико-эксплуатационных характеристик судна пр. RSD59 показывает, что новый концепт по энергетическим затратам на единицу транспортной

более весомо, в реке (прибавка от 800 т в сравнении с «Невой-Лидером» и до 1495 т в сравнении с «Волгой»), при примерно одинаковой массе порожнем и пакете оборудования, то преимущество нового концепта RSD59 типа «Пола Макария» становится подавляющим.

Однако следует понимать, что речь идет именно о философии «сверхполного» судна, а не о деталях, так как вряд ли стоит всем строить только двухтрюмные суда с длинным 80-метровым трюмом; классом РС, который необходим для работы на маршруте вокруг Европы. Вероятно, зерновая грузовая база требует суда в таких же «сверхполных» обводах и с сохранением наиболее сложных частей судна (корма, машинное отделение, надстройка, новая оконечность), но с более легкими корпусами и меньшей высотой борта в средней части. Это даст добавку примерно 200 т груза на осадках

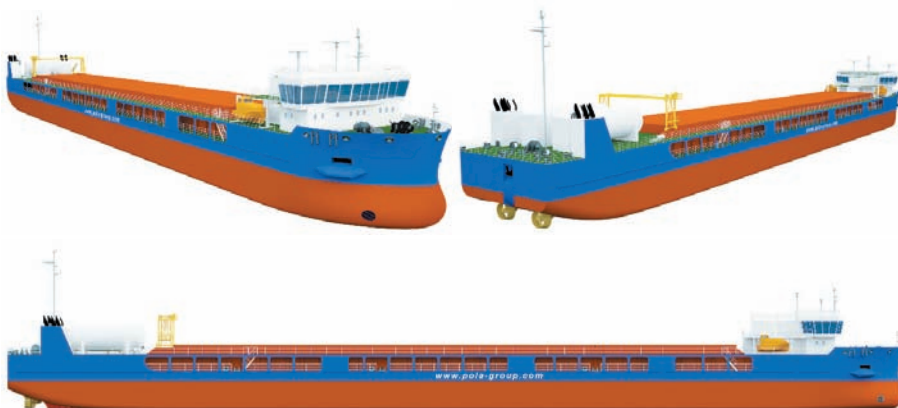


Рис. 16. Общий вид сухогрузного судна пр. RSD59 на газомоторном топливе

производительности лучше, чем суда проектов RSD49 и 006RSD05, выполненные на основе популярных в начале XXI в. обводов «Армада», и заметно лучше, чем сухогрузные суда типа «Волга» и «Русич».

Если к этому добавить и существенный рост абсолютного значения дедвейта (и с ним коэффициента утилизации дедвейта по водоизмещению), причем как на полной осадке, так и, что еще бо-

от 3,60 до 4,00 м (развитие пр. RSD59 — концепт RSD62), с привычным количеством трюмов — 3–4, как сделано, например, на RSD79, возможно с люковыми закрытиями иного типа (фолдинг, пиги-бер).

Кроме того, отмечается значительный интерес средних и малых судовладельцев к судам взамен «Омских» пр. RSD34. Сейчас судов типа «Омский» на рынке работает 115 ед. (всего «трехты-

сячников», включая знаменитые «Сормовские» и «Волго-Балты» — 360 ед.). В 2025 г. «Омских» останется 86 ед. (из 170 «трехтысячников» на рынке), в 2030 — 40 ед. (из 84 «трехтысячников» на рынке).

Дедвейт судов пр. RSD34 составляет 3330 т при осадке 3,20 м в реке, 5100 т — при осадке 4,10 м. Имеется второй длинный трюм — 52,4 м. На таком судне вес стали в корпусе в два раза меньше, чем на RSD59, и мощность главных двигателей 1200 кВт (против 2400 кВт на пр. RSD59).

Наконец, Волжское пароходство уже практически десять лет успешно эксплуатирует десять новых сухогрузных судов пр. RSD44 типа «Герои Сталинграда», в том числе на РПК рейда морского порта Кавказ в классе «М-ПР». Дедвейт этого судна при осадке 3,60 м в реке выше примерно на 100 т, чем судна пр. RSD59, а стоимость в постройке меньше (они легче по массе и проще по требованиям класса).

Надводный габарит в балласте судна пр. RSD44 составляет всего 5,4 м (в грузу еще меньше), что позволит ему, в отличие от всех остальных, проходить под мостами через реку Неву, под ростовским железнодорожным мостом без их разводки. В результате судно будет экономить время на ожидание очереди в разводку мостов, которое составляет до 20 суток за навигацию.

В целом, востребованные на современном рынке транспортных услуг классы сухогрузных судов смешанного и ограниченного района плавания приведены в табл. 5, в том числе:

- «Волго-Дон макс» — класс, который определяется габаритными размерами шлюзов ВДСК и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 4600–5600 т, при этом грузоподъемность при максимальной осадке составляет около 7000–8000 т;
- «Омский / Волго-Балт / Сормовский» — класс, который имеет для характеристической осадки в реке 3,60 м грузоподъемность около 3000 т;
- класс азовско-каспийских «коастеров» [5], который имеет для характеристической в российских портах Азовского моря и портах Каспия (Астрахань, Нека) осадки 4,20–4,50 м грузоподъемность около 5000 т и возможность прохода (для передислокации) по ВДСК;
- класс азовско-каспийских «коастеров», который имеет для характеристической в российских портах Азовского моря осадки 4,20–4,50 м грузоподъемность около 3000 т, конвенционную длину до 85 м, позволяющую не устанавливать спасатель-

ные шлюпки, и один «ящичный» трюм, хорошо приспособленный для проектных грузов; суда могут работать на ВВП РФ;

- класс европейских «коастеров», которые предназначены для работы на российские порты Северо-Запада и Севера (Сабетта и т.п.), без захода на ВВП РФ, дедвейт около 4500–5000 т при осадках около 5,5–6,5 м, имеют конвенционную длину до 85 м и высокий ледовый класс для зимней эксплуатации на Санкт-Петербург и Архангельск. Совершенно иная ситуация в Сибири, на севере европейской части. Причем рассматривать вопрос о пополнении флота северных рек необходимо, исходя из имеющихся в наличии и перспективных грузопотоков конкретного региона, его народнохозяйственных потребностей. Соответственно, и проекты судов нового поколения будут для Дальнего Востока и Сибири отличаться от концептов судов для европейской части.

При ограниченных габаритах судов и глубинах увеличения грузоподъемности возможно только за счет увеличения общей полноты и снижения массы судна порожнем.

«Сверхполные» обводы, которыми сегодня оперирует в проектах RSD59, RSD62, RSD79 «Морское Инженерное Бюро», являются вполне окончательным ответом на первый вопрос, а все попытки коллег улучшить решения бюро по снижению массы корпуса из стали привели лишь к обратному

результату – росту металлоемкости на каких-то проектах на 200 т, на каких-то – на 300 т и более, а также к соответствующему снижению грузоподъемности.

Таким образом, практически установлено, что уменьшить массу судна можно уже только за счет более легких материалов [3]. Алюминиевые сплавы, безусловно, широко известны в отечественном судостроении многие годы и применяются в первую очередь для корпусов скоростных судов (для увеличения полезной нагрузки за счет снижения массы корпуса), надстроек и рубок пассажирских судов, паромов и служебно-вспомогательных судов (для решения вопросов по остоичности за счет снижения положения ЦТ по высоте). Примером могут служить надстройки круизных судов нового поколения проектов PV08, PV09, PV300, PV300VD.

Новшеством является применение новых Al-Mg сплавов с пониженным содержанием скандия, разработанных «Русалом». Основные преимущества деформируемых Sc-содержащих сплавов RUSAL (с 0,1% Sc): низкая стоимость (в 2–3 раза) по сравнению с традиционными Sc-содержащими сплавами; по уровню прочностных свойств превосходит традиционные сплавы минимум на 40%; высокий уровень свойств достигается без использования операции закалки в воду. Достигнуто снижение стоимости Sc сплавов (в виде слитков) до 5000 долл. США за тонну (при содержании до 0,1% Sc).

Таблица 5

Основные типоразмеры современных сухогрузных СОРП, востребованных на отечественном рынке

Отличительная особенность класса судна, номер проекта «Морского Инженерного Бюро»	Габаритные длина×ширина×высота борта, м	Дедвейт при максимальной осадке, т	Дедвейт при осадке 3,60 м, т (в реке)	Размеры трюмов, м (l×b×h)	ρ, т/м ²	Вместимость трюмов, м ³	Класс Регистра
«Волго-Дон макс» класс							
RSD59	141,00×16,98×6,00	8142 (4,70 м)	5320	77,35×12,25×9,0, 27,03×12,25×9,0,	12	11200	КМ ★ Ice2 R2 AUT1-ICS
RSD49	139,95×16,50×6,00	7154 (4,70 м)	4518	51,72×12,7×8,35, 25,72×12,7×8,35, 27,3×12,7×8,35	12	10920	КМ ★ Ice2 R2 AUT1-C
RSD44	139,99×16,80×5,00	5562 (3,53 м)	5543	49,8×13,2×6,17, 37,8×13,2×6,17	5,1	7090	✠ М-ПР 2,5 (лед 20) А
Грузоподъемность около 5000 т при осадках 4,2–4,5 м, «Азовский пятитысячник»							
RSD32M	123,17×16,75×5,50	6328 (4,745 м)	3940	27,30×12,68×8,54 27,30×12,68×8,54 27,30×12,68×8,54	10	8804	КМ ★ Ice1 R2 AUT1-ICS
Грузоподъемность около 3000 т при осадке 3,6 м, взамен «Омский» / «Волго-Балтов» / «Сормовских»							
RSD34	110,64×16,98×5,50	5070 (4,10 м)	4020	22,80×13,20×6,60 52,40×13,20×6,60	7,0	6670	КМ ★ Ice1R2RSN4,5AUT3-ICS
005RSD03	108,33×16,70×5,50	5499 (4,792 м)	3340	21,45×12,7×8,3, 27,3×12,7×8,3, 26,55×12,7×8,3	7,5	7833	КМ ★ ЛУ2 1 II СП А3
RSD10	99,90×15,80×5,80	4505 (4,80 м)	2690	32,5×12,5×7,5, 32,5×12,5×7,5	10	6000	☞ 100A5 «G» «E1» MC AUT 24 «E1» «SOLAS II-2, Reg.19»
Грузоподъемность около 3000 т при осадках 4,2–4,5 м, «Азовский трехтысячник»							
003RSD04	89,73×15,80×5,75	3756 (4,461 м)	2584	59,15×13,20×6,4	7	4832	КМ ★ ЛУ1 II А3
003RSD04/ALB03	89,17×15,60×6,80	4416 (5,286 м)	2243	59,00×12,70×7,45	7	5486	КМ ★ Ice3 R1 AUT3
RSD16	89,73×13,50×6,10	3152 (4,50 м)	2106	58,5×10,8×6,9	10	4300	КМ ★ ЛУ1 II А3 (OBHM)
Европейские «коастеры», грузоподъемность около 5000–6000 т при осадке 5,5 м							
DCV46	119,67×15,80×8,30	7443 (6,11 м)	4674 (4,50 м)	56,0×13,4×9,0, 29,4×13,4×9,0	12	10111	Hull: ☒ 100 A5 E1 G Multi-Purpose Dry Cargo Ship, SOLAS-II-2, Reg.19, Equipped for Carriage of Containers, DBC Machinery: ☒ MC E1 AUT
Европейские «коастеры» с конвенционной длиной до 85 м							
DCV36	89,96×14,50×7,20	5026 (6,40 м)	2748 (4,50 м)	60,0×11,5×9,17	14	6228	КМ ★ Ice3 AUT1
DCV33	89,99×14,00×7,15	4509 (5,812 м)	3019 (4,50 м)	60,0×11,5×8,3	12	5611	Hull: ☒ 100 A5 E2, G, DBC, SOLAS II-2, Reg.19, General Cargo Ship, Equipped for Carriage of Containers Machinery: ☒ MC E2 AUT
Малое накатное судно снабжения с возможностью высадки на необорудованный берег							
DCV47	42,60×8,82×2,70	264 (2,175 м)	-	25,2×6,40*	15	140**	КМ ★ Ice2 1 R1 AUT3 OMBO

* Размеры грузовой палубы с учетом участков для размещения судовых устройств.

** Чистая площадь грузовой части палубы, м².

За счет роста прочности масса конструкций может быть снижена по сравнению с обычными алюминиевыми сплавами примерно на 25%.

Поэтому особое внимание должно быть уделено применению алюминиевых сплавов для изготовления люковых закрытий речных сухогрузных судов. Для перспективного судна внутреннего плавания грузоподъемностью около 2500 т НИИ «Курчатовский институт – ЦНИИ КМ «Прометей» разработал технологию производства сварных крупногабаритных облегченных панелей (СКО-панелей) с использованием катаных и прессованных полуфабрикатов из коррозионно-стойких алюминиево-магниевого сплавов 1561, 1565ч толщиной от 2,5 мм методом сварки трением с перемешиванием.

Для грузовых судов смешанного река-море плавания и речного плавания актуальными является применение композитов для изготовления люковых закрытий (такое решение применяется повсеместно на водном транспорте США), перемещаемых поперечных переборок, дельных вещей, элементов надстройки.

Для сведений, в 2013 г. по ВДСК было перевезено рекордное с 1983 г. количество груза – 12,7 млн. т, в основном высокомаржинального экспортного.

Собственно говоря, именно то, что утилизация сухогрузных судов шла более быстрыми темпами, чем поступление новых и нехватка тоннажа для вывоза зерна на юге и привели к резкому росту (на сегодня) заказов на новые сухогрузы. Однако в этом вопросе есть много важных нюансов.

Во-первых, списание идет в основном судов грузоподъемностью 2000–3000 т, а вовсе не «Волго-Дон максов». Постройка происходит как раз в основном «Волго-Дон максов», грузоподъемность которых на осадках 3,60–4,20 м в 2–3 раза превышает грузоподъемность судов, которые они, по сути, меняют.

Во-вторых, ставки на перевозки сухих высокомаржинальных грузов очень изменчивы (особенно, если посмотреть достаточно длинный период). Ведь не случайно в 2010–2016 гг. сухогрузные суда строились не столь активно, как танкеры – просто ставки не позволяли.

Главной бедой водно-транспортной отрасли России является проблема маловодности, которая в свою очередь приводит к недостаточным глубинам. Следует понимать, что недогруз сухогруза «Волго-Дон макс» класса на 60 см (т.е. вместо осадки 3,60 м – 3,00 м) приводит к потере 1180–1320 т грузоподъемности. А ведь именно с падения фактических загрузок танкеров при недостаточных глубинах началось снижение подачи нефтегрузов на реку с передачей этих объемов (заводы же продолжают работать) на железную дорогу.

Для устранения «узких» мест жизненно необходимо строительство Нижегородского низконапорного узла, который должен решить проблему Городца, и низконапорного гидроузла на реке Дон в Багаевском районе.

Вторая (по порядку, но не по значению) проблема – неустойчивая грузовая база. Опять же ярким примером является резкое сокращение подачи нефтепродуктов к перевозке по реке – в 2015–2019 гг. в два раза меньше, чем, например, в 2013 г. И все это происходило на фоне крайне незначительного списания старых танкеров и активного поступления новых судов. В результате заказ новых танкеров был вынужденно приостановлен (и это, несмотря на средний возраст конкурирующих с новыми танкера типа «Волгонефть» в 43 года).

Вообще отдельный вопрос – существующий грузовой флот, который был построен с конца 1950-х гг. до 2000 г. по проектам «советского» типа. Это вполне хорошие и надежные суда, тем более они уже столько лет находятся в эксплуатации. Но когда было построено новых танкеров в 1,6 раза больше, чем списали старых, и это совпало с кризисом грузовой базы, результатом были резкое падение доходности работы танкеров и их простой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня в работе примерно 1052 сухогрузов, из них «старых» 79%, остальные 21% построены в XXI в. С 2000 г. построено (или куплено на рынке) 221 сухогрузное судно смешанного, внутреннего и морского ограниченного района плавания. По состоянию на апрель 2020 г. работает 831 сухогруз «советских» серий средним возрастом 39,8 года. Списано 766 судов (44%), из них потеряно в катастрофах 95 (12%) средним возрастом 31,2 года и утилизировано 671 средним возрастом сдачи на металлолом 36,5 года. В отстое – 138 судов средним возрастом 44,2 года.

С 2017 г. количество поступающих от промышленности новых сухогрузных судов превысило соответствующие поставки танкеров. Сейчас в постройке на разных стадиях находятся еще 59 сухогрузов, из них в России заказано 48 ед., или 81%.

Главным фактором, определяющим параметры грузовых судов водного транспорта, безусловно, является грузовая база. Именно грузопотоки определяют количество и тип требуемых судов. Темпы постройки новых судов следует согласовывать с реальной грузовой базой и фактическим списанием старых судов-конкурентов.

Наиболее востребованными были и остаются сухогрузные суда «Волго-Дон макс» класса, отвечающие габаритам ВДСК и предназначенные для замены известных советских серий «Волго-Донов», т.е. универсальные по своим размерам суда для работы в европейской части ВВП России.

При ограниченных габаритах судов и глубинах увеличение грузоподъемности возможно только за счет увеличения общей полноты и снижения массы судна порожнем.

«Сверхполные» обводы, которыми сегодня оперирует на проектах RSD59, RSD62, RSD79 «Морское Инженерное Бюро», являются вполне окончательным ответом на первый вопрос, а все попытки улучшить решения бюро по снижению массы корпуса из стали другими коллегами привели на чужих проектах лишь к обратному результату – росту металлоемкости и соответствующему снижению грузоподъемности.

Таким образом, практически установлено, что уменьшить массу судна порожнем можно уже только за счет более легких материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
2. Егоров Г.В. Обновленная линейка многоцелевых сухогрузных судов смешанного плавания и коастров Морского Инженерного Бюро // Морская Биржа. – 2011. – № 3 (37). – С. 38–42.
3. Егоров Г.В. Опыт и перспективы применения новых конструктивных материалов в отечественном судостроении. – Труды НТК по СМК, посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. О.М. Палия. – СПб.: Изд. КГНЦ, 2019. – С. 127–128.
4. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Фактическое списание судов смешанного река-море плавания и прогноз утилизации судов до 2025 года. Типы судов, востребованные рынком // Морская Биржа. – 2017. – № 3 (61). – С. 30–36.
5. Егоров Г.В., Тонюк В.И. О проектировании сухогрузных судов смешанного плавания проекта RSD32M. – Труды НТК по СМК, посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. О.М. Палия. – СПб.: Изд. КГНЦ, 2019. – С. 133–134.
6. Егоров Г.В., Тонюк В.И., Дурнев Е.Ю. «Сверхполное» многоцелевое сухогрузное судно проекта RSD59 для всех видов сухих грузов. – Труды КГНЦ. – 2019. – Спецвыпуск № 1. – С. 234–239.
7. Egorov G.V., Tonyuk V.I., Egorov A.G., Davydov I.F. Justification of main characteristics of river-sea dry-cargo vessels with extra-full hull form. – Proc. of the 18th Intern. Congress of IMAM (IMAM 2019) «Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies». – Varna, Bulgaria, 2019. – P. 332–337. ■

Анализ современного состояния рынка пассажирских и грузопассажирских перевозок требует от надзорных ведомств, заказчиков и судовладельцев, а также морских транспортных компаний переосмысления текущей и перспективной роли российского участия в развитии данного направления (т. е. необходимости формирования общей, согласованной стратегии развития данного направления бизнеса в РФ).

АКТУАЛЬНОСТЬ ПАРОМНОГО СООБЩЕНИЯ НА БАЛТИКЕ

Зона Балтийского и Северного морей, где развито паромное сообщение, является зоной высокой экономической активности, которая будет динамично развиваться и в дальнейшем.

В данной статье рассматриваются только перспективы развития именно морского паромного и круизного бизнеса, в котором задействованы крупные суда большого водоизмещения.

Пассажирские морские перевозки для стран балтийского региона представляют собой перспективное направление бизнеса с огромным оборотом материальных средств. Развитие данного бизнеса как целевого направления невозможно без применения современных и перспективных технологий как в области проектирования, так и в области строительства судов. При этом в РФ применение инноваций необходимо прежде всего для переоснащения флота, принадлежащего операторам перевозок, модернизации существующих и строительства новых судов, а также всех компонентов системы паромных и круизных перевозок в их интересах.

Обоснование требуемых для этого инноваций невозможно без использования современных технологий математического моделирования для отработки концепции перспективного судна. В области проектирования применение инноваций предполагает разработку специализированного методологического аппарата обоснования концепции и выбора проектных решений на базе математического моделирования и решения оптимизационной задачи, разработка которой позволила бы вывести методологию (и тем самым процесс) проектирования на новый, принципиально более высокий, уровень инженерии.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОГО КРУИЗНОГО ПАРОМА

Возможные направления использования перспективного круизного паромного сообщения:

- увеличение потоков пассажиров и грузов, в том числе в унифицированной таре, на линии Санкт-Петербург–Калининград;

ВОЗВРАЩЕНИЕ «РЮРИКА» ОБОСНОВАНИЕ ОБЛИКА ПРОЕКТА ПЕРСПЕКТИВНОГО КРУИЗНОГО ПАРОМА ДЛЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ЧАСТЬ 1

И.В. Щербаков, ген. директор,
П.Г. Тенишев, канд. техн. наук, зам. гл. конструктора,
ООО ПКБ «Петробалт»,
А.И. Гайкович, д-р техн. наук, проф. ФГБОУ СПбГМТУ,
контакт. тел. +7(950) 012 2408, +7(921) 922 2205

- увеличение туристических потоков в направлении Скандинавия– Мурманск, т. е. в бассейнах со сложной ледовой обстановкой, для реализации которых требуется разработка концепции перспективного круизного паромного высокого ледового класса.

Предполагаемая концепция перспективного судна направлена на замену состава существующего паромного флота РФ в Балтийском море, в частности, судов типа «Принцесса Анастасия» (двух судов водоизмещением около 23 тыс. т), на круизный паром водоизмещением около 40 тыс. т с более развитой системой культурно-массовых развлечений и более высоким классом обслуживания и комфорта пассажиров.

Возможности использования перспективного судна на грузопассажирских линиях Балтийского моря.

Как отмечалось выше, ввиду своей широкой функциональности перспективное судно может эксплуатироваться не только в бассейне Балтийского моря, но также в направлении Север-

ного моря, Атлантики и Северного морского пути.

На линиях Балтийского и Северного морей существуют пассажирские и грузовые морские линии, которые могут носить совмещенный характер с паромными линиями, а также объединяться в цепочки круизных линий (рис. 1), поэтому отдельную и наиболее важную часть проектных изысканий при формировании облика перспективного судна будет занимать технико-экономическое обоснование (ТЭО).

Возможности расширения применения паромного сообщения за счет развития береговой инфраструктуры.

Береговая инфраструктура как неотъемлемая часть функциональной системы «флот – порт» накладывает ограничения на количество и состав флота, обслуживаемого в зоне действия данной береговой инфраструктуры:

- для обработки пассажиропотоков и перевозимых транспортных средств необходимо развитие причальных терминалов. Модернизация и развитие этих терминалов находят-



Рис. 1. Транспортные направления Балтийского моря

ся в непосредственной зависимости от состава и развития обслуживаемого ими флота судов, т.е. как флот определяет мощность портовых терминалов, так и терминалы влияют на состав флота;

- для увеличения грузо- и пассажиропотоков необходимо развитие железнодорожной сети для перевозки пассажирских и товарных вагонов.

Таким образом, вышеперечисленные факторы расширяют возможности применения паромного сообщения за счет взаимной оптимизации ее составных элементов. Кроме того, эти факторы необходимо учитывать при решении комплексной задачи оптимального соотношения наличия судов и портовых терминалов (рис. 2).



Рис. 2. Проект современного портового терминала

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ФИНАНСИРОВАНИЯ СОЗДАНИЯ ПАРОМНОГО КОМПЛЕКСА

Под паромным комплексом следует понимать целевую систему «судно – портовый терминал», составные элементы которой влияют друг на друга.

Ограничительными условиями для создания паромного комплекса являются:

- доступные существующие мощности отечественного производства и их плановая загрузка;
- возможности привлечения для этих нужд требуемого финансирования, в том числе иностранного капитала и/или (возможно совместно с различными долями участия) средств других секторов бизнеса, например, туроператоров.

ЗАДАЧИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОБЛИКА ПЕРСПЕКТИВНОГО КРУИЗНОГО ПАРОМА

Реализация перспективного круизного парома включает в себя внешнюю

и внутреннюю задачи проектирования. Внешняя задача позволяет сформулировать рациональное задание на проектирование перспективного парома, а внутренняя – определить его основные судостроительные характеристики и элементы.

Одним из перспективных направлений является формирование гибридных (новых, многофункциональных классов) судов, применение которых могло бы повысить эффективность решения задачи в едином инженерном объекте (судне).

Таким образом, при обосновании облика перспективного парома в первую очередь следует задумываться о возможности его более широкого географического использования и расширения круга решаемых транспортных задач (гибридные классы).

ОБЗОР МИРОВЫХ КРУИЗНЫХ ОПЕРАТОРОВ

В мире насчитывается около 90 компаний из 26 стран, выполняющих морские круизы. Несмотря на большое количество компаний, на долю десяти крупнейших из них приходится 83% всего рынка.

По данным Cruise Lines International Association, или CLIA (Международной круизной ассоциации), в 2019 г. услугами круизных компаний воспользовалось около 30 млн. пассажиров. Оборот круизной индустрии при этом составил 134 млрд. долл. По сравнению с 2018 г. рост составил около 4,6%. Отдых пассажиров обеспечивало около 250 000 членов экипажей, при этом общая пассажироместность более чем 300 судов составляет около 537 тыс. человек (рис. 3, рис. 4).

В настоящее время в данном бизнесе лидирует американский холдинг «Carnival Corporation & PLC», владеющий 105 лайнерами из 9 круизных брендов с 39,3% долей рынка.

В РФ на сегодняшний день существуют только две морские круизные компании «Крым» и «Посейдон», причем у каждой имеется только по одному судну. Компания «Посейдон» специализируется на перспективном направлении экспедиционных круизов по Северному морскому пути с использованием судна-ледокола, т.е. осуществляет морские круизы туристов в полярные зоны Северного ледовитого океана. Данное направление весьма перспективно для РФ ввиду ее территориального расположения. Как отмечалось выше, в проекте перспективного круизного парома изначально закладывается высокий ледовый класс, что делает возможным его эксплуатацию также в районах Северного морского пути (СМП).



Рис. 3. Круизный паром «Princess Anastasia». Длина – 176,85 м, ширина – 28,41 м, осадка – 6,71 м, дедвейт – 4000 т

Количество пассажиров круизных судов по всему миру, по данным агентства CLIA*, млн

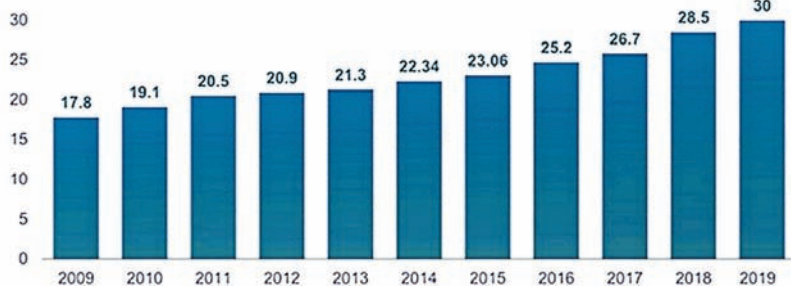


Рис. 4. Объем пассажирских перевозок в круизном сегменте с 2009 по 2019 г.

*CLIA – организация международного уровня, объединяющая компании, турагентства и ассоциации, задействованные в глобальном круизном секторе и представляющая их интересы.

ПРОЕКТНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО МОРСКОГО КРУИЗНОГО ПАРОМА ОТ ООО ПКБ «ПЕТРОБАЛТ»

Для иллюстрации перспективной возможности развития данного направления ООО ПКБ «Петробалт» провело проработку проекта перспективного морского круизного парома (рис. 5–7).

ООО ПКБ «Петробалт» имеет опыт проектирования построенных паромов в том числе класса круизных, и задел на будущее в этой области.

Таким образом, на основании опыта, имеющегося у ООО ПКБ «Петробалт», в проектировании и сопровождении при постройке судов такого типа, может ставиться задача как разработки целевой

системы судов, реализующих существующие транспортные задачи, так и формирования перспективных гибридных классов судов под конкретные логистические задачи.

При обосновании облика перспективного круизного парома для Балтики и Северного моря (а также СМП) следует рассматривать именно задачу оптимальной компоновки одного судна для решения нескольких транспортных задач. С этой целью ООО ПКБ «Петробалт» была выполнена инициативная проектная проработка, включающая в себя обработку статистических данных по судам и проектные прорисовки облика перспективного судна со всеми необходимыми расчетами. Обработка всей

доступной статистики по судам данного класса послужила основанием для выявления тренда зависимостей проектных параметров.

Для обоснования концептуального облика перспективного судна был применен математический аппарат, описывающий распределение статистических данных внутри класса по построенным и спроектированным судам. В обработанной статистике были использованы данные открытой печати о судах класса паром и круизных, спроектированных и построенных в мире с 1962 по 2008 г. (93 позиции).

При обработке статистических данных использован анализ распределения проектных величин, таких как водоизмещение по оси x , а длина, ширина, осадка, высота борта, дедвейт, gross-тоннаж, скорость хода, мощность ГЭУ – по оси y .

Для этого статистические данные наносили на координатные оси, и на их основе строили кривые среднего распределения кубической формы (как наиболее коррелируемые с исходными данными). При этом строилась средняя точка распределения по этим осям.

Как было отмечено выше, ориентировочное водоизмещение перспективного судна принято равным около 40–50 тыс. т (на графиках принят верхний диапазон 50 тыс. т). Затем по выбранному водоизмещению на базе проектных прорисовок и расчетов определялись его основные проектные параметры: длина, ширина, осадка, высота борта, дедвейт, gross-тоннаж, скорость хода, мощность ГЭУ. Для верификации того, что полученные проектные параметры лежат в тренде для судов данного класса, выполнено построение усредненной кривой и затем определено место рассматриваемого проектного варианта в общем тренде для судов данного класса.

Красным цветом на графиках показана точка рассматриваемого в обосновании облика перспективного судна, при этом при построении усредненной кривой эта точка не использовалась, т. е. она не оказывает влияния на построения за счет ее координат.

Как видно из графиков рис. 8, закладываемые проектные параметры, определенные в проработке, лежат в тренде обрабатываемой статистики по всем рассматриваемым проектным параметрам.

Анализ статистических данных с учетом набора проектных проработок позволил сформировать концепцию облика перспективного круизного парома (рис. 9–10).

На базе выполненных проектных исследований и проработок выявлена целесообразность разработки линейки судов (проектного типоряда) данного класса с возможной вариативностью главных размерений судна и, как

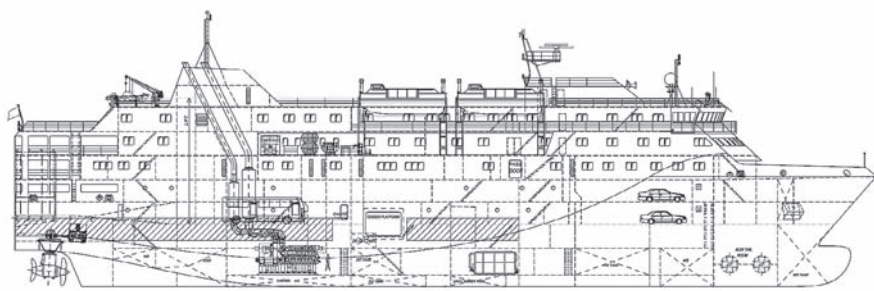


Рис. 5. Проект грузопассажирского парома на 750 пассажиров и 140 автомобилей. Длина – 86,66 м, ширина – 18,0 м, осадка – 7,0 м, водоизмещение – около 4943 т

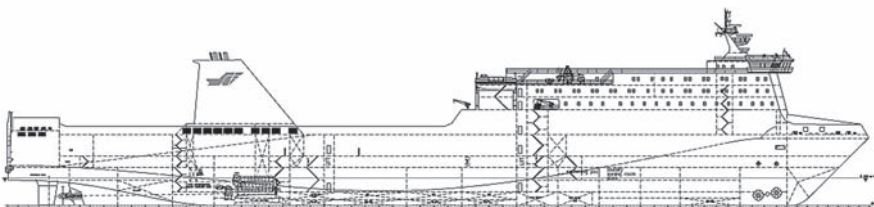


Рис. 6. Проект грузопассажирского парома на 360 пассажиров. Длина – 190,8 м, ширина – 28,0 м, осадка – 9,0 м, водоизмещение – около 20 300 т

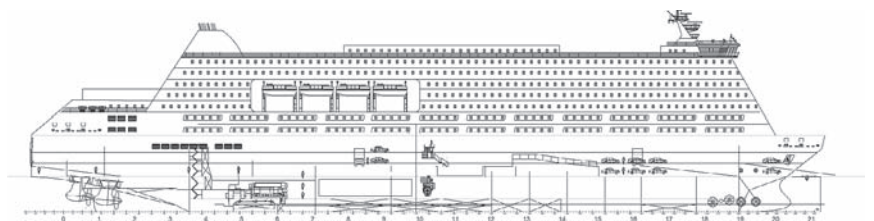


Рис. 7. Проектная проработка круизного парома на 2000 пассажиров, водоизмещением около 40 000 т

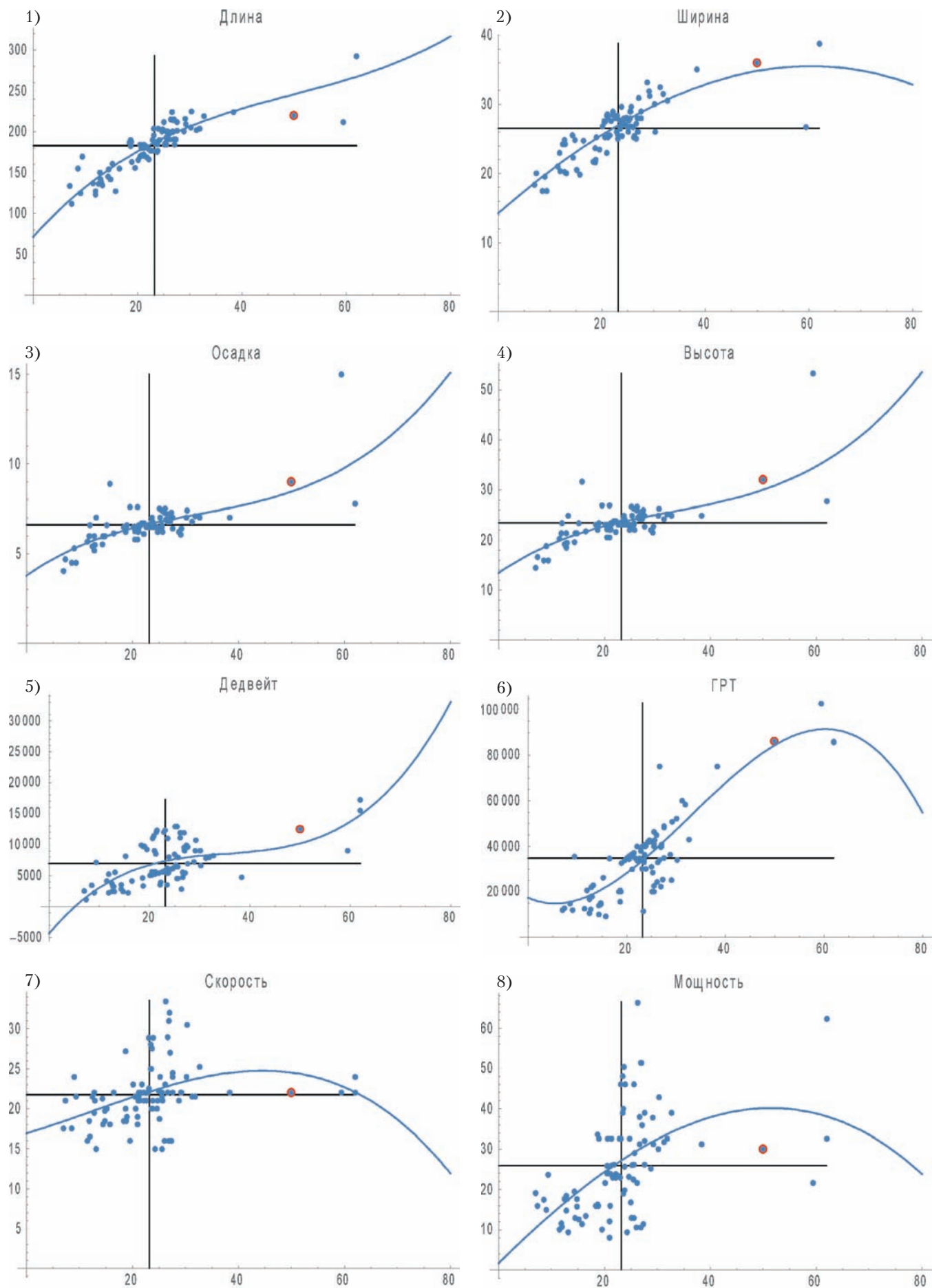


Рис. 8. Обработка статистических данных судов класса «паром»

Здесь на графиках 1–4 по оси x – водоизмещение, тыс. т, а по оси y – длина, ширина, на графиках 5–6 – осадка, высота борта, м, на графиках 7–8 – дедвейт, gross-тоннаж, т, скорость хода, уз, мощность ГЭУ, МВт

следствие, его составных технических и функциональных элементов (рис. 11).

На данном этапе в качестве базового варианта (типоразмера) для грузопассажирских перевозок балтийского и северного направлений предлагается проект судна со следующими тактико-техническими характеристиками: полное водоизмещение – около 40–50 тыс. т, длина – около 200,0 м, ширина – около 32,0 м, осадка – около 9,0 м.

С точки зрения экономической целесообразности скорость современного морского судна данного класса лежит в диапазоне от 18 до 20 уз при заданной мощности ГЭУ (см. график 8 на рис. 8). К тому же, как видно из графика 7, рассматриваемая точка скорости около 30 уз сильно выпадает из общего тренда. Укрупненные проектные расчеты показывают, что для данного судна скорость около 19–20 уз возможна при мощности ГЭУ только на ход около 30 МВт (рис. 12).

В качестве основных движителей в проекте рассматриваются винторулевые колонки, при этом генераторы могут работать как на дизельном топливе, так и на природном газе (СПГ).

ВЫВОДЫ

1. Основные тактико-технические характеристики (параметры) перспективного судна, полученные в результате выполненных проектных проработок, лежат в общем тренде для судов данного класса, что указывает на правильность выбранного направления исследований на данной стадии проектирования.

2. Проектные параметры соответствуют основным трендам и будут уточняться по мере выполнения более детальных проработок отдельных направлений.

3. Выбранный современный архитектурный облик проекта перспективного круизного парома (шифр «Рюрик») позволяет повысить параметры вместимости судна, что благоприятно скажется как на размещении и обслуживании судовых технических средств, так и на достижении требуемого в проекте высокого уровня обитаемости и комфорта пассажиров.

Аэродинамическая обтекаемая форма геометрии корпуса судна также обеспечит экономию топлива на протяжении всего периода эксплуатации.

4. На базе предложенного концептуального облика планируется разработать линейку проектов (типоряд) в рамках данного целевого или смежных (возможно, гибридных) классов, генерируемых на базе параметризованной модели общего расположения судна (т.е. такой компьютерной программы, которая позволяет перестраивать трехмерную модель общего расположения при изменении проектных параметров (например, длины, ширины, осадки, высоты борта и др.) и математической модели,



Рис. 9. Внешний облик перспективного круизного парома (шифр «Рюрик»)

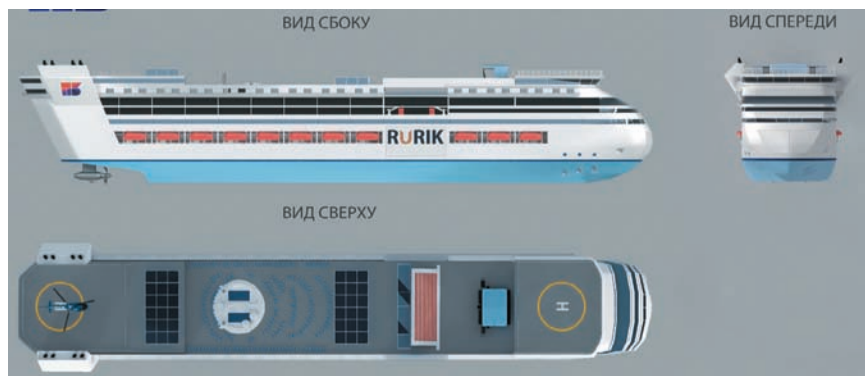


Рис. 10. Виды концептуального облика перспективного круизного парома (шифр «Рюрик»)

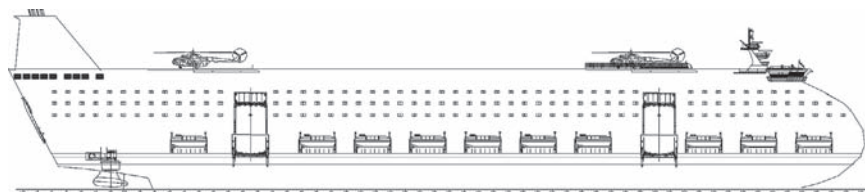


Рис. 11. Вариант компоновки общего расположения (ОР) проекта «Рюрик»

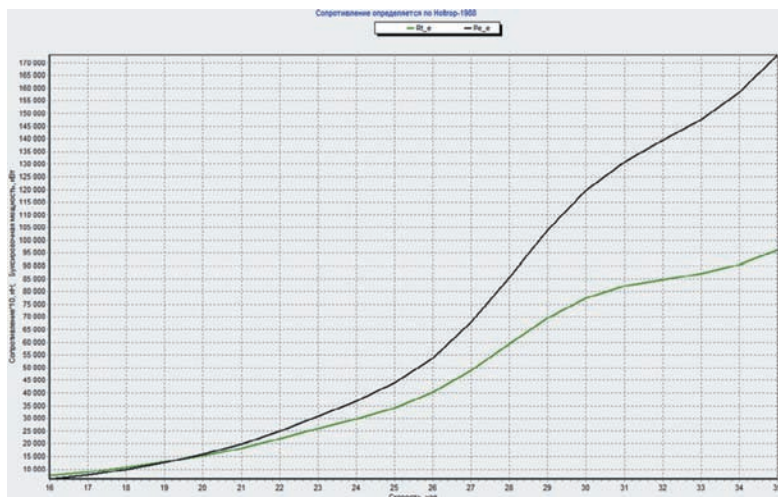


Рис. 12. Расчет буксировочной мощности судна (шифр «Рюрик»)

описывающей изменение ее проектных параметров с учетом действия ограничений при решении задачи оптимизации.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Аших В. В. Проектирование судов. – СПб.: Судостроение, 1985.
2. Будницкий Ю. А. и др. Морские пассажирские суда. – Л.: Судостроение, 1989.
3. Гайкович А. И. Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: Моринтех, 2001.
4. Гайкович А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов. – Т. 1–2. – СПб.: Моринтех, 2001.
5. Логачев С. И., Чугунов В. В. Мировое судостроение. Современное состояние и перспективы развития. – СПб.: Мор Вест, 2009. ■

23 декабря 2019 г. Государственной комиссией был подписан акт о принятии в состав ВМФ головного среднего морского танкера «Академик Пашин» пр. 23130 (рис. 1). Танкер вошел в состав соединения вспомогательных судов Северного флота с базированием в Мурманске.

Место базирования судна выбрано не случайно. Только Северный флот обладает достаточным количеством надводных боевых кораблей и судов различного назначения дальней морской зоны, несущих службу в удаленных районах Мирового океана. Кроме того, близость Арктики с ее запасами углеводородов и Северного морского пути требуют постоянного присутствия в этом регионе сил ВМФ для защиты национальных интересов как залог независимости России в будущем. Оба этих факта диктуют необходимость наличия в составе Северного флота судов, решающих задачи доставки и пополнения запасов жидких и сухих грузов как отдельных кораблей, так и оперативных соединений.

Головной танкер пр. 23130 получил имя в честь заслуженного инженера-кораблестроителя, академика РАН Валентина Михайловича Пашина, выдающегося специалиста в области проектирования и оптимизации кораблей и судов, более 20 лет возглавлявшего ЦНИИ им. А. Н. Крылова – ведущий отраслевой институт в области судостроения.

Средний морской танкер пр. 23130 является одним из самых крупных судов, построенных для ВМФ России на отечественных верфях за последние 30 лет, а также первым судном данного подкласса, построенным за последние 40 лет, способным пополнять и передавать запасы жидких и сухих грузов на корабли и суда в море на ходу, что в существенной степени повышает оперативные возможности ВМФ в дальней морской зоне.

Технический проект этого танкера разработан в Санкт-Петербурге коллективом конструкторского бюро ЗАО «Спецсудопроект» в 2013 г.

Танкер предназначен для приема, хранения, транспортировки и передачи жидких грузов: дизельного топлива,

СРЕДНИЙ МОРСКОЙ ТАНКЕР «АКАДЕМИК ПАШИН»

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Д.В. Жмури, канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник,
А.В. Соколов, зам. начальника отдела,
С.В. Московкина, ст. науч. сотрудник,
НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА»,
контакт. тел. (812) 405 0740



Рис. 1. Средний морской танкер «Академик Пашин» пр. 23130

флотского мазута, авиационного керосина, моторного масла, воды; сухих грузов: продовольствия, шкиперского и технического имущества.

С точки зрения архитектурно-конструктивного типа танкер представляет собой стальное однопалубное судно с форштевнем с бульбовым обтекателем и транцевой кормовой оконечностью, с двойным корпусом в районе грузовых танков, с грузовым трюмом в средней части, кормовым расположением жилой надстройки и машинного отделения, с дизельной одновальной энергетической установкой и с носовым подруливающим устройством (рис. 2).

В целях удешевления и сокращения сроков строительства танкер спроектирован и построен на класс Российского морского регистра судоходства – КМ ⚙ Arc4 1 AUT1 VCS IGS-NG CCO Oil tanker (ESP).

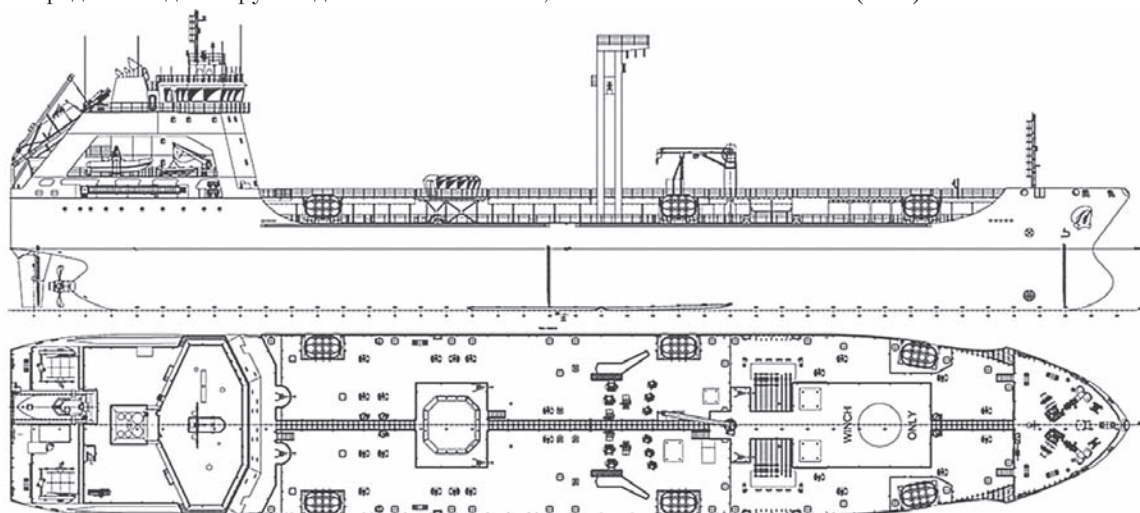


Рис. 2. Общие виды среднего морского танкера пр. 23130

Судно отвечает всем современным требованиям нормативных документов, включая «Санитарные правила для морских судов», положения

Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов МАРПОЛ-73-78, «Правил предотвращение загрязнения атмосферы с судов», «Техническому кодексу по контролю выбросов окислов азота (NOx) из судовых дизелей» и «Требованиям по энергоэффективности судов».

Район плавания танкера – неограниченный.

Основные характеристики судна: длина – 130 м, ширина – 21 м, осадка – 7 м, скорость хода – 16 уз, дальность плавания – 8000 миль, автономность – 60 сут, экипаж – 24 человека.

Конструкция корпуса танкера обеспечивает ему плавание в ледовых условиях в соответствии со знаком в символе класса судна Arc4. Это позволяет эксплуатировать его самостоятельно без ограничения района в неарктических морях; самостоятельно в летне-осеннюю навигацию и ходить под проводкой за ледоколом в зимне-весеннюю навигацию в Баренцевом море.

Главная энергетическая установка (ГЭУ) – дизельная, одновальная. Состав ГЭУ включает два среднеоборотных дизеля, суммирующий редуктор и валопровод. В качестве главных двигателей применены среднеоборотные, четырехтактные, нереверсивные дизели фирмы Wärtsilä, с водяным охлаждением и газотурбинным наддувом с максимальной длительной мощностью порядка 4640 кВт каждый.

Питание судовых потребителей электроэнергии обеспечивается от двух дизель-генераторов фирмы Wärtsilä номинальной мощностью по 750 кВт каждый.

Судно оборудовано системами автоматизации механической установки в соответствии со знаком автоматизации в классе судна AUT1, обеспечивающими маневренность и безопасность судна при всех условиях эксплуатации без постоянного присутствия персонала в машинном отделении.

Для придания судну высоких маневренных свойств при плавании в составе ордеров и в тесных условиях (проливах, каналах и пр.), а также при швартовке предусмотрено носовое подруливающее устройство тоннельного типа.

Для обеспечения кораблей и судов ВМФ на ходу в море жидкими и сухими грузами на танкере предусмотрен комплект устройств для передачи грузов (УПГ). Оборудование из состава УПГ располагается в средней части судна на П-образной мачте и в кормовой части судна на юте.

Устройства позволяют осуществлять одновременную передачу грузов на три корабля (судна) траверзным и кильватерным способами на расстоянии от 50 до 100 м. Траверзным способом возможна передача жидких и сухих грузов на два корабля (судна), идущих побортно параллельными курсами, кильватерным – только жидкие грузы одному кораблю (судну), идущему за кормой танкера.

Передача жидких грузов траверзным и кильватерным способами может осуществляться при движении танкера со скоростью от 10 до 14 уз.

При траверзном способе возможна одновременная передача мазута, дизельного топлива, авиационного топлива, масла, пресной воды с двух бортов. Общая пропускная способность устройства – ок. 400–600 т/ч.

Кильватерным способом осуществляется передача только мазута или дизельного топлива. Пропускная способность устройства – порядка 150 т/ч.

Передача сухих грузов и людей осуществляется траверзным способом посредством специального контейнера грузоподъемностью до 2 т.

В носовой части предусмотрена грузовая площадка для передачи сухих грузов вертолетным способом без его посадки на палубу.

а)



б)



Рис. 3. Испытания УПГ по передаче жидких грузов траверзным способом с каждого борта (а, б) на этапе ЗХИ

Для погрузки/выгрузки грузов в/из грузового трюма как с вертолетной площадки, так и с площадки приема и выдачи грузов траверзным способом на танкере установлен грузовой кран с телескопической стрелой грузоподъемностью 2,7 т с максимальным вылетом стрелы до 20 м.

Строительство танкера «Академик Пашин» осуществлялось Невским судостроительно-судоремонтным заводом в Шлиссельбурге (Ленинградская область). Контракт с Министерством обороны РФ на постройку головного среднего морского танкера пр.а 23130 был подписан 1 ноября 2013 г.

В преддверии его строительства в ООО «Невский судостроительно-судоремонтный завод» были проведены работы по модернизации слипа, что позволило увеличить вес спускаемых судов до 4000 т, а их длину до 150 м.

Закладка танкера была состоялась на заводе 26 апреля 2014 г., а 26 мая 2016 г. он был спущен на воду и переведен к достроечной набережной для окончательной достройки.

Учитывая, что для ООО «Невский судостроительно-судоремонтный завод» это первый крупный военный заказ, а также отсутствие достаточного опыта работы с представителями заказчика, некоторые сложности в поставках комплектующего оборудования и необходимости привлечения различных сил и средств обеспечения ВМФ испытания танкера заняли довольно длительный срок.

17 мая 2018 г. на Ладожском озере на танкере были начаты заводские ходовые испытания, в ходе которых проводилась комплексная проверка главной энергетической установки, навигационного и радиотехнического оборудования, а также проверялись скоростные и маневренные характеристики. После проведения первого этапа заводских ходовых испытаний (ЗХИ) в начале сентября 2018 г. танкер был отбуксирован в Кронштадт для окончательного дооборудования и подготовки ко второму этапу заводских

ходовых испытаний, после чего танкер осуществил переход из Кронштадта в Балтийск.

С 29 сентября 2018 г. начал второй этап ЗХИ, в рамках которых проводилась проверка и отработка основных функциональных устройств судна. Были проведены первые пробы передачи грузов на ходу. В ходе испытаний были задействованы корабли и суда Балтийского флота – большой десантный корабль «Иван Грен», фрегат «Адмирал флота Касатонов», судно связи «Юрий Иванов» и танкер «Кола». Проверялась работоспособность оборудования УПГ с передачей жидких грузов на ходу траверзным способом с каждого борта танкера на фрегат «Адмирал флота Касатонов» (рис. 3, а и б), а также с передачей топлива кильватерным способом (рис. 4). Кроме того, совместно с вертолетами Балтийского флота были отработаны задачи этапа летных испытаний по доставке различных видов грузов на палубу (рис. 5).



Рис. 4. Испытания УПГ по передаче жидких грузов кильватерным способом на этапе ЗХИ



Рис. 5. Испытания устройства передачи сухих грузов вертолетным способом на этапе ЗХИ



Рис. 7. Испытания УПГ по одновременной передаче жидких грузов кильватерным способом на ходу на БПК пр. 1155

С 20 марта 2019 г. танкер приступил к проведению первого этапа государственных испытаний в Балтийском море. В ходе ходовых испытаний была проведена заправка на ходу фрегата «Адмирал флота Касатонов», а также завершены этапы летных испытаний.

С 14 по 19 июля 2019 г. танкер «Академик Пашин» завершил переход из Балтийска в Мурманск к месту постоянного базирования и завершения испытаний. С 16 по 18 августа 2019 г. в Баренцевом море проведено испытание УПГ по передаче жидких грузов на два и три корабля одновременно. Танкер успешно передал жидкие грузы сначала одновременно на два корабля траверзным способом, а затем одновременно на три корабля (рис. 6 и рис. 7).

Кроме того, в рамках первого этапа государственных испытаний была осуществлена передача сухих грузов и людей на ходу траверзным способом на борт судна связи «Юрий Иванов» и обратно с испытательным грузом в 1–2 т (рис. 8). Вместо человека перемещали манекен в кресле (рис. 9).

В начале октября 2019 г. в соответствии с программой государственных испытаний был успешно выполнен этап мореходных испытаний судна. Проверка проводилась в акватории Баренцева моря при состоянии моря от 5 до 7 баллов (рис. 10) и типовом состоянии нагрузки судна (в полном грузу), при различных значениях скорости хода от 10 до 16 уз и курсовых углах по отношению к направлению бега волн.

Испытания полностью подтвердили заложенные в проект танкера мореходные, скоростные и маневренные характеристики.



Рис. 6. Испытания УПГ по одновременной передаче жидких грузов траверзным способом на ходу на фрегат «Адмирал флота Касатонов» и судно связи «Юрий Иванов»



Рис. 8. Проверка работоспособности УПГ при передаче сухих грузов траверзным способом на судно связи «Юрий Иванов»



Рис. 9. Передача манекена траверзным способом на судно связи «Юрий Иванов»

19 октября 2019 г. на завершающем этапе этих испытаний проводилась отработка передачи жидких и сухих грузов на ходу на тяжелый атомный ракетный крейсер (ТАРКР) «Петр Великий» (рис. 11, а и б), что полностью подтвердило работоспособность УПГ и совместимость оборудования систем заправки и передачи грузов с приемными частями кораблей ВМФ, находящихся в постоянной готовности.



Рис. 10. Мореходные испытания танкера пр. 23130

В начале ноября 2019 г. танкер «Академик Пашин» вернулся в Мурманск и встал на ревизию основного оборудова-

ния по результатам испытаний и рекламациям, а также для окончательной отделки, доукомплектования и предъявления Государственной комиссии для подписания приемного акта и передачи его в состав ВМФ.

Длительность проведения всего комплекса испытаний танкера пр. 23130 была обусловлена, во-первых, потребностью восстановить уровень производства и технологий при создании такого типа судов, утраченный за длительное время, во-вторых, необходимостью отработать все режимы работы основного оборудования (включая УПГ) и технических средств и выявить все их слабые места для обеспечения надежности, в том числе при серийном строительстве, после корректировки проектной документации.

а)



б)



Рис. 11. Проверка работоспособности УПГ при передаче жидких грузов (а) и сухих грузов (б) на ТАРКР «Петр Великий»

В заключение следует отметить, что наличие в составе ВМФ новых танкеров пр. 23130 существенно повысит оперативность соединений надводных кораблей в дальней морской зоне. Еще в апреле 2014 г. на церемонии закладки танкера «Академик Пашин» адмирал В. В. Чирков, тогда Главнокомандующий ВМФ России, сказал, что для ВМФ предполагается построить еще четыре таких судна.

В ближайшей перспективе танкеры данного проекта должны будут заменить существующие в составе ВМФ средние морские танкеры типа «Иман», «Кола» и «Дубна», которые морально и физически устарели вследствие значительных сроков эксплуатации – от 35 до 45 лет и не соответствуют современным требованиям к экологической безопасности.

ИСТОЧНИКИ

1. Электронный ресурс – URL: <https://flotprom.ru/2019>
2. Электронный ресурс – URL: <https://vma.mil.ru/Novosti>
3. Электронный ресурс – URL: <https://www.nssz.ru/novosti/2019> ■

Надводный и подводный модули могут быть соединены как гибкой, так и жесткой связью.

Повышенная автономность волнового глайдера достигается благодаря использованию на подводном модуле аппарата нетрадиционной пропульсивной установки – системы колеблющихся крыльев. Вследствие морского волнения, приводящего надводный модуль в качку, подводный модуль совершает вертикальные колебания, которые приводят в движение свободно вращающуюся относительно собственных поперечных осей крыльевую систему. Эта система, имеющая ограничители угла поворота, работая как машущее крыло, создает полезную тягу (рис. 1). Аппарат, не тратя бортовую электроэнергию для передвижения, многократно увеличивает свою автономность.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» (СПбГМТУ) активно занимается разработкой и постройкой опытного образца волнового глайдера для отечественной промышленности и науки. В настоящей работе представлены некоторые результаты экспериментального исследования модели волнового глайдера в опытном бассейне кафедры теории корабля СПбГМТУ.

Проведению экспериментальных испытаний предшествовали теоретические исследования, связанные с математическим и компьютерным моделированием пропульсивных характеристик волнового глайдера. Эти работы, в большой степени связанные с изучением гидродинамики систем типа машущее крыло (работающих как в режиме движителя, так и в режиме устройства извлечения волновой энергии), проводятся в СПбГМТУ с конца 70-х гг. прошлого века [2–9]. Базируясь на выполненных теоретических исследованиях по гидродинамике волнового глайдера [10–14], были определены проектные параметры исследуемого аппарата.

Объект исследования. Исследуемая модель волнового глайдера изготовлена в масштабе 1:3 от своего реального прототипа.

Главные размерения модели

Длина × ширина × высота, мм:

– надводного модуля без стабилизатора 1015 × 224 × 78

– подводного модуля без стабилизаторов 710 × 474 × 70

Количество × размах крыльев подводного модуля, мм 6 × 470

Предельный угол перекалки крыльев, град. ±15

Площади рулей надводного и подводного модулей, м² 0,03 и 0,02

Масса модели в базовом варианте нагрузки, кг 5,6

Фотография исследуемого надводного модуля представлена на рис. 2, а, подводного – на рис. 2, б.

Программа испытаний. Цель испытаний состояла в изучении влияния характерных конструктивных и гидродинамических факторов на процессы эксплуатационного плавания волнового глайдера. Испытания проводились в три этапа:

- исследование сопротивления движению надводного модуля волнового глайдера на тихой воде и встречном регулярном волнении.
- исследование ходовых качеств волнового глайдера в целом с вариацией характеристик поверхностного регулярного волнения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ВОЛНОВОГО ГЛАЙДЕРА

К.Д. Овчинников, канд. техн. наук, ст. преподаватель,

Ю.П. Потехин, канд. техн. наук, доцент,

В.А. Рыжов, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, ФГБОУ ВО СПбГМТУ, контакт. тел. (812) 494 0936

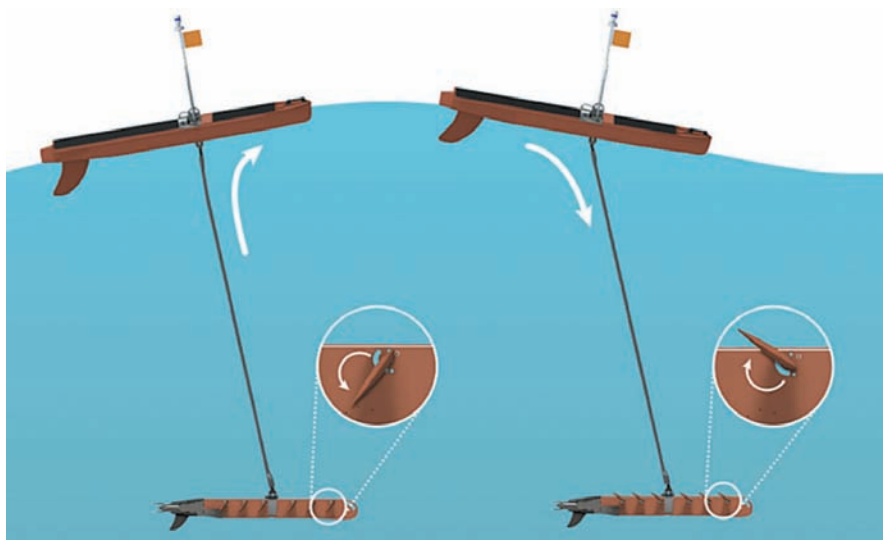


Рис. 1. Принцип движения волнового глайдера [1]

- качественное исследование управляемого движения волнового глайдера с использованием системы радиоуправления.

Работы велись в опытном бассейне кафедры теории корабля СПбГМТУ, имеющем следующие характеристики а)



б)

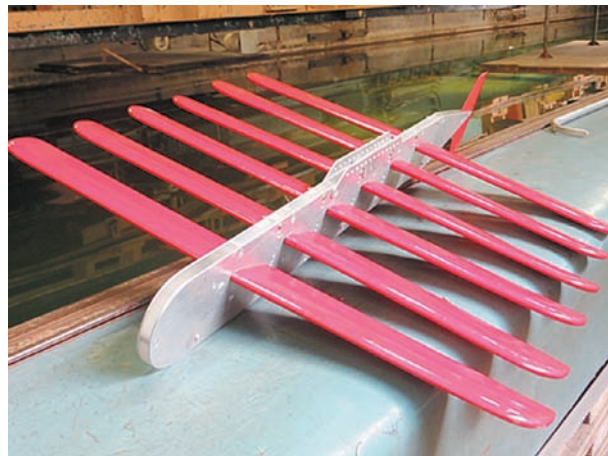


Рис. 2. Модели надводного (а) и подводного (б) модуля волнового глайдера

ки: длина по зеркалу воды – 35,7 м; ширина – 5,5 м; наибольшая глубина воды – 2,5 м. Для создания волнения использовался плунжерный волнопродуктор, у которого волнообразование вызывают возвратно-поступательные вертикальные перемещения частично погруженного тела (плунжера). Регулируя амплитуду и частоту колебаний плунжера, можно получить систему волн различной длины, высоты и частоты [15]. Установленный волнопродуктор может создавать только двухмерное регулярное волнение. Для исследования гидродинамических характеристик моделей в бассейне для буксировки предусмотрены как гравитационная система, так и система типа Фруда.

Испытания изолированного надводного модуля.

Автономные испытания надводного модуля волнового глайдера были выполнены с целью получения данных о его сопротивлении движению в условиях волнения. Как известно, пик дополнительного сопротивления, обусловленного поверхностным волнением, имеет место при длинах волн, равных 1,25–1,75 длины судна при движении вразрез волне. Для модели надводного модуля волнового глайдера это соответствует размерным длинам волн 1,25–1,75 м. По этой причине при проведении эксперимента наибольшее внимание было уделено диапазону коротких волн, не превышающих 2-метрового рубежа.

Значения развиваемой скорости хода модели при осадке $T = 0,037$ м в зависимости от длины встречного регулярного волнения и тяги представлены на рис. 3.

Анализируя данные, представленные на рис. 3, может быть сделан вывод о том, что дополнительное сопротивление от поверхностного волнения зависит весьма существенно. Это означает, что модель волнового глайдера теряет скорость хода при воздействии волн длиной примерно 5 м.

Испытания модели волнового глайдера на прямом ходу. Исследуемая модель волнового глайдера на стартовой позиции бассейна при разгоне волны оказывалась под воздействием целого ряда возмущающих факторов, основными из которых были гидродинамические возмущения от набегающих несформировавшихся волн и реакции удержания модели от преждевременного движения. В итоге начало движения модели сопровождалось действием силовых импульсов, порождающих интенсивное зарывание и уход с заданного курса. Комбинация возмущений носила непредсказуемый характер. По этой причине было необходимо иметь надежное средство стабилизации модели. В итоге обсуждения различных вариантов и пробных прогонов было принято решение использовать упряжку гравитационной буксировочной системы, которая была отключена от связей с падающим грузом. При этом трением системы вследствие его малости можно пренебречь.

Надводный и подводный модули были соединены гибким стальным тросом длиной 1,7 м.

При запуске модели на встречном волнении длиной 1,5 м возникала проблема начала поступательного движения, что связано с пиковым значением дополнительного сопротивления при данной длине волны. Из-за малой продольной составляющей скорости системы угол атаки крыльев превышал критический, что не позволяло выйти на полноценный рабочий режим.

Результаты испытаний на встречном и попутном волнении представлены на рис. 4.

Результаты, представленные на рис. 4, позволяют указать на основные закономерности ходовых качеств волнового глайдера. Как на встречном, так и на попутном волнении увеличение длины и, соответственно, абсолютной высоты волны более 1,5 м ведет к увеличению скорости хода глайдера. Это обусловлено смещением значений уг-

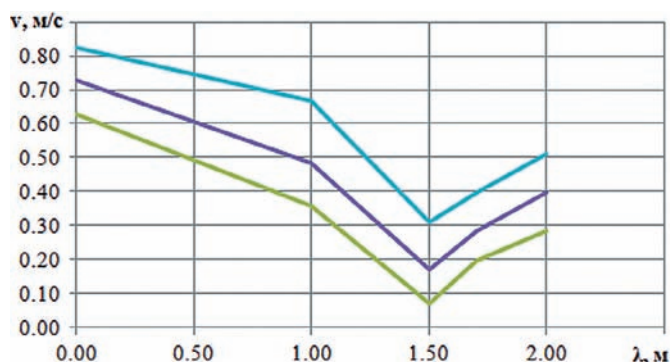


Рис. 3. Скорость модели надводного модуля в зависимости от длины волн и тяги

— $R = 0,29\text{Н}$; — $R = 0,29\text{Н}$; — $R = 0,29\text{Н}$;

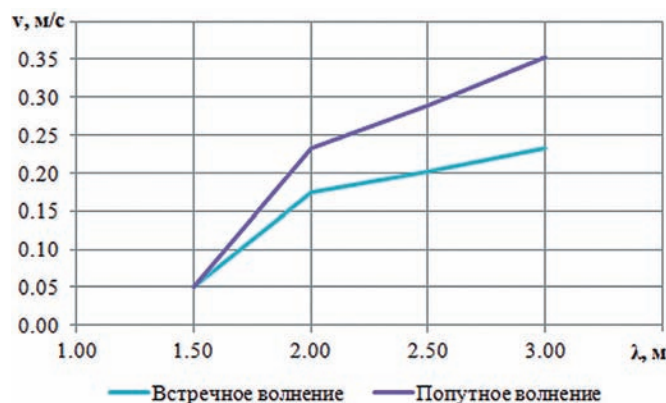


Рис. 4. Скорость модели волнового глайдера в зависимости от направления и длины волн

— встречное волнение; — попутное волнение

лов атаки крыльев в благоприятный диапазон, в котором продольная составляющая гидродинамической реакции, обеспечивающая тягу, становится существенной. Этому способствует и снижение дополнительного сопротивления от волнения.

Испытания радиоуправляемой модели волнового глайдера. Основной целью испытаний самоходной модели волнового глайдера в режиме радиоуправления было изучение работоспособности системы в реальном свободном движении, включая управляемость аппарата. Для этого надводный и подводный модули были снабжены синхронными вертикальными рулями. Поскольку установить на модели подводного модуля рулевую машину не представлялось возможным, руль подводного модуля приводился в движение благодаря гибкой связи с рулем надводного модуля. Руль управления надводного модуля перекладывался с использованием системы радиоуправления.

В ходе эксперимента во всех режимах движения на встречном, попутном, лаговом и косом волнении радиоуправляемая модель волнового глайдера устойчиво держалась на заданном курсе и без затруднений выполняла циркуляцию. Был выполнен контрольный замер скорости хода глайдера в свободном плавании: на встречной волне длиной 3 м скорость хода составила $\sim 0,24$ м/с, что хорошо согласуется с данными, полученными при испытаниях модели в упряжке гравитационной системы, и теоретическими расчетами [14].

По результатам изучения поворотливости можно отметить, что переходы по курсу уверенно реализовывались при любых начальных условиях. Наиболее скоротечными оказались циркуляции, совершаемые при начальном движении на встречном, лаговом или косом волнении под волну. При переходах с попутного

волнения на встречное циркуляции реализовывались достаточно устойчиво, но тактический диаметр заметно зависел от начальных условий, меняясь в пределах от 3,5 до 5,5 длин корпуса. Меньшие диаметры отвечали случаю входа в поворот с вершины волны.

Может быть сделан вывод, что полученные характеристики поворотливости волнового глайдера вполне согласуются с требованиями, предъявляемыми к обычным водоизмещающим судам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное экспериментальное исследование характеристик волнового глайдера позволило получить следующие выводы:

1. Для движения данной модели волнового глайдера наиболее неблагоприятны длины волн равные ~1,5 длины корпуса.

2. При увеличении длины поверхностного волнения (в исследуемом диапазоне) скорости хода модели волнового глайдера возрастали. Это обусловлено улучшением гидродинамической картины обтекания крыльев и снижением дополнительного сопротивления.

3. Результаты замеров скорости хода при испытаниях модели волнового глайдера в свободном плавании и в упряжке гравитационной системы практически не различались, что указывает на возможность изучения гидродинамических характеристик волновых глайдеров в контакте с буксировочными системами опытовых бассейнов.

4. В свободном плавании волновой глайдер обладает достаточной устойчивостью на заданном курсе при любом расположении относительно фронта волны.

5. При исследуемой конфигурации системы управления модели волнового глайдера были получены характеристики поворотливости, которые вполне соответствуют требованиям, предъявляемыми к обычным водоизмещающим судам.

На основании полученных результатов определены темы исследований, которым будет уделено внимание при выполнении дальнейших работ:

- влияние длины и жесткости связи между надводным и подводным модулями на тяговые характеристики аппарата;
- влияние характеристики аппарата;
- влияние числа крыльев и их предельных значений углов перекаладки на тяговые характеристики аппарата;
- влияние альтернативных систем управления на характеристики поворотливости волнового глайдера.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.liquid-robotics.com> – Дата использования интернет-ресурса 20.04.2020 г.
2. *Рожdestvensкий К. В., Рыжов В. А.* Математические модели в теории машущего крыла. – Л.: Изд. ЛКИ, 1985.
3. *Рожdestvensкий К. В., Рыжов В. А., Курапов А. Л.* Анализ гидродинамических характеристик энергосберегающих крыльевых систем. – Тр. ЦНИИ морского флота, 1992, с. 71–79.
4. *Rozhdestvensky K. V., Ryzhov V. A., Kurapov A. L.* Hydrodynamic Design of Propulsion System Based on Oscillating Wings. – INEC 94: Cost Effective Maritime Defence, London, 1994, Paper 21, P.21.1–21.7.
5. *Rozhdestvensky K. V., Ryzhov V. A.* Hydrodynamic Design of Thrust Generators Based on Oscillating Wings. – 20 Symposium on Naval Hydrodynamics, Santa-Barbara, 1994, p.159–176.
6. *Гордон П. В., Рыжов В. А.* Гидродинамика упругого крыла-двигателя. Нелинейная модель // Тр. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова: Актуальные вопросы гидродинамики и проектирования судов. – 1997. – № 7. – С. 45–57.
7. *Rozhdestvensky K. V., Ryzhov V. A.* Aerohydrodynamics of Flapping Wing Propulsors // Progress in aerospace sciences. – 2003. – Vol. 39. – P. 585–633.
8. *Rozhdestvensky K. V., Ryzhov V. A.* Flapping-Wing Propulsion. – McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology, 2005.
9. *Rozhdestvensky K. V., Ryzhov V. A., Tarasov S. V.* LES Analysis of the MEMS Actuated Flapping Wing Biomimetic Propulsor. – Proceedings of International Maritime Conference 22–24 June 2010 «MAST Americas 2010», Washington DC, USA.
10. *Кожемякин И. В., Потехин Ю. П., Рожdestvensкий К. В., Рыжов В. А.* Волновой глайдер, как элемент морской глобальной информационно-измерительной системы. – Мат-лы десятой науч.-практ. конф. «Перспективные системы и задачи управления». – Таганрог: Изд. ЮФУ, 2015, с. 111–120.
11. *Рожdestvensкий К. В.* Оценка тяги и скорости волнового глайдера на основе упрощенной математической модели // Морской вестник. – 2016. – № 3 (59). – С. 95–98.
12. *Рожdestvensкий К. В.* Математическая модель машущего крыла для задач моделирования судов, движимых энергией волн // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 1 (43). – С. 46–51.
13. *Никущенко Д. В., Рыжов В. А., Тряскин Н. В.* Моделирование гидродинамических характеристик волнового глайдера. – Сборник трудов XII Всеросс. съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, 19–24 августа 2019 г., Уфа, Республика Башкортостан, Россия. – В 4 т. – Т. 2: Механика жидкости и газа, с. 198.
14. *Кожемякин И. В., Никущенко Д. В., Рыжов В. А., Овчинников К. Д., Тряскин Н. В.* Разработка волнового глайдера СПбГМТУ: моделирование, проектирование, постройка. – Marine Robotics 2017/20196 International Conferences on Marine Robotics in Ocean Exploration, Saint-Petersburg, Russia. – Collection of Papers. Тр. Международ. конфер. по морской робототехнике для освоения океана, СПбГМТУ, 2019, с. 232–238.
15. *Борисов Р. В., Семенова В. Ю.* Качка корабля: учеб. пособие / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Р. В. Борисова. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2015. – 93 с. ■

А для описания физических явлений и процессов в механике жидкости и газа используются достаточно развитый математический аппарат. В конце XX в. эта наука излагалась разными авторами по-разному – как на базе координатного, так и векторного методов. Вопрос о том, какому методу изложения следует отдать предпочтение, был источником дискуссий. Академик А.Н. Крылов был противником векторного исчисления,

приводя в защиту своего мнения достаточно веские аргументы. С другой стороны, Кельвин (У.Томсон) считал, что «векторы сберегают мел и расходуют мозг». В итоге в науке не отдано предпочтение ни одному из этих методов, они используются в зависимости от конкретной решаемой задачи. При изложении курса гидродинамики векторное исчисление нашло широчайшее применение [1–3]. В дальнейшем, в конце XX в. и начале XXI в., оно было расширено за счет использования тензорных методов при записи уравнений гидродинамики и проведении необходимых выкладок для их получения. Разумеется, при выполнении конкретных числовых расчетов от бескоординатных методов тензорного исчисления, широко используемых ныне в научной литературе [3–5,9], следует переходить к координатной форме записи.

Для изображения состояний и процессов в механике сплошных сред используются трехмерное евклидово пространство с различными системами координат и классическое время. Выбор систем координат произволен и не должен сказываться на физических следствиях получаемых уравнений. Математические объекты, характеризующие физические явления, не должны зависеть от частного выбора системы координат, а физические законы должны выражаться через эти объекты математическими соотношениями, инвариантными относительно преобразований системы координат. Такими математическими объектами в механике сплошных сред являются тензоры различных рангов, а физические законы в ней имеют вид тензорных соотношений. Математическим аппаратом механики сплошных сред являются тензорная алгебра и анализ.

1. ТЕНЗОРНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ

В настоящее время наибольшее распространение получает так называемое прямое тензорное исчисление, ведущее начало от Гиббса и рассматривающее тензор как самостоятельный объект, над которым можно производить определенные операции – в отличие от эйнштейновской трактовки тензора как объекта, над компонентами которого можно производить определенные действия. При прямом тензорном исчислении тензор как самостоятельный объект (в бескоординатной форме), существует независимо от системы координат и фигурирует в уравнениях механики [1, 4]. При этом имеет место компактность записи и ее инвариантность, что позволяет легко просматривать структуру соотношений и их физический смысл. Это выгодно отличает прямое тензорное исчисление от эйнштейновского подхода, для которого характерна так называемая «вакханалия» индексов.

Замечание 1. Тензорная символика прямого (бескомпонентного) тензорного исчисления проста и удобна. Векторы и тензоры обозначаются соответствующими буквами, записанные жирным шрифтом, например вектора **a**, тензор второго ранга **A** и т.д. Если ранг тензора отличается от двух, то он, как правило, помечается слева от обозначения тензора. В таком случае ${}^3A, {}^4B$ – тензоры третьего и четвертого рангов, соответственно (их не следует путать с A^3 и B^4 – третьей и четвертой степенями тензоров второго ранга **A** и **B**). Для перехода к компонентной форме записи выбирается система координат и тем самым определяются базисные элементы $\vec{e}_i$, $i=1,2,3$ для трехмерного

ТЕНЗОРНЫЙ ВЗГЛЯД НА ЗАДАЧИ ГИДРОДИНАМИКИ

ЧАСТЬ 1

Ш.Г. Алиев, д-р техн. наук, проф.,

генеральный конструктор САПР ОКБ «Дагдизель», г. Махачкала,
В.А.Павловский, д-р физ.-матем. наук, проф. г. Санкт-Петербург,
контакт. тел. +7 (967) 931 6365, (812) 742 1819

евклидова пространства. При этом используется индексная форма записи и правило суммирования Эйнштейна по двум повторяющимся индексам в одночленном выражении. Любой тензор может быть представлен в виде разложения по своему базису, причем для случая произвольного базиса возникают ко- и контравариантные компоненты тензоров [7,8], для обозначения которых приходится использовать как верхние, так и нижние индексы. Однако в случае использования декартовой прямоугольной системы координат разница между ко- и контравариантными компонентами пропадает, и тогда нет необходимости в использовании верхних индексов. Тогда вектор $\vec{a}$ в этом случае можно представить в виде разложения по базису как $\vec{a} = a_i \vec{e}_i$, где индекс i пробегает при суммировании значения $i=1,2,3$. Компонента вектора представляет собой проекцию его на направление базисного вектора: $a_i = \vec{a} \cdot \vec{e}_i$, где точка – символ скалярного произведения.

Базисными элементами тензора 2-го ранга являются базисные диады $\vec{e}_i \otimes \vec{e}_j$, $i, j=1,2,3$, составленные из тензорного (диадного) произведения базисных векторов и в которых знак $\otimes$ – символ такого тензорного произведения. Тензор **A**, так же как и вектор **a**, может быть записан в виде разложения по своим базисным элементам:

$$A = A_{ij} \vec{e}_i \otimes \vec{e}_j. \quad (1.1)$$

Примечание 1. Очень часто символ $\otimes$ тензорного произведения опускают и пишут проще, например как $A = A_{ij} \vec{e}_i \vec{e}_j$. Поэтому в дальнейшем по тексту при записи тензорного произведения векторов этот знак будет, как правило, опускаться. Компоненты тензора **A** легко вычисляются (по аналогии с вектором) через скалярные произведения его с базисными векторами:

$$A_{ij} = \vec{e}_i \cdot A \cdot \vec{e}_j. \quad (1.2)$$

Замечание 2. Тензор 2-го ранга можно трактовать как линейный оператор, переводящий векторы в векторы: $a \cdot A = b$.

Замечание 3. Тензоры более высокого ранга по аналогии записываются в виде разложения по базисным полиадам $\vec{e}_i \otimes \vec{e}_j \otimes \dots \otimes \vec{e}_l$, в которых тензорными произведениями связаны n векторов базиса, где n – ранг тензора; при этом $i, j, \dots, l=1,2,3$. Здесь же нелишнее подчеркнуть, что число базисных векторов $\vec{e}_i$ в базисных элементах рассматриваемого тензора равно его рангу. Отсюда понятна трактовка вектора как тензора 1-го ранга, а скаляра – как нулевого.

Замечание 4. Дельта Кронекера, по определению

$$\delta_{ij} = \{1, \text{ если } i=j; 0, \text{ если } i \neq j\} \quad (1.3)$$

Единичным тензором для декартовой прямоугольной системы координат является тензор

$$\underline{E} = \delta_{ij} \vec{e}_i \vec{e}_j. \quad (1.4)$$

Замечание 5. Тензор Леви-Чивита – тензор 3-го ранга ${}^3\varepsilon$ в компонентном виде, в декартовой прямоугольной системе координат может быть представлен в виде ${}^3\varepsilon = \varepsilon_{ijk} \vec{e}_i \vec{e}_j \vec{e}_k$, где ε_{ijk} – компоненты этого тензора, равные единице, если (ijk) представляют собой четную перестановку индексов (1, 2, 3) и равные –1, если нечетную. Эти компоненты являются нулями в остальных случаях, когда хотя бы два индекса одинаковы. (компоненты $\varepsilon_{123} = \varepsilon_{231} = \varepsilon_{321} = 1$, $\varepsilon_{132} = \varepsilon_{321} = \varepsilon_{213} = -1$, остальные равны нулю).

Алгебра тензоров сводится к рассмотрению некоторых простейших операций, среди них важную роль играет ска-

лярное произведение тензоров. Например, если скалярно умножить тензор $\mathbf{A}$ на вектор $\mathbf{B}$, то получим новый тензор $\mathbf{C}$. В компонентной форме эта операция выглядит следующим образом. Пусть в выбранном базисе $\mathbf{e}_i$ тензор $\mathbf{A}$ представлен через свои компоненты, а тензор $\mathbf{B}$ – через свои, тогда

$$\begin{aligned} \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} &= A_{ij} e_i e_j \cdot B_{kl} e_k e_l = A_{ij} B_{kl} (e_j \cdot e_k) e_i e_l = \\ &= A_{ij} B_{kl} \delta_{jk} e_i e_l = A_{ij} B_{il} e_i e_l. \end{aligned} \quad (1.5)$$

В результате получается тензор 2-го ранга. Это иллюстрирует известное правило: скалярное произведение уменьшает суммарный ранг перемножаемых тензоров на 2 (например, для векторов произведение $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ есть скаляр). Эта операция позволяет вводить в рассмотрение степени тензоров, например $\mathbf{A}^2 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{A}$, $\mathbf{A}^3 = \mathbf{A}^2 \cdot \mathbf{A}$ и т. д., очевидно, $\mathbf{B} \cdot \mathbf{A} \neq \mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$, $\mathbf{a} \cdot \mathbf{A} \neq \mathbf{A} \cdot \mathbf{a}$ и т.д.

Двойное скалярное произведение тензоров уменьшает суммарный ранг на 4. Например, для тех же самых тензоров это произведение обозначается как $\mathbf{A} : \mathbf{B}$, есть скаляр:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} : \mathbf{B} &= A_{ij} e_i e_j \cdot B_{kl} e_k e_l = A_{ij} B_{kl} (e_j \cdot e_k) (e_i \cdot e_l) = \\ &= A_{ij} B_{kl} \delta_{jk} \delta_{il} = A_{ij} B_{ji}. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Из других простейших операций следует упомянуть операцию транспортирования тензора 2-го ранга (эта операция обозначается символом $\mathbf{T}$). Так, как есть некоторый тензор $\mathbf{A}$, то после транспортирования его получается новый тензор $\mathbf{A}^T$, причем имеет место равенство $\mathbf{a} \cdot \mathbf{A} = \mathbf{a} \cdot \mathbf{A}^T$, где $\mathbf{a}$ – произвольный вектор. В компонентной форме результат транспортирования отражается в замене строк на столбцы в матрице компонент исходного тензора. Так, если $\mathbf{A} = A_{ij} e_i e_j$, то $\mathbf{A}^T = A_{ji} e_i e_j$. Тензор называют симметричным, если $\mathbf{A} = \mathbf{A}^T$.

Широко используется в механике сплошных сред, особенно при рассмотрении инвариантов симметричных тензоров 2-го ранга, понятие следа тензора, сопоставляющего ему инвариантным образом некоторое число. След тензора $\mathbf{A}$ (обозначается как $\text{tr} \mathbf{A}$) есть по определению двойная свертка этого тензора с единичным:

$$\text{tr} \mathbf{A} = \mathbf{A} : \mathbf{E} = \mathbf{E} : \mathbf{A}. \quad (1.7)$$

Этот скаляр полезно расписать и в компонентной форме:

$$\text{tr} \mathbf{A} = A_{ii},$$

что указывает на суммирование диагональных элементов матрицы компонент.

Скалярное произведение базисных векторов дает дельту Кронекера:

$$\bar{\mathbf{e}}_i \cdot \bar{\mathbf{e}}_j = \delta_{ij}, \quad (1.8)$$

а векторное – новый вектор, компоненты которого выражаются через компоненты тензора Леви–Чивита:

$$\bar{\mathbf{e}}_i \times \bar{\mathbf{e}}_j = \varepsilon_{kij} \bar{\mathbf{e}}_k. \quad (1.9)$$

Примечание 2. В дальнейшем будем использовать только декартов прямоугольный базис. Все результаты, полученные при проведении выкладок в декартовой прямоугольной системе координат, справедливы и для любой другой координатной системы.

При прямом тензорном исчислении в тензорном анализе широко используется вектор Гамильтона ∇ (набла), который определяется как

$$\nabla = \mathbf{e}_k (\partial / \partial x_k). \quad (1.10)$$

В декартовой прямоугольной системе координат при применении дифференциального оператора $\partial / \partial x_k$ к тензору этот оператор воздействует только на его компоненты. С помощью вектора ∇ определяются все дифференциальные операции над тензорами, в том числе градиент, дивергенция и ротор. При этом запись $\nabla \mathbf{a}, \nabla \mathbf{A}$ – это не только просто символическое обозначение градиента вектора или градиента тензора 2-го ранга $\mathbf{A}$ соответственно, но она указывает и ранг нового тензора (повышается на 1 за счет того, что исходный тензор фактически тензорно (диадно) умножается на тензор 1-го ранга ∇). Также тем самым указывается и процедура вычисления этого градиента – применение к исходному тензору оператора $\partial / \partial x_k$, содержащегося в векторе ∇ . Точно так же запись

$\nabla \cdot \mathbf{a}, \nabla \cdot \mathbf{A}$ – это не только символические обозначения дивергенции вектора и тензора, но и указание необходимой для ее вычисления процедуры. Эта процедура состоит в скалярном произведении вектора ∇ на исходный тензор, причем оператор $\partial / \partial x_k$ в декартовом базисе действует опять-таки только на компоненты, но не на исходный базис. Очевидно, что дивергенция тензора есть объект, имеющий ранг, меньший на 1 по сравнению с рангом этого исходного тензора. Аналогичным образом можно трактовать и векторное произведение $\nabla \times \mathbf{a}$ – ротор вектора $\mathbf{a}$, $\nabla \times \mathbf{A}$ – ротор тензора $\mathbf{A}$ и т. д. После применения операции ротора ранг полученного объекта остается равным рангу тензора.

В гидродинамике используется понятие материальной (субстанциональной, эйлеровой) производной по времени, состоящей из локальной и конвективной частей:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (\bar{\mathbf{v}} \cdot \nabla),$$

где $\bar{\mathbf{v}}$ – вектор скорости жидкой частицы в рассматриваемой точке потока.

Примечание 3. В механике сплошных сред используют 2 системы отсчета – пространственную (эйлерову) и материальную (лагранжеву). В первом случае при изучении поведения материала следят за процессами, происходящими в фиксированной точке пространства, а во втором – за процессами, происходящими с фиксированной материальной частицей. В подходе Эйлера базис фиксированной точки не меняется с течением времени, а при подходе Лагранжа он связан с материальной частицей и изменяется во времени, деформируется вместе с ней [7]. В последнем случае говорят о так называемом «вмороженном» базисе, движущемся и деформирующемся вместе с частицей. Этот базис по своему смыслу аналогичен естественному базису Френе, используемому в теоретической механике и отличающемуся от него лишь тем, что в процессе движения он испытывает деформации и из исходного ортогонального превращается в косоугольный. Важно отметить, что в случае лагранжевой системы отсчета вместо $\frac{d}{dt}$ в левой части уравнения будет стоять оператор $\frac{\partial}{\partial t}$. Здесь следует подчеркнуть, что оператор $\frac{\partial}{\partial t}$ лагранжевой системы отсчета и $\frac{\partial}{\partial t}$, имеющиеся также в эйлеровой, несмотря на их совпадение в обозначении, разные, что связано с самим понятием материальной производной, играющим ключевую роль в механике сплошных сред. Это приводит к тому, что при подходе Эйлера векторы базиса по времени не дифференцируются:

$$\partial \mathbf{v} / \partial t = \partial / \partial t (\mathbf{v}^i \mathbf{e}_i) = (\partial \mathbf{v}^i / \partial t) \mathbf{e}_i,$$

в то время как при подходе Лагранжа

$$\partial \mathbf{v} / \partial t = (\partial \mathbf{v}^i / \partial t) \mathbf{e}_i + \mathbf{v}_i (\partial_i \mathbf{e} / \partial t).$$

Смысл второго слагаемого последнего выражения виден из примера движения сплошной среды по окружности – он характеризует нормальное ускорение частицы. В механике твердого деформируемого тела наиболее употребителен подход Лагранжа, в механике жидкости – Эйлера.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА ТЕНЗОРНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

При записи тензорных соотношений удобно использовать переход к компонентной форме записи исходных выражений в декартовой прямоугольной системе координат, выполнение необходимых выкладок и последующей записи их результатов в бескомпонентном виде. Рассмотрим эти процедуры при выборе следующих формул:

1) $\text{grad}(\bar{\mathbf{a}} \cdot \bar{\mathbf{b}})$.

Докажем равенство

$$\bar{\nabla}(\bar{\mathbf{a}} \cdot \bar{\mathbf{b}}) = \bar{\nabla} \bar{\mathbf{a}} \cdot \bar{\mathbf{b}} + \bar{\nabla} \bar{\mathbf{b}} \cdot \bar{\mathbf{a}}.$$

Левая часть в компонентном виде

$$\bar{\nabla}(\bar{\mathbf{a}} \cdot \bar{\mathbf{b}}) = \bar{\mathbf{e}}_k \frac{\partial}{\partial x_k} a_i b_i = b_i \frac{\partial a_i}{\partial x_k} \bar{\mathbf{e}}_k + a_i \frac{\partial b_i}{\partial x_k} \bar{\mathbf{e}}_k.$$

Правая часть приводит к тому же результату:

$$\begin{aligned}\bar{\nabla} \bar{a} \cdot \bar{b} + \bar{\nabla} \bar{b} \cdot \bar{a} &= \frac{\partial a_i}{\partial x_k} \bar{e}_k \bar{e}_i \cdot b_j \bar{e}_j + \frac{\partial b_i}{\partial x_k} \bar{e}_k \bar{e}_i \cdot a_j \bar{e}_j = \\ &= \frac{\partial a_i}{\partial x_k} b_j \bar{e}_k \delta_{ij} + \frac{\partial b_i}{\partial x_k} a_j \bar{e}_k \delta_{ij} = b_i \frac{\partial a_i}{\partial x_k} \bar{e}_k + a_i \frac{\partial b_i}{\partial x_k} \bar{e}_k.\end{aligned}$$

Если $\bar{a} = \bar{b} = \bar{\nabla}$, то

$$\bar{\nabla}(\bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla}) = 2 \bar{\nabla} \bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla}.$$

Отсюда

$$\text{grad} \frac{V^2}{2} = \bar{\nabla} \bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla}. \quad (2.1)$$

2) $\text{div}(\bar{a} \times \bar{b})$.

$$\begin{aligned}\bar{\nabla} \cdot (\bar{a} \times \bar{b}) &= \bar{e}_k \frac{\partial}{\partial x_k} (a_i \bar{e}_i \times b_j \bar{e}_j) = \bar{e}_k \frac{\partial}{\partial x_k} a_i b_j \varepsilon_{sij} \bar{e}_s = \frac{\partial}{\partial x_k} a_i b_j \delta_{ks} \varepsilon_{sij} = \\ &= \varepsilon_{kij} \frac{\partial}{\partial x_k} a_i b_j = \varepsilon_{1ij} \frac{\partial}{\partial x_1} a_i b_j + \varepsilon_{2ij} \frac{\partial}{\partial x_2} a_i b_j + \varepsilon_{3ij} \frac{\partial}{\partial x_3} a_i b_j = \varepsilon_{123} \frac{\partial}{\partial x_1} a_2 b_3 + \\ &+ \varepsilon_{132} \frac{\partial}{\partial x_1} a_3 b_2 + \varepsilon_{231} \frac{\partial}{\partial x_2} a_3 b_1 + \varepsilon_{213} \frac{\partial}{\partial x_2} a_1 b_3 + \varepsilon_{312} \frac{\partial}{\partial x_3} a_1 b_2 + \\ &+ \varepsilon_{321} \frac{\partial}{\partial x_3} a_2 b_1 = \frac{\partial}{\partial x_1} (a_2 b_3 - a_3 b_2) + \frac{\partial}{\partial x_2} (a_3 b_1 - a_1 b_3) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial x_3} (a_1 b_2 - a_2 b_1) = a_1 \left(\frac{\partial b_2}{\partial x_3} - \frac{\partial b_3}{\partial x_2} \right) + \\ &+ a_2 \left(\frac{\partial b_3}{\partial x_1} - \frac{\partial b_1}{\partial x_3} \right) + a_3 \left(\frac{\partial b_1}{\partial x_2} - \frac{\partial b_2}{\partial x_1} \right) + b_1 \left(\frac{\partial a_3}{\partial x_2} - \frac{\partial a_2}{\partial x_3} \right) + \\ &+ b_2 \left(\frac{\partial a_1}{\partial x_3} - \frac{\partial a_3}{\partial x_1} \right) + b_3 \left(\frac{\partial a_2}{\partial x_1} - \frac{\partial a_1}{\partial x_2} \right) = \bar{b} \cdot (\bar{\nabla} \times \bar{a}) - \bar{a} \cdot (\bar{\nabla} \times \bar{b}).\end{aligned}$$

Тем самым для этой скалярной величины имеем

$$\bar{\nabla} \cdot (\bar{a} \times \bar{b}) = \bar{b} \cdot (\bar{\nabla} \times \bar{a}) - \bar{a} \cdot (\bar{\nabla} \times \bar{b}),$$

т.е.

$$\text{div}(\bar{a} \times \bar{b}) = \bar{b} \cdot \text{rot} \bar{a} - \bar{a} \cdot \text{rot} \bar{b}. \quad (2.2)$$

3) $\text{rot}(\bar{a} \times \bar{b})$

$$\bar{\nabla} \times (\bar{a} \times \bar{b}) = \bar{e}_k \frac{\partial}{\partial x_k} a_i \bar{e}_i \times b_j \bar{e}_j = \bar{e}_k \frac{\partial}{\partial x_k} a_i b_j \varepsilon_{sij} \bar{e}_s = \varepsilon_{sij} \varepsilon_{tks} \frac{\partial}{\partial x_k} a_i b_j \bar{e}_t.$$

При $t = 1$ имеем для этой компоненты вектора:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{sij} \varepsilon_{1ks} \frac{\partial}{\partial x_k} a_i b_j &= \varepsilon_{3ij} \frac{\partial}{\partial x_2} a_i b_j - \varepsilon_{2ij} \frac{\partial}{\partial x_3} a_i b_j = \\ &+ \frac{\partial}{\partial x_2} a_1 b_2 - \frac{\partial}{\partial x_2} a_2 b_1 - \frac{\partial}{\partial x_3} a_3 b_1 - \frac{\partial}{\partial x_3} a_1 b_3.\end{aligned}$$

После дифференцирования произведений компонент, добавления и вычитания величин $b_1 \frac{\partial a_1}{\partial x_1}$ и $a_1 \frac{\partial b_1}{\partial x_1}$ с последующей группировкой слагаемых, получаем для проекции вектора на ось с базисным вектором:

$$\begin{aligned}a_1 \left(\frac{\partial b_1}{\partial x_1} + \frac{\partial b_2}{\partial x_2} + \frac{\partial b_3}{\partial x_3} \right) - \left(a_1 \frac{\partial b_1}{\partial x_1} + a_2 \frac{\partial b_2}{\partial x_2} + a_3 \frac{\partial b_3}{\partial x_3} \right) + \\ + \left(b_1 \frac{\partial a_1}{\partial x_1} + b_2 \frac{\partial a_2}{\partial x_2} + b_3 \frac{\partial a_3}{\partial x_3} \right) - b_1 \left(\frac{\partial a_1}{\partial x_1} + \frac{\partial a_2}{\partial x_2} + \frac{\partial a_3}{\partial x_3} \right).\end{aligned}$$

Аналогичным образом можно получить компоненты этого вектора при базисных векторах $\bar{e}_2$ и $\bar{e}_3$ (при $t=2$ и $t=3$, соответственно). В итоге имеем для данного вектора

$$\bar{\nabla}(\bar{a} \times \bar{b}) = (\bar{b} \cdot \bar{\nabla}) \bar{a} - \bar{b}(\bar{\nabla} \cdot \bar{a}) + \bar{a}(\bar{\nabla} \cdot \bar{b}) - (\bar{a} \cdot \bar{\nabla}) \bar{b}.$$

или

$$\text{rot}(\bar{a} \times \bar{b}) = (\bar{b} \cdot \bar{\nabla}) \bar{a} - \bar{b} \text{div} \bar{a} + \bar{a} \text{div} \bar{b} - (\bar{a} \cdot \bar{\nabla}) \bar{b}. \quad (2.3)$$

4) $\text{grad}(\bar{a} \times \bar{b})$

Для этого тензора 2-го ранга его представление в компонентной форме будет

$$\bar{\nabla}(\bar{a} \times \bar{b}) = \bar{e}_i \frac{\partial}{\partial x_i} (a_k \bar{e}_k \times b_s \bar{e}_s) = \bar{e}_i \frac{\partial}{\partial x_i} a_k b_s \varepsilon_{jks} \bar{e}_j = \varepsilon_{jks} \frac{\partial}{\partial x_i} a_k b_s \bar{e}_i \otimes \bar{e}_j.$$

Придавая индексам i, j значения 1, 2, 3, получаем матрицу компонент этого тензора

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial c_1}{\partial x_1} & \frac{\partial c_2}{\partial x_1} & \frac{\partial c_3}{\partial x_1} \\ \frac{\partial c_1}{\partial x_2} & \frac{\partial c_2}{\partial x_2} & \frac{\partial c_3}{\partial x_2} \\ \frac{\partial c_1}{\partial x_3} & \frac{\partial c_2}{\partial x_3} & \frac{\partial c_3}{\partial x_3} \end{pmatrix}, \quad (2.4)$$

где обозначено

$$\begin{aligned}c_1 &= a_2 b_3 - a_3 b_2; \\ c_2 &= a_3 b_1 - a_1 b_3; \\ c_3 &= a_1 b_2 - a_2 b_1.\end{aligned}$$

В обычных обозначениях эта матрица

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial c_x}{\partial x} & \frac{\partial c_y}{\partial x} & \frac{\partial c_z}{\partial x} \\ \frac{\partial c_x}{\partial y} & \frac{\partial c_y}{\partial y} & \frac{\partial c_z}{\partial y} \\ \frac{\partial c_x}{\partial z} & \frac{\partial c_y}{\partial z} & \frac{\partial c_z}{\partial z} \end{pmatrix}, \quad \begin{aligned}c_x &= a_y b_z - a_z b_y; \\ c_y &= a_z b_x - a_x b_z; \\ c_z &= a_x b_y - a_y b_x.\end{aligned}$$

Симметрии относительно главной диагонали здесь нет.

3. ПОЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ОПЕРАТОРЫ

В гидродинамике рассматриваются поля скоростей $v(r, t)$, поля давлений $p(\bar{r}, t)$, плотностей $\rho(\bar{r}, t)$ и других (здесь r – радиус-вектор точки, t – время).

Полем физической величины A (она может быть скалярной $p, \rho, \dots$, векторной $\bar{v}, \bar{g}, \dots$, тензорной) называется совокупность значений этой величины для любой точки пространства и для любого момента времени. Задать поле физической величиной A – это значит задать зависимость

$$A = A(\bar{r}, t), \text{ т.е. } A = A(x, y, z, t).$$

Если зависимости от времени нет, то поле называется стационарным, если же нет зависимости от координат, то поле называется однородным.

$A = A(\bar{r})$, т.е. $A = A(x, y, z)$ – стационарное поле;

$A = A(t)$ – однородное нестационарное поле;

$A = \text{const}$ – однородное стационарное поле.

Нестационарность полей характеризуется производными по времени. Неоднородность полей характеризуется линейными дифференциальными операторами – градиентом (grad), дивергенцией (div), ротором (rot), которые являются операторами 1-го порядка (содержат частные производные 1-го порядка) наряду с конвективной частью оператора $\frac{d}{dt}$,

а также дифференциальным скалярным оператором 2-го порядка – лапласианом Δ . Эти операторы можно определить через векторный дифференциальный оператор – оператор Гамильтона (набла) $\bar{\nabla}$. В декартовой прямоугольной системе координат он имеет вид

$$\bar{\nabla} = \bar{i} \frac{\partial}{\partial x} + \bar{j} \frac{\partial}{\partial y} + \bar{k} \frac{\partial}{\partial z},$$

или, используя индексную форму записи,

$$\bar{\nabla} = \bar{e}_k \frac{\partial}{\partial x_k}, \quad k=1,2,3. \quad (3.1)$$

Все дифференциальные операции над скалярными, векторными и тензорными величинами записываются инвариантным образом через оператор $\bar{\nabla}$. Запишем операции grad , div , rot и подробно, выразив их через $\bar{\nabla}$ для физической величины A :

$$\begin{aligned}\text{grad} A &\equiv \bar{\nabla} A, \\ \Delta A &= (\bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla}) A, \\ \text{div} A &= \bar{\nabla} \cdot \bar{v}, \\ \text{rot} A &= \bar{\nabla} \times A.\end{aligned}$$

Операции div и rot применяются к тензорной величине A , ранг которой должен быть не меньше 1.

Градиент скорости $\bar{\nabla} \bar{V}$ является тензором второго ранга, который характеризует неоднородность поля скоростей. В декартовом базисе этот тензор и его транспонированный можно записать в виде

$$\bar{\nabla} \bar{V} = \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \bar{e}_i \otimes \bar{e}_j, \quad \bar{\nabla} \bar{V}^T = \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \bar{e}_i \otimes \bar{e}_j. \quad (3.2)$$

Геометрический смысл тензора $\bar{\nabla} \bar{V}$ – это оператор, переводящий вектор $d\bar{r}$ в вектор $d\bar{V}$:

$$d\bar{r} \cdot \bar{\nabla} \bar{V} = d\bar{V}.$$

Действительно, как несложно убедиться,

$$\begin{aligned} d\bar{r} \cdot \bar{\nabla} \bar{V} &= dx_j \bar{e}_j \cdot \frac{\partial V_i}{\partial x_k} \bar{e}_k \bar{e}_i = \frac{\partial V_i}{\partial x_k} dx_j \bar{e}_j (\bar{e}_i \cdot \bar{e}_k) = \\ &+ \delta_{jk} \frac{\partial V_i}{\partial x_k} dx_j \bar{e}_i = \frac{\partial}{\partial x_j} (V_i \bar{e}_i) \cdot dx_j = \frac{\partial \bar{V}}{\partial x_j} dx_j = d\bar{V}. \end{aligned}$$

Однако скалярное произведение $d\bar{r} \cdot \bar{\nabla} \bar{V}$ не является дифференциалом $d\bar{V}$:

$$\bar{\nabla} \bar{V} \cdot d\bar{r} = \frac{\partial V_i}{\partial x_k} \bar{e}_k \bar{e}_i \cdot dx_j \bar{e}_j = \frac{\partial V_i}{\partial x_k} \delta_{jk} \bar{e}_k dx_j = \frac{\partial V_i}{\partial x_k} dx_j = (\bar{\nabla} V_i) dx_j.$$

Поскольку скалярное произведение вектора на тензор второго ранга подчиняется правилу $\bar{a} \cdot \bar{A} = \bar{A}^T \cdot \bar{a}$, то произведение $\bar{\nabla} \bar{V}^T \cdot d\bar{r}$ является дифференциалом $d\bar{V}$, в чем также несложно убедиться:

$$\begin{aligned} \bar{\nabla} \bar{V}^T \cdot d\bar{r} &= \frac{\partial V_k}{\partial x_i} \bar{e}_k \bar{e}_i \cdot dx_j \bar{e}_j = (\bar{e}_i \cdot \bar{e}_j) \frac{\partial V_k}{\partial x_i} dx_j \bar{e}_k = \\ &= \delta_{ij} \frac{\partial V_k}{\partial x_i} dx_j \bar{e}_k = \frac{\partial (V_k \bar{e}_k)}{\partial x_i} dx_j = d\bar{V}. \end{aligned}$$

Градиент скорости $\bar{\nabla} \bar{V}$ может быть представлен в виде суммы симметричной и антисимметричной составляющих в виде $\bar{\nabla} \bar{V} = \underline{S} + \underline{\Omega}$, где симметричная часть есть тензор скоростей деформаций $\underline{S}$, а антисимметричная – тензор вращения (спин) $\underline{\Omega}$:

$$\underline{S} = \frac{1}{2}(\bar{\nabla} \bar{V} + \bar{\nabla} \bar{V}^T); \quad \underline{\Omega} = \frac{1}{2}(\bar{\nabla} \bar{V} - \bar{\nabla} \bar{V}^T). \quad (3.3)$$

В компонентном виде

$$\begin{aligned} \underline{S} = S_{ij} \bar{e}_i \bar{e}_j &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i} + \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right) \bar{e}_i \bar{e}_j; \\ \underline{\Omega} = \Omega_{ij} \bar{e}_i \bar{e}_j &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right) \bar{e}_i \bar{e}_j. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Здесь и далее, если не оговорено особо, базисную диаду $\bar{e}_i \bar{e}_j$ следует понимать как $\bar{e}_i \otimes \bar{e}_j$.

Матрицы компонент тензоров $\underline{S}$ и $\underline{\Omega}$:

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{\partial V_x}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) & \frac{\partial V_y}{\partial y} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) & \frac{\partial V_z}{\partial z} \end{pmatrix};$$

$$\Omega_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_z}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) & 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_z}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_y}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) & 0 \end{pmatrix}.$$

Известно, что при использовании эйлерового подхода к описанию движения жидкости появляется дополнительная компонента ускорения, обусловленная изменением пространственной конфигурации течения. Это конвективное ускорение

$$\bar{V} \cdot \bar{\nabla} \bar{V} = (\bar{V} \cdot \bar{\nabla}) \bar{V} = V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \bar{e}_i. \quad (3.5)$$

Также конвективное ускорение можно записывать в виде

$$(\bar{V} \cdot \bar{\nabla}) \bar{V} = \bar{\nabla} \cdot (\bar{V} \otimes \bar{V}) - (\bar{\nabla} \cdot \bar{V}) \bar{V}.$$

Кроме того, имеют место следующие формулы:

$$\begin{aligned} \bar{V} \cdot \bar{\nabla} \bar{V}^T &= \bar{\nabla} \frac{V^2}{2} = V_j \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \bar{e}_i; \\ \bar{V} \cdot \underline{S} &= \frac{1}{2} [(\bar{V} \cdot \bar{\nabla}) \bar{V} + \bar{\nabla} \frac{V^2}{2}]; \\ (\bar{V} \cdot \bar{\nabla}) \bar{V} &= 2 \bar{V} \cdot \underline{S} - \bar{\nabla} \frac{V^2}{2}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Еще одна полезная формула:

$$\bar{V} \cdot \underline{S} = \frac{1}{2} \cdot \bar{V} + \frac{1}{2} \bar{\nabla} (\bar{V} \cdot \bar{V}).$$

Действительно,

$$\begin{aligned} \bar{V} \cdot \underline{S} &= \bar{\nabla} \cdot \frac{1}{2} (\bar{\nabla} \bar{V} + \bar{\nabla} \bar{V}^T) = \frac{1}{2} [\bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla} \bar{V} + \bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla} \bar{V}^T] = \\ &= \frac{1}{2} \left[\bar{e}_k \frac{\partial}{\partial x_k} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \bar{e}_i \bar{e}_j + \bar{e}_k \frac{\partial}{\partial x_k} \cdot \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \bar{e}_i \bar{e}_j \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 V_j}{\partial x_k \partial x_i} \delta_{ki} \bar{e}_j + \frac{\partial^2 V_i}{\partial x_k \partial x_j} \delta_{ki} \bar{e}_j \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 V_j}{\partial x_k \partial x_k} \bar{e}_j + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \bar{e}_j \right] = 1/2 [\Delta \bar{V} + \bar{\nabla} (\bar{\nabla} \cdot \bar{V})]. \end{aligned}$$

Этот вектор можно записать и по-другому, учитывая формулу $\Delta \bar{V} = \bar{\nabla} (\bar{\nabla} \cdot \bar{V}) - \bar{\nabla} \times \bar{\nabla} \times \bar{V}$:

Доказательство этой формулы:

$$\begin{aligned} \bar{\nabla} \times \bar{\nabla} \times \bar{V} &= \bar{e}_k \frac{\partial}{\partial x_k} \times \left[\bar{e}_i \frac{\partial}{\partial x_i} \times v_j \bar{e}_j \right] = \\ &= \bar{e}_k \frac{\partial}{\partial x_k} \times \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \varepsilon_{sij} \bar{e}_s = \frac{\partial^2 v_j}{\partial x_k \partial x_i} \varepsilon_{sij} \varepsilon_{pks} \bar{e}_p. \end{aligned}$$

При $p = 1$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 v_j}{\partial x_k \partial x_i} \varepsilon_{sij} \varepsilon_{pks} &= \frac{\partial^2 v_j}{\partial x_2 \partial x_i} \varepsilon_{3ij} \varepsilon_{123} + \frac{\partial^2 v_j}{\partial x_3 \partial x_i} \varepsilon_{2ij} \varepsilon_{132} = \frac{\partial^2 v_j}{\partial x_2 \partial x_i} \varepsilon_{3ij} - \\ &- \frac{\partial^2 v_j}{\partial x_3 \partial x_i} \varepsilon_{2ij} = \frac{\partial^2 v_2}{\partial x_2 \partial x_1} \varepsilon_{321} + \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2 \partial x_2} \varepsilon_{321} - \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_3 \partial x_3} \varepsilon_{231} - \\ &- \frac{\partial^2 v_3}{\partial x_3 \partial x_1} \varepsilon_{213} = \frac{\partial^2 v_2}{\partial x_2 \partial x_1} - \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2 \partial x_2} - \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_3 \partial x_3} + \frac{\partial^2 v_3}{\partial x_3 \partial x_1}. \end{aligned}$$

Следовательно: при $p = 1$ после добавления и вычитания $\frac{\partial^2 v_1}{\partial x_1^2}$ получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 v_j}{\partial x_k \partial x_i} \varepsilon_{sij} \varepsilon_{pks} \bar{e}_1 &= \bar{e}_1 \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} + \frac{\partial v_3}{\partial x_3} \right) - \\ &- \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) V_1 \bar{e}_1 = \bar{e}_1 \frac{\partial}{\partial x_1} (\bar{\nabla} \cdot \bar{V}) - (\Delta V_1) \bar{e}_1. \end{aligned}$$

В целом, в итоге имеем

$$\bar{\nabla} \times \bar{\nabla} \times \bar{V} = \bar{\nabla} (\bar{\nabla} \cdot \bar{V}) - \Delta \bar{V}. \quad (3.7)$$

Тем самым,

$$\bar{v} = \bar{\nabla} (\bar{\nabla} \cdot \bar{V}) - \bar{\nabla} \times \bar{\nabla} \times \bar{V}.$$

Тогда

$$\bar{\nabla} \cdot \underline{S} = \bar{\nabla} (\bar{\nabla} \cdot \bar{V}) - \frac{1}{2} \bar{\nabla} \times \bar{\nabla} \times \bar{V}.$$

Отсюда следует еще одна формула $\text{rot}(\text{rot} V)$:

$$\bar{\nabla} \times \bar{\nabla} \times \bar{V} = 2 \bar{\nabla} (\bar{\nabla} \cdot \bar{V}) - 2 \bar{\nabla} \cdot \underline{S}. \quad (3.8)$$

Еще одно полезное соотношение:

$$\bar{V} [\bar{\nabla} \cdot (\bar{\nabla} \bar{V} + \bar{\nabla} \bar{V}^T)] = \bar{\nabla} \frac{V^2}{2} + (\bar{V} \cdot \bar{\nabla}) (\bar{\nabla} \cdot \bar{V}). \quad (3.9)$$

4. ФОРМУЛА И.С. ГРОМЕКИ И ДРУГИЕ СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ СООТНОШЕНИЯ

Формулу И.С. Громеки

$$(\bar{V} \cdot \bar{\nabla}) \bar{V} = \bar{\nabla} \frac{\bar{V}^2}{2} - \bar{V} \times (\bar{\nabla} \times \bar{V})$$

можно доказать следующим образом: поскольку $\vec{\nabla} \vec{V}^T = \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \vec{e}_i \vec{e}_j$, то умножение этого тензора на вектор скорости $\vec{V}$ справа дает

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \vec{V}^T \cdot \vec{V} &= \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \vec{e}_i \vec{e}_j \cdot V_k \vec{e}_k = \left(\vec{e}_j \cdot \vec{e}_k \right) \frac{\partial V_i}{\partial x_j} V_k \vec{e}_k = \\ &= \delta_{jk} \frac{\partial V_i}{\partial x_j} V_k \vec{e}_k = V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \vec{e}_k = (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V}, \end{aligned}$$

т.е. получаем вектор конвективного ускорения жидкой частицы. Далее выполним следующую цепочку преобразований:

$$(\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V} = \vec{\nabla} \vec{V}^T \cdot \vec{V} = -(\vec{\nabla} \vec{V} - \vec{\nabla} \vec{V}^T) \cdot \vec{V} + \vec{\nabla} \vec{V} \cdot \vec{V}. \quad (4.1)$$

Второе слагаемое в правой части можно здесь представить в виде градиента:

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \vec{V} \cdot \vec{V} &= \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \vec{e}_i \vec{e}_j \cdot V_k \vec{e}_k = \delta_{jk} \frac{\partial V_j}{\partial x_i} V_k \vec{e}_k = \\ &= V_j \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \vec{e}_i = \frac{1}{2} \frac{\partial V_j V_j}{\partial x_i} \vec{e}_i = \frac{1}{2} \vec{\nabla} V^2. \end{aligned}$$

Первое же слагаемое в правой части можно записать так:

$$(\vec{\nabla} \vec{V} - \vec{\nabla} \vec{V}^T) \cdot \vec{V} = \vec{V} \times \vec{\nabla} \times \vec{V}. \quad (4.2)$$

Докажем это равенство. Левая часть его:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right) \vec{e}_i \vec{e}_j \cdot V_k \vec{e}_k &= \delta_{jk} V_k \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right) \vec{e}_k = \\ &= V_j \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right) \vec{e}_i. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Правая часть равенства (4.2) также есть вектор:

$$\vec{V} \times (\vec{\nabla} \times \vec{V}) = V_s \vec{e}_s \times \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i} \varepsilon_{kij} \vec{e}_k \right) = V_s \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \varepsilon_{kij} \varepsilon_{tsk} \vec{e}_t. \quad (4.4)$$

Покажем, что выражения (4.3) и (4.4) эквивалентны. Для этого сравним компоненты этих векторов. В проекции на ось X выражение (4.3) дает (полагаем $i=1$):

$$\begin{aligned} V_j \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_1} - \frac{\partial V_1}{\partial x_j} \right) &= V_1 \left(\frac{\partial V_1}{\partial x_1} - \frac{\partial V_1}{\partial x_1} \right) + V_2 \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_1} - \frac{\partial V_1}{\partial x_2} \right) + \\ &+ V_3 \left(\frac{\partial V_3}{\partial x_1} - \frac{\partial V_1}{\partial x_3} \right) = V_2 \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_1} - \frac{\partial V_1}{\partial x_2} \right) + V_3 \left(\frac{\partial V_3}{\partial x_1} - \frac{\partial V_1}{\partial x_3} \right), \end{aligned}$$

а выражение (4.4) в проекции на эту же ось (полагаем $t=1$) дает:

$$\begin{aligned} V_s \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \varepsilon_{kij} \varepsilon_{tsk} &= V_2 \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \varepsilon_{3ij} \varepsilon_{123} + V_3 \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \varepsilon_{2ij} \varepsilon_{132} = \\ &= V_2 \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_1} \varepsilon_{312} + \frac{\partial V_1}{\partial x_2} \varepsilon_{321} \right) \varepsilon_{123} + V_3 \left(\frac{\partial V_1}{\partial x_3} \varepsilon_{231} + \frac{\partial V_3}{\partial x_1} \varepsilon_{213} \right) \varepsilon_{123} = \\ &= V_2 \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_1} - \frac{\partial V_1}{\partial x_2} \right) - V_3 \left(\frac{\partial V_1}{\partial x_3} - \frac{\partial V_3}{\partial x_1} \right). \end{aligned}$$

Видно, что проекции на ось X выражений (4.3) и (4.4) совпадают. Аналогичное совпадение имеет место и в отношении проекций на оси Y и Z .

Таким образом, соотношение (4.1) с учетом равенств (4.2) и (4.4) принимает вид

$$(\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V} = \vec{\nabla} \frac{V^2}{2} - \vec{V} \times (\vec{\nabla} \times \vec{V}),$$

а это и есть формула И.С. Громеки.

При доказательстве были получены некоторые другие полезные формулы. В частности, из соотношения (4.2) следует, что

$$2\vec{\Omega} \cdot \vec{V} = \vec{V} \times (\vec{\nabla} \times \vec{V}). \quad (4.5)$$

С помощью формулы И.С. Громеки можно получить и такую формулу:

$$\vec{V} \cdot \underline{\underline{S}} = \frac{1}{2} \vec{\nabla} V^2 - \frac{1}{2} \vec{V} \times (\vec{\nabla} \times \vec{V}). \quad (4.6)$$

Действительно, так как $\vec{\nabla} \vec{V} = \underline{\underline{S}} + \underline{\underline{\Omega}}$,

$$\begin{aligned} \vec{V} \cdot \underline{\underline{S}} &= \vec{V} \cdot \vec{\nabla} \vec{V} - \vec{V} \cdot \underline{\underline{\Omega}} = (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V} + \underline{\underline{\Omega}} \cdot \vec{V} = \vec{\nabla} \frac{V^2}{2} - \\ &- \vec{V} \times (\vec{\nabla} \times \vec{V}) + \frac{1}{2} \vec{V} \times (\vec{\nabla} \times \vec{V}) = \vec{\nabla} \frac{V^2}{2} - \frac{1}{2} \vec{V} \times (\vec{\nabla} \times \vec{V}). \end{aligned}$$

Можно привести еще одно, простейшее, доказательство формулы Громеки. Учтя, что по определению вихрь скорости $\vec{\omega} = \frac{1}{2} \vec{\nabla} \times \vec{V}$, выполним следующую цепочку преобразований:

$$\begin{aligned} \vec{V} \times (\vec{\nabla} \times \vec{V}) &= \vec{V} \times 2\vec{\omega} = 2(V_2\omega_3 - V_3\omega_2)\vec{e}_1 + \\ &+ 2(V_3\omega_1 - V_1\omega_3)\vec{e}_2 + 2(V_1\omega_2 - V_2\omega_1)\vec{e}_3. \end{aligned}$$

Компонента при базисном векторе $\vec{e}_i$ может быть преобразована дальше следующим образом:

$$\begin{aligned} 2(V_2\omega_3 - V_3\omega_2) &= V_2 \frac{\partial V_2}{\partial x_1} - V_2 \frac{\partial V_1}{\partial x_2} - V_3 \frac{\partial V_1}{\partial x_3} + V_3 \frac{\partial V_3}{\partial x_1} = \\ &= \frac{1}{2} \frac{\partial V_2^2}{\partial x_1} + \frac{1}{2} \frac{\partial V_3^2}{\partial x_1} - V_2 \frac{\partial V_1}{\partial x_2} - V_3 \frac{\partial V_1}{\partial x_3} - \\ &- V_1 \frac{\partial V_1}{\partial x_1} + \frac{1}{2} \frac{\partial V_1^2}{\partial x_1} = \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x_1} - (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) V_1. \end{aligned}$$

Аналогичным образом получаем компоненты и при других базисных векторах. В итоге имеем:

$$\begin{aligned} \vec{V} \times \vec{\nabla} \times \vec{V} &= \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x_1} \vec{e}_1 + \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x_2} \vec{e}_2 + \frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x_3} \vec{e}_3 + \\ &+ (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) V_1 \vec{e}_1 + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) V_2 \vec{e}_2 + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) V_3 \vec{e}_3 = \vec{\nabla} \frac{V^2}{2} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V}. \end{aligned}$$

Тем самым и таким способом формула Громеки доказана.

Формула для конвективного ускорения с учетом выражения (4.5) может быть записана в виде

$$(\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V} = \vec{\nabla} \frac{V^2}{2} - 2\underline{\underline{\Omega}} \cdot \vec{V},$$

что является модификацией формулы Громеки. Кроме того, может оказаться полезной следующая формула:

$$(\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V} = \vec{\nabla} \cdot (\vec{V} \otimes \vec{V}) - \vec{V} (\vec{\nabla} \cdot \vec{V}).$$

Из сравнения правых и левых частей двух последних выражений также следует

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{V} \otimes \vec{V}) - \vec{V} (\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) = \vec{\nabla} \frac{V^2}{2} - 2\underline{\underline{\Omega}} \cdot \vec{V}. \blacksquare$$

Продолжение следует.

В докладах Президенту РФ и Совету безопасности России о состоянии и задачах оборонной промышленности Коллегия ВПК *отмечает системную проблему закредитованности организаций ОПК*, что снижает финансовую устойчивость их работы, задерживает намеченные высшим руководством страны темпы их развития и диверсификации, приводит к существенному снижению доходов федерального бюджета.

Рабочая группа Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, ученых СПбГЭУ и СПбГМТУ, Союза промышленников и предпринимателей региона представляет материалы и предложения для системного решения указанной проблемы.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ЗАКРЕДИТОВАННОСТИ ОПК И ЕЕ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ

За предшествующие три года зафиксирован рост закредитованности ОПК с 1,7 трлн. руб. до 2,5 трлн. руб. (рис. 1).

Основные причины закредитованности ОПК. Для своевременного финансирования работ по освоению производства изделий госзаказа предприятия ОПК вынуждены (из-за недостатка собственных оборотных средств и авансовых поступлений от заказчика) *привлекать заемный капитал* на технологическое развитие и своевременную материально-техническую подготовку производства. Уполномоченные банки последние годы предоставляли предприятиям ОПК необходимые кредитные средства *при годовой процентной ставке в размере не менее 9–10%.*

Особо отмечаем, что с 3 кв. 2015 г. действует подзаконная норма – Постановление Правительства РФ (№ 1465 – в последней редакции), определяющая величину цены и рентабельности (прибыли) контрактов по госзаказам *затратным методом*, где прибыль определяется по формуле $1\% \text{ от привнесенных затрат} + 20\% \text{ от собственных затрат предприятия на госзаказ}$.

Применение заказчиком и ФАС этой нормы для всех госзаказов в разы сократило расчетную прибыль предприятий ОПК по госзаказам (с 12–16%) до уровня не более 3–5% от себестоимости изделия.

В результате с 2016 г. вся прибыль предприятия по госзаказам перечисляется на выплату процентов банкам за предоставленный кредит, а основное тело кредита не погашается, а растет, так как увеличение объемов выпуска продукции требует роста оборотных средств. Бюджет Российской Федерации по налогам на прибыль терпит убытки.

Динамика в выпадающих доходов бюджета РФ по предприятиям ОПК представлена на рис. 2.

О НЕОБХОДИМОСТИ СИСТЕМНОГО РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЗАКРЕДИТОВАННОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОПК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И УСКОРЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ И ДИВЕРСИФИКАЦИИ

И.Л. Вайсман, эксперт Ассоциации судостроителей,
А.Е. Карлик, д-р эконом. наук, проф., зав. кафедрой,
Е.А. Ткаченко, д-р эконом. наук, проф., СПбГЭУ,
контакт. тел. (812) 603 4077, доб. 100, +7 (904) 600 5380

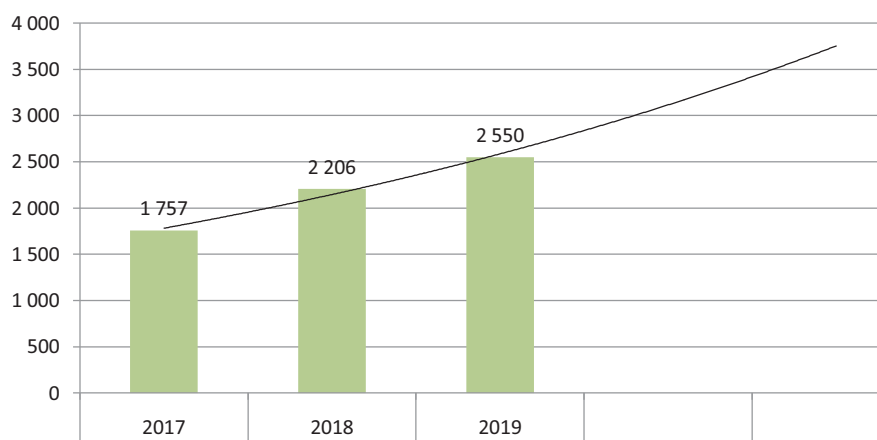


Рис. 1. Динамика совокупной просроченной кредиторской задолженности отраслей ОПК нарастающим итогом за 2017–2019 гг., млрд. руб.

Источник: <https://fedstat.ru/indicator/57769>

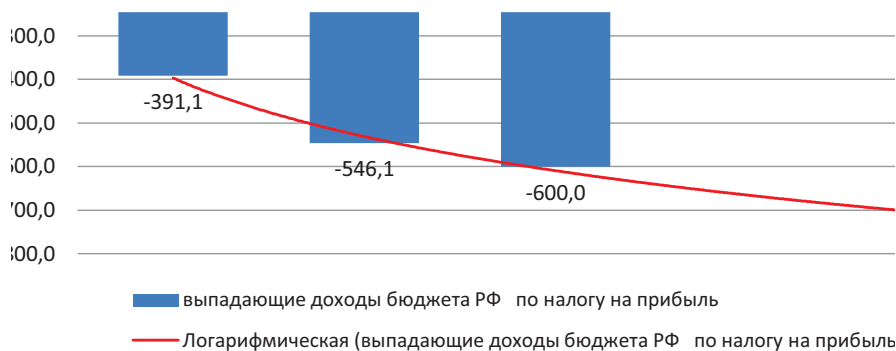


Рис. 2. Динамика выпадающих доходов бюджета по налогу на прибыль по предприятиям ОПК, млрд. руб.

Источник: <https://fedstat.ru/indicators/>

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СИСТЕМНОМУ РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ЗАКРЕДИТОВАННОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОПК

Следует признать, что применение затратного метода и формулы « $1\% + 20\%$ » для расчета цены и прибыли *всех серийных изделий госзаказа привело к разрушению цепочек создания стоимости высокотехнологичной продукции при эффективном использовании*

кооперации и аутсорсинга. Затратный метод ценообразования серийных изделий привел к возврату неэффективных моделей производства полного цикла на одном предприятии *с дополнительными непроизводительными затратами, что в итоге привело к существенному росту затрат и закредитованности предприятий многих отраслей ОПК.*

Эта подзаконная норма нарушает положения ФЗ-275 (Ст. 10) в части при-

менения метода сравнимой цены для всех серийных изделий госзаказа, препятствует высокотехнологичному развитию и диверсификации ОПК, наносит существенный ущерб бюджету страны.

Следует установить, что затратный метод с 2021 г. применим только для расчета цен на НИР, ОКР и головные образцы изделий госзаказа, не имеющих аналогов на рынке.

Следует с 2021 г. установить, что предприятия ОПК при переходе на метод сравнимой цены серийных ГОЗ, по условиям государственного контракта должны будут направлять основную часть чистой прибыли (не менее 2/3) на инновационное развитие мощностей для финансирования технологического развития, диверсификации производства, импортозамещения и роста выпуска продукции на экспорт. Применение метода сравнимых цен серийной продукции создаст с 2021 г. мотивацию предприятий ОПК на инвестиционное развитие за счет собственной прибыли и привлеченного капитала, появятся реальные экономические условия для финансового оздоровления предприятий ключевых отраслей ОПК (см. табл.1 и табл. 2).

Применение метода сравнимых цен для ценообразования серийных изделий госзаказа потребует создания в первом полугодии 2021 г. (Решением высшего руководства страны по предложению Военно-промышленной комиссии РФ) Единого информационно-аналитического центра, содержащего справочные материалы по всем федеральным заказам (номенклатура, основные характеристики и цены на высокотехнологичные виды промышленной продукции специального и/или двойного назначения), отмеченной на российских и зарубежных рынках за последние 5 лет.

Для мотивации предприятий ОПК реализовать на собственные и заемные средства в ближайшие годы инвестиционные проекты развития мощностей и диверсификации продукции настоятельно необходимо, в соответ-

Таблица 1

Обязательства предприятий ОПК по обслуживанию кредитов

Задолженность по кредитам ОПК предприятий по ГОЗ		Ежегодные процентные платежи при ставке, %		
		10,00	8,50	6
Сумма обязательств, млрд. руб.	– 2300*	– 230	– 195	– 138

Таблица 2

Варианты формирования прибыли предприятий ОПК по продукции ГОЗ при доле серийной продукции по ГОЗ в 65% *

Показатель	По всем ГОЗ	НИОКР и головные заказы*	Серийное производство*
Объем выпуска продукции ГОЗ	100%	35%	65%
	2000* млрд. руб. *уточнить	700 млрд.руб.	1300 млрд. руб.
Прибыль при затратном методе расчета цены продукции всех ГОЗ (по формуле 1+ 20%)	3–5%	3–5%	3–5%
	60–100 млрд.руб.*	21–35 млрд.руб.	39–65 млрд.руб.
Прибыль при методе сравнимой цены для серийных изделий ГОЗ		3–5%	10–20%
	151–295 млрд. руб.	21–35 млрд. руб.	130–260 млрд. руб.

ствии с рекомендациями Президента РФ В. В. Путина:

- Разработать и утвердить планы реструктуризации кредитной задолженности всех системообразующих предприятий ОПК на период до 2025 г.;
- Внести изменения в Федеральный закон ФЗ-275 «О государственном оборонном заказе», изложив п. 1, пп. 6 Ст. 10 в виде нормы прямого действия, представив его в следующей редакции:

«... п. 1. пп. 6) Государственное регулирование цен на продукцию по государственному оборонному заказу осуществляется посредством определения:

- минимального уровня плановой рентабельности (прибыли) в размере не менее 10% от полной себестоимости продукции по ГОЗ;
- максимального уровня плановой рентабельности (прибыли) в размере не менее 15–20% от полной себестоимости продукции с учетом средств, которые необходимы

предприятию для технологического развития мощностей, диверсификации, импортозамещения, роста продукции на экспорт и обслуживания привлеченного на эти цели капитала, с обеспечением контроля за обязательным использованием не менее 2/3 (двух третей) полученной чистой прибыли на указанные приоритетные цели».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые изменения Ст. 10 ФЗ–275 Федерального закона ФЗ–275 и применение с 2021 г. метода сравнимой цены при определении цен на серийную продукцию по госзаказу создают экономические условия и мотивируют предприятия ОПК – головных исполнителей госзаказ и федеральных заказов осуществлять финансирование инвестиционных проектов технологического развития, диверсификации, импортозамещения и роста поставок на экспорт за счет собственной прибыли и привлечения заемного (внебюджетного) капитала. ■

Суда, спускаемые на «Адмиралтейских верфях», имеют разные размерения и обводы, поэтому для их спуска на воду с продольного стапеля предприятие вынуждено строить под каждый проект «свой» понтон. Это приводит к ряду отрицательных факторов, среди которых – высокая трудоемкость и стоимость изготовления и монтажа, а также необходимость последующего хранения и утилизации.

Решить данную проблему было предложено с помощью разработки универсального спускового устройства – кормового крыла. Оно предотвращает опрокидывание судна на стапеле и обеспечивает всплытие кормовой оконечности за счет создания подъемной силы.

Основной задачей при проектировании продольного спуска является обеспечение прочности корпуса судна и спускового устройства с учетом характеристик стапеля, а также требований технологичности и экономичности спуска.

Спуск судна с продольного стапеля под действием силы тяжести сопряжен с воздействием на корпус судна значительных общих и местных нагрузок, отличающихся по своему характеру от эксплуатационных.

Обычно закладку судна на стапеле и его спуск осуществляют кормой вперед, так как за счет более полных образований происходит увеличение сил плавучести и более раннее отделение судна от стапеля, а также устраняется опасность повреждения винторулевого комплекса [1].

При продольном спуске рассматривают четыре периода: первый – от момента страгивания судна до касания спусковыми полозьями горизонта воды; второй – от касания воды до начала всплытия; третий – от начала до полного всплытия после соскакивания с порога; четвертый – пробег после всплытия.

В первом и втором периодах судно скользит по спусковым дорожкам. В третьем периоде судно должно всплывать, поворачиваясь вокруг поперечной оси носовой опоры. Всплытие наступает тогда, когда момент силы плавучести V погруженных в воду объема корпуса и спускового устройства относительно поперечной оси новой опоры становится равным моменту спускового веса судна и веса спускового устройства D относительно той же оси. Если момент спускового веса судна и веса спускового устройства относительно ребра порога стапеля окажется больше момента названной силы плавучести относительно ребра порога, то судно начнет опрокидываться на порог, и спусковые полозья оторвутся от спусковых дорожек. Под действием значительных масс двух частей судна, разделенных порогом, в палубе возникнут опасные растягивающие напряжения, что может привести к разрыву палубных связей. Сосредоточенное давление на порог может также привести к смятию днища корпуса и (или) разрушению порога, а при всплытии погружающейся кормовой оконечности и обратном наклонении судна произойдет удар полозьями о спусковые дорожки. При этом возможны повреждения корпуса и выдавливание насалки [2].

В четвертом периоде набравшее скорость и соскочившее с порога судно движется по акватории. Скорость судна в этом периоде гасят специальными тормозными устройствами, сокращая пробег после спуска, чтобы не допустить удара винтами или кормой о берег.

Чтобы не допустить опрокидывания судна во время спуска, недостаток силы плавучести кормовой оконечности компенсируют установкой и креплением к ней понтона или крыла. Тогда возникает дополнительная сила плавучести или соответствующая подъемная сила крыла, исключаящие опрокидывание.

Для поддержания кормовой оконечности используется два устройства: понтон и крыло.

СПУСК НА ВОДУ ТРАУЛЕРА ПРОЕКТА СТ-192 С ПОМОЩЬЮ КОРМОВОГО КРЫЛА

*Д.А. Полянская, инженер-конструктор АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 494 7926, 8 (911) 787 2491*

Кормовой понтон, изображенный на рис. 1 состоит из верхней части 1, жестко скрепленной с корпусом судна с помощью книц и бракет 2, и нижней части 3, которая через зуб 4 по всему сечению разреза находится в зацеплении с верхней частью с возможностью отделения от последней. Нижняя часть понтона, в свою очередь, опирается на спусковое устройство 5, передавая нагрузку кормовой части корпуса судна на стапель до момента спуска. Торцевая стенка нижней части 6 выполнена наклонно с целью уменьшения сопротивления воды. На ней также располагаются отверстия 8, через которые нижняя часть заполняется водой и набрав достаточное ее количество теряет свою плавучесть.

Подъем затонувшей части осуществляется краном за специальные рамы 7 с заранее заведенными в них стропами [3].

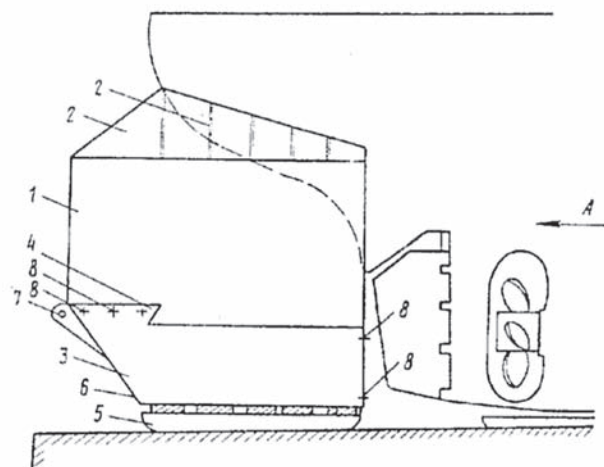


Рис. 1. Схема кормового понтона

Установка понтонов в районе кормовой оконечности приводит к более раннему всплытию, увеличению минимального расстояния между равнодействующей сил веса и сил поддержания и порогом стапеля, уменьшению реакций на пороге стапеля во втором периоде спуска и увеличению баксового давления [1].

Ранее для продольного спуска судов на предприятии использовали кормовые понтоны. Они были применены на спусках арктических танкеров пр. 70046, научно-экспедиционного судна пр. 22280, патрульных кораблей пр. 23550 и ледокола пр. 21180. Спуск на воду последнего изображен на рис. 2.



Рис. 2. Спуск ледокола пр. 21180 с использованием кормового понтона

В основе нового способа спуска на воду траулера лежит изобретение, сделанное в конце 60-х гг. работниками Ленинградского Адмиралтейского завода (ныне – АО «Адмиралтейские верфи») и на которое было получено авторское свидетельство № 281197.

Устройство, изображенное на рис. 3, для поддержания кормовой оконечности 1 при спуске на воду с продольного стапеля 2 содержит наклонные стойки 3, жестко связанные с корпусом судна. Стойки 3 и поперечные связи 4, 5 образуют пространственную ферму. К стойкам жестко прикреплено подводное крыло 6, установленное на спусковых салазках 7. Крыло 6 выполнено полым, с боковыми шайбами 8. Внутри его расположен внутренний набор [4].

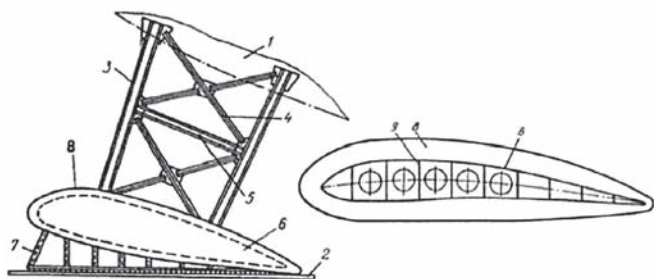


Рис. 3. Устройство кормового крыла

1 – судно; 2 – продольный стапель; 3 – наклонные стойки; 4, 5 – поперечные связи; 6 – крыло; 7 – спусковые салазки; 8 – боковые шайбы; 9 – внутренний набор

Благодаря крылу, которое, погружаясь в воду, создает подъемную силу, уменьшается удельное давление на днище судна на пороге стапеля.

В ходе теоретической подготовки к спуску выявлено, что крыло при применении на стапеле «Адмиралтейских верфей» может обеспечивать подъемную силу до 1200 т при угле атаки 25°. Величина максимальной подъемной силы связана с наибольшей достижимой скоростью спуска до 9,5 м/с.

Новое техническое решение имеет много сходных признаков с известным изобретением и является прототипом новой конструкции. Поэтому основные расчеты и выводы были сделаны на основе именно этого изобретения.

В качестве примера использования кормового крыла, можно привести спуск траулера пр. СТ-192.

Сегодня в России активно оказывается поддержка судостроительным предприятиям с помощью введения квот «под киль» для строительства высокотехнологичного рыбопромыслового флота. 19 июня 2020 г. на «Адмиралтейских верфях» спустили первый серийный морозильный рыболовный траулер пр. СТ-192 «Механик Маслак». Ранее состоялся спуск головного судна этого проекта «Капитан Вдовиченко». Серия состоит из десяти больших морозильных траулеров, предназначенных для «Русской рыбопромышленной компании».

Основные размерения пр. СТ-192

Характеристика	Значение
Длина наибольшая, м.....	108,20
Ширина, м.....	21,00
Высота борта до траловой палубы, м.....	11,55
Осадка по КВЛ, м.....	8,35
Водоизмещение (в грузу), т.....	ок. 12 000
Водоизмещение (порожнем), т.....	ок. 7000
Спусковое водоизмещение, т.....	ок. 5000

При постройке морозильный рыболовный траулер «Капитан Вдовиченко» пр. СТ-192 был расположен в нижней части стапеля, это видно на рис. 4. Крыло расположено в районе -13...-2 шп., имеет размеры 7×25 м и устанавливается с углом атаки 25°. Подъемная сила крыла добавляется к силам поддержания (плавучести) и зависит от скорости движения судна.

По результатам осмотра элементов спускового устройства и дорожек после спуска, повреждений вышеупомянутых эле-



Рис. 4. Кормовое крыло, установленное на траулере пр. СТ-192

ментов не выявлено. Выдавливание насалки отсутствовало. Приняв во внимание изложенные факты, можно сделать вывод, что крыло создало подъемную силу около $N = 500$ т в критическом положении, обеспечив тем самым безопасность спуска.

Сегодня на предприятии ведется строительство заказов по пр. СТ-192 и пр. 00903. Можно рассчитать примерную стоимость изготовления понтонов для данных проектов и сравнить ее со стоимостью крыла массой 43 т при следующих значениях массы понтонов: для пр. СТ-192 – ок. 90 т и для заказа пр. 00903 – 220 т.

Материал, из которого изготовлены конструкции, – сталь марки Д36. Она имеет повышенную прочность и используется для изготовления плавучих сооружений.

В среднем стоимость 1 т стали Д36 равна примерно 46 000 руб. Стоимость изготовления понтона:

- для пр. СТ-192 составит $90 \times 46\,000 = 4\,140\,000$ руб.,
- для пр. 00903 – $220 \times 46\,000 = 10\,120\,000$ руб.,
- для изготовления универсального спускового устройства – кормового крыла составит $43 \times 46\,000 = 1\,978\,000$ руб.

Применение крыла позволяет сократить закупку материала до 5 раз.

Суммарная трудоемкость изготовления, монтажа и демонтажа кормового крыла равна примерно 4000 часам. Для сравнения, трудоемкость этих же операций для понтона пр. 21180, который имеет схожие массогабаритные характеристики с понтоном пр. СТ-192, – 7200 часов, т. е. практически в 2 раза больше, чем крыла.

Использование кормового крыла в качестве универсального спускового устройства гораздо выгоднее и эффективнее для предприятия, поскольку позволяет добиться существенного сокращения расходов на закупку материала для его изготовления, снизить трудоемкость, а также решить ряд вопросов, связанных с хранением и утилизацией.

Универсальность крыла дает возможность применять его для спуска на воду заказов пр. СТ-192, пр. 00903, а также судов других проектов, строящихся в АО «Адмиралтейские верфи».

ЛИТЕРАТУРА

1. РД5.1033–30. Спуск судов. Прочность корпусов и спусковых устройств.
2. Александров В.Л., Арю А.Р., Ганов Э.В., Догадин А.В., Лейзерман В.Ю., Роганов А.С., Соколова И.А., Щербинин П.И. Технология судостроения / Под общ. ред. А.Д. Гармашева. – СПб: Профессия, 2003. – 342 с.
3. Авт. св. 680942 СССР, В 63 С 3/02. Кормовой понтон для спуска судна на воду / Покровская А.С., Минович В.Л. – 4236125/27-11; заявлено 13.02.87; опубл. 07.03.90 // Бюлл. №9. – 2 с.
4. Авт. св. 281197 СССР МПК, В 63 С 5/02. Устройство для поддержания кормовой оконечности судна при спуске на воду с продольного стапеля / Гейсенко А.А., Глоzman М.К., Белявин Ю.П., Мирохин Б.В., Вельсман Р.Р., Масловский В.Г., Чиков Г.М., Раковский Э.А., Лушков Е.Н. – 1341122/27-11; заявлено 17.11.69; опубл. 15.06.80 // Бюлл. №2. – 2 с. ■

Коррозия стальных корпусов кораблей и судов – одна из главных причин их износа, снижения прочности и безопасности. Предупреждение преждевременного износа их корпуса, а также обеспечение их защиты по электрическому полю – важные задачи эксплуатации. Для защиты подводной части корпуса применяют комплексные решения, в которые входят как лакокрасочные покрытия, так и электрохимическая защита. В настоящее время для общей защиты корпуса судна на территории Российской Федерации применяется катодная защита или протекторная.

АО «51 ЦКТИС», исполняющее функции проектанта судов иностранной постройки ВМФ, на которых для общей защиты корпуса была принята протекторная электрохимическая защита с использованием цинковых протекторов, сталкивается с проблемами при замене данных протекторов. Нормативные документы (ГОСТ 26501–85, ГОСТ 26251–84, РД5.9042–80), регламентирующие требования к проектированию электрохимической защиты рекомендуют использовать алюминиевые сплавы.

Согласно ГОСТ 9.056–75, защита корпусов судов без электрохимической защиты допускается во время долговременного стояночного режима в акваториях с соленостью воды менее 6‰ при наличии усиленного лакокрасочного покрытия. Соленость некоторых морей в качестве примера составляет: Средиземное – 39,5‰, Черное – 17–18‰, Каспийское – 13‰, Азовское – 10–12‰, Балтийское – 6–8‰. С учетом неограниченного района плавания большинства судов и кораблей иностранной постройки и эксплуатационных факторов полноценная защита подводной части корпуса может быть обеспечена только комплексными мерами (сочетание лакокрасочного покрытия с электрохимической защитой). Подробно обоснование сохранения на корпусе общей протекторной защиты согласно проектным решениям было рассмотрено в статье «Защита корпусов судов и кораблей иностранной постройки»*.

Применение протекторной защиты имеет такие преимущества, как простоту исполнения и наличие значительно большего количества протекторов на подводной части корпуса. В итоге этого неравномерность распределения тока существенно меньше, чем при катодной защите, когда на корпусе устанавливается ограниченное количество анодов с большей токоотдачей.

В протекторной защите корпуса зарубежного судостроения еще недавно доминировали цинковые протекторные сплавы, в последнее время они постепенно вытесняются протекторами из

ЗАЩИТА КОРПУСА СУДОВ И КОРАБЛЕЙ ИНОСТРАННОЙ ПОСТРОЙКИ

К.Л. Новиков, зам. гл. конструктора АО «51 ЦКТИС»,
контакт. тел. +7 (904) 605 3711

алюминиевых сплавов, имеющих почти в 3 раза более высокую удельную теоретическую токоотдачу (2880 против 820 А·ч/кг), следовательно, являющимися и более экономичными.

В чистом виде цинк в качестве протекторного сплава не применяется из-за его быстрой пассивации, которая в морской воде облегчается образованием на поверхности цинка карбонатов. При работе цинкового протектора, как указано выше, образование такой пленки уменьшает или полностью прекращает его токоотдачу. При использовании цинка в качестве основы для протекторного материала должны быть соблюдены требования к содержанию в цинке катодных примесей, прежде всего свинца, железа, меди. Кроме того, применимы сплавы, в которых легирующие элементы исключают возможность образования плотных, с высоким омическим сопротивлением осадков продуктов растворения. Цинковые протекторные сплавы содержат в качестве основной легирующей добавки алюминий, содержание которого для различных сплавов колеблется в пределах от 0,1 до 0,7%. В качестве второй основной легирующей добавки в зарубежных цинковых сплавах присутствует кадмий в количестве 0,025 до 0,15%.

Цинковые и алюминиевые сплавы имеют близкие значения электроотрицательных потенциалов. Цинковые сплавы – единственные протекторные материалы, рекомендуемые для защиты взрывопожароопасных емкостей, например, внутренней поверхности балластируемых танков нефтеналивных судов. Кроме того, цинковые сплавы целесообразно использовать для защиты емкостей, в которых не допускается накопление водорода. В остальных случаях рекомендуется применение алюминиевых протекторных сплавов.

В таблице приведены физико-химические характеристики применяемых сплавов для изготовления протекторов, пригодные для сравнительной оценки в целях обоснования их выбора. При расчете и проектировании систем протекторной защиты должны использоваться электрохимические характеристики, которые зависят от величины анодной плотности тока.

Выше перечислены рекомендации из нормативных документов и литературы по данной тематике. В настоящее время анализ статей и изобретений по теме электрохимической защиты от коррозии морских судов показал, что новых технических решений в этой области очень мало, поэтому новые разработки в области совершенствования систем электрохимической защиты от коррозии для морских судов и методов их контроля представляют большую практическую ценность.

Основными направлениями электрохимической защиты кораблей и судов остаются различные виды протекторной и катодной защиты, которые должны обеспечить необходимый потенциал (–0,85 В). Кроме того, для защиты от контактной коррозии при использовании в конструкциях корпуса разнородных металлов предусматриваются конструктивно-технологические решения, обеспечивающие электрохимическое разъединение корпуса и корпусных конструкций (например, корпус корабля – из стали, а надстройка – из алюминиевого сплава). Однако в процессе эксплуатации по различным причинам может происходить сбой в электрохимической защите судна (например, обрыв протекторов, разрушение изоляционных элементов и т. д.). В результате электрическое поле судна существенно отклоняется от допустимых значений, и процессы коррозии начинают протекать интенсивнее. Для оценки коррозионного

Таблица
Физико-химические характеристики сплавов, используемых для изготовления протекторов

Марка сплава	Плотность, г/см ³	Рабочий отрицательный потенциал мВ, (по водородному электроду)	Удельная теоретическая токоотдача, А·ч/кг	Коэффициент полезного использования, %, не менее
АП1	2,8	700	2880	80
АП2	2,7	600	2940	80
АП3	2,8	750	2880	80
АП4	2,8	800	2880	80
ЦП1	7,1	730	820	95
ЦП2	7,1	730	820	95
ЦП3	7,1	730	820	95

* «Морской вестник», 2017, №3(63).

износа корпуса судна необходим активный систематический контроль.

В статьях «Камчатского ГТУ» [5, 6] приводятся методы измерения электрического потенциала протекторов во время эксплуатации судов, а также данные экспериментов, проведенных на судах рыболовного флота и судне обеспечения пр. 141 типа киллектора. Методы, изложенные в статьях, позволяют создать эксплуатационную модель судна для проведения систематического контроля, что может позволить в дальнейшем усовершенствовать электрохимическую защиту корпуса.

Также «Камчатским ГТУ» [5] была выполнен анализ исследований в области совершенствования систем электрохимической защиты, который показал, что с 1992 по 2014 г. новых технических решений появилось очень мало.

Для дальнейшей оценки безопасно-

го уровня электрохимической защиты корпуса судна с применением протекторов из сплава цинка или алюминия и уточнения требований нормативных документов с учетом эксплуатационных особенностей нами предлагается комплексный подход к анализу всех возможных факторов, влияющих на создание единой информационной базы головной организацией по разработке средств и систем электрохимической защиты ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», включающей в себя:

- систематический (периодический) контроль потенциала защитного тока в период эксплуатации судов, замера его значений;
- построение эксплуатационной модели судна в зависимости от районов и интенсивности его плаваний.

По мере накопления информации в базе возможны разработка мероприя-

тий по обеспечению требуемого уровня электрохимической защиты и принятие решений по ее совершенствованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пирогов В.Д.* Коррозия и защита морских судов. – Л.: Судостроение, 1987.
2. *Зобачев Ю.Е.* Коррозия и защита морских судов. Л.: Судостроение, 1973.
3. *Бибииков Н.Н.* Электрохимическая защита морских судов от коррозии. – Л.: Судостроение, 1971.
4. *Горынина И.В.* Материалы для судостроения и морской техники/ Под ред. И.В. Горынина, СПб., Профессional, 2009–2014.
5. Динамика совершенствования систем электрохимической защиты от коррозии стальных корпусов морских судов и методы их контроля/ Вестник Камчатского ГТУ. – Вып. 28, изд. КамчатГУ, 2014 г.
6. Обоснование способа выбора контрольных точек для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов/ Камчатский ГТУ, 2014. ■

Гидравлический удар (гидр удар) в корабельной гидравлической системе (КГС) – это колебательный процесс изменения давления жидкости, вызванный преобразованием кинетической энергии потока в потенциальную при резком перекрытии проходного сечения трубопровода. Известно, что переходные процессы в водопроводных сетях возникают чаще всего при включении и выключении насосов, а также при открытии и закрытии задвижек. По статистике около 60% всех разрушений (прорывов) трубопроводов возникают из-за гидроудара.

В течение всего срока эксплуатации корабельные гидравлические системы испытывают динамические нагрузки (пульсации давления и, связанные с ними, вибрации, гидравлические удары и т. д.). Они возникают при работе нагнетательных установок, срабатывании запорной трубопроводной арматуры, при ошибочных действиях личного состава, аварийных отключениях электропитания, ложных срабатываниях технологических защит и т. п.

Анализ аварийности гидравлических систем корабля показывает [1], что явление гидроудара можно условно разделить на три отдельных группы:

- ошибочные действия личного состава, обслуживающего технику;
- низкая надежность некоторых образцов техники;
- недостатки проектирования КГС.

В настоящее время для борьбы с пульсациями и колебаниями давления и расхода в трубопроводных системах используют воздушные колпаки, аккумуляторы давления, гасители различных типов, ресиверы, дроссельные шайбы, клапаны сброса, стабилизаторы давления и т.п. [9].

МЕТОДЫ РАСЧЕТА И СРЕДСТВА БОРЬБЫ С ГИДРОУДАРОМ В КОРАБЕЛЬНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В. А. Колесник, д-р техн. наук, проф.,

Д. В. Быков, канд. техн. наук, зам. начальника кафедры,

В. И. Ануфриев, преподаватель, капитан 3 ранга,
ВУНЦ ВМФ «ВМФ»,

контакт. тел. +7(921) 341 8771, +7(981) 860 0183, +7(921) 977 7199

Основной общий недостаток подобных устройств – низкое быстродействие (вследствие высокой инерционности груза, характеристик деформации пружины, политропности процесса сжатия воздуха и т.д.). Указанное обстоятельство не позволяет на практике качественно противодействовать гидроудару, так как скорость распространения ударного фронта равна скорости распространения упругих колебаний в среде (т. е. скорости звука), что для воды составляет порядка 1400 м/с. Иными словами, к тому времени, когда гидроаккумулятор погасит энергию удара, волна успеет обойти защищаемую систему несколько раз

и совершить разрушающее воздействие на элементы трубопроводов.

Современный подход к расчету гидроудара – это разработка программных средств определения режимных характеристик и нестационарных гидродинамических процессов в трубопроводных системах.

Основной недостаток существующих компьютерных программ расчета гидроудара – это отсутствие эксперимента, подтверждающего его достоверность. Это указывает на необходимость создания экспериментального стенда для проведения исследований, нацеленных на поиск эффективных способов



Рис 1. Экспериментальный стенд определения параметров гидроудара и испытания устройств гашения ударных скачков давления

расчета гидроудара и защиты корабельных трубопроводов.

На основании изложенного выше на кафедре паровых турбин Военного института (Военно-морского политехнического) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» создан экспериментальный стенд для определения параметров гидроудара и испытания устройств гашения ударных скачков давления (рис. 1).

Экспериментальный стенд определения параметров гидроудара и испытания устройств гашения ударных скачков давления можно условно разделить

на две части: расчетную и гидравлическую. Расчетная часть разделяется на два экрана (рис. 2):

- с программой расчета гидроудара (слева);
- с параметрами работы водопроводной системы (справа).

Программа расчета оформлена в виде отдельного приложения, написанного с помощью пакета графического программирования LabVIEW (рис. 3).

Кратко опишем возможности программы и используемой математической модели.

Для расчета ударного фронта исследуемого участка необходимо ввести в программу расчета исходные данные:

- **параметры перекачиваемой жидкости:** объемный модуль упругости E_j , кН/м², плотность ρ_0 , т/м³;
- **технические характеристики трубопровода:** диаметр трубопровода d , м, длина трубопровода l , м, толщина стенок трубопровода δ , мм, модуль упругости материала трубопровода E , кН/м²;
- **параметры водопроводной системы:** высота воды в источнике или напор насоса H_0 , м. вод. ст., потребный напор в конце трубопровода h_0 , м. вод. ст.

В результате расчетов переходных процессов (в том числе и при возникновении гидравлического удара) в трубопроводных системах получены программные коды:

1. Программный код для расчета потери энергии в водоводе, гидравлического уклона и скорости течения жидкости в трубопроводе при полностью открытой задвижке (рис. 4).

Потеря энергии в водоводе рассчитывается как разница между верхним и нижним уровнями водопровода:

$$H_w = H_0 - h_0, \quad (1)$$

где H_0 – высота воды в источнике или напор насоса (м.вод.ст.); h_0 – потребный напор в конце трубопровода.

Откуда гидравлический уклон:

$$i = \frac{H_w}{l}, \quad (2)$$

где l – длина трубопровода, м.

Скорость течения жидкости в трубопроводе при полностью открытой задвижке

$$v_0 = \sqrt{\frac{2igd}{\lambda}}, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, d – внутренний диаметр трубы, λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения по длине гидравлически труб [7].

Для определения скорости распространения изменения давления или, как ее обычно называют, скорости перемещения ударной волны a , применяют известную формулу Н. Е. Жуковского:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E_j}{\rho_0}}}{1 + \frac{d E_j}{8 E}}, \quad \text{м/с}, \quad (4)$$

где E_j – объемный модуль упругости жидкости, кН/м²; E – модуль упругости материала труб, кН/м²; ρ_0 – плотность жидкости, т/м³; d и δ – диаметр и толщина труб, см.

2. Программный код для расчета скорости распространения давления в трубопроводе с учетом газосодержания (рис. 5).

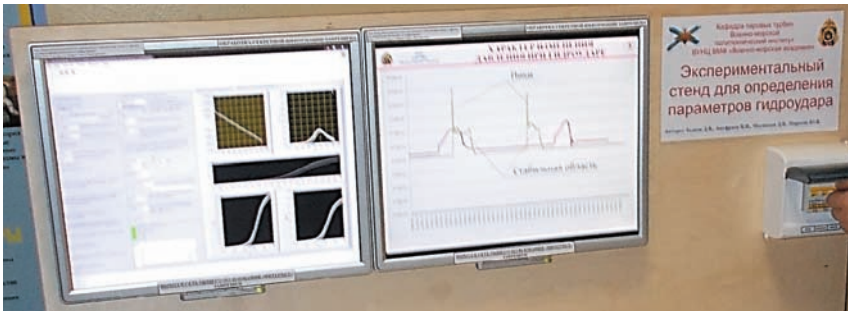


Рис 2. Расчетная часть экспериментального стенда

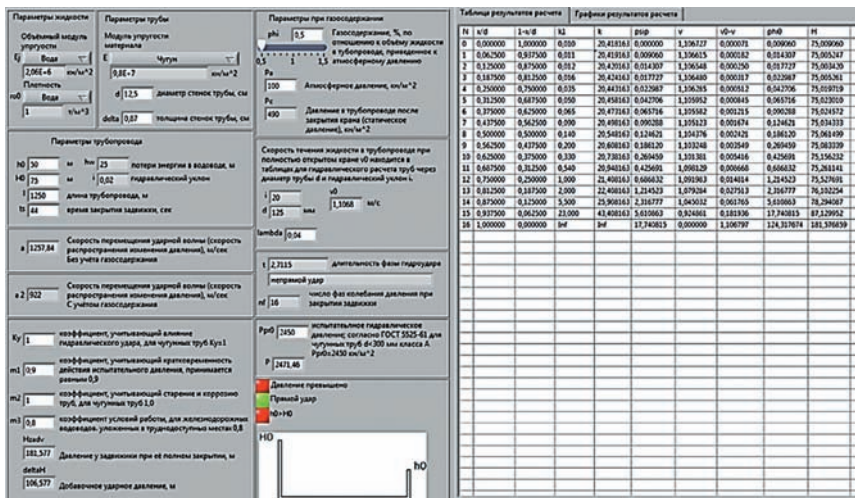


Рис. 3. Интерфейс пользователя программы для расчета гидроудара

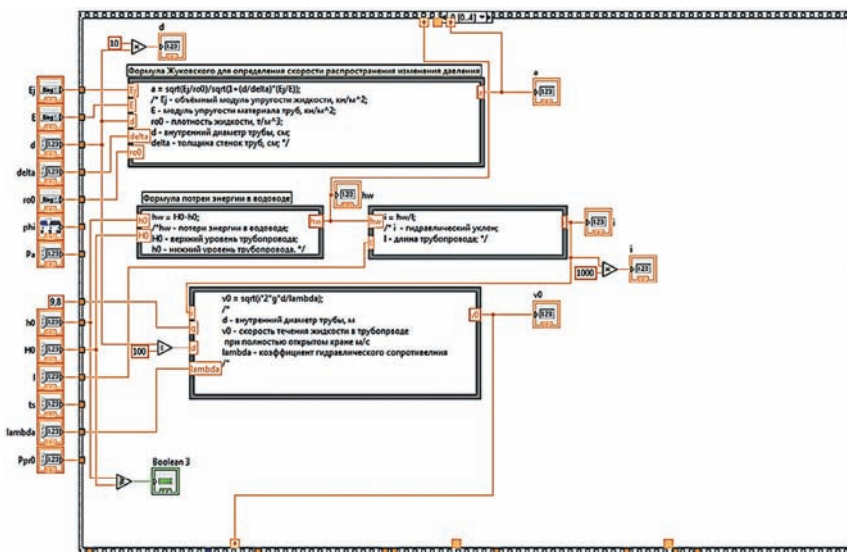


Рис. 4. Программный код для расчета потери энергии в водоводе, гидравлического уклона и скорости течения жидкости в трубопроводе при полностью открытой задвижке

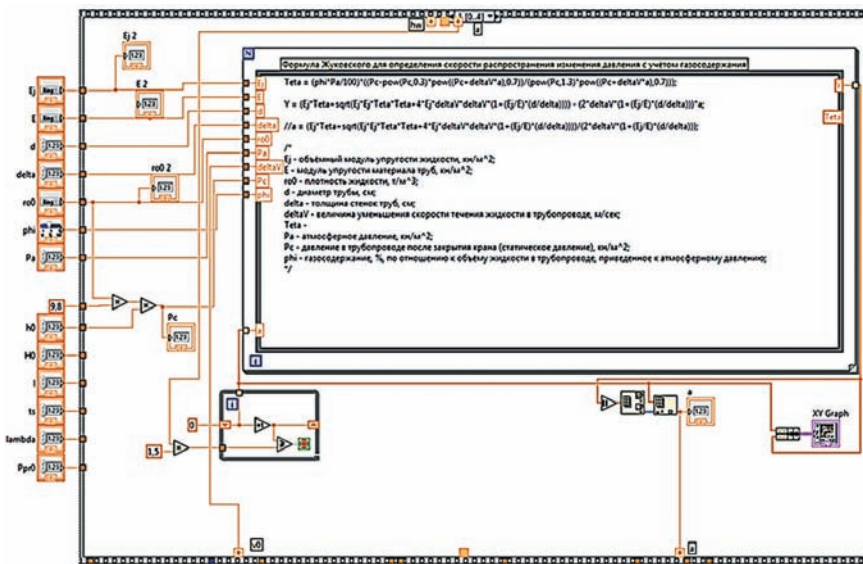


Рис. 5. Программный код для расчета скорости распространения давления в трубопроводе с учётом газосодержания

Для определения скорости распространения давления в водопроводе с учетом пузырьков нерастворенного воздуха предлагается следующая формула [4]:

$$a = \frac{E_{ж} \Theta + \sqrt{E_{ж}^2 \Theta^2 + 4 E_{ж} \Delta v^2 \left(1 + \frac{d E_{ж}}{\delta E}\right)}}{2 \Delta v \left(1 + \frac{d E_{ж}}{\delta E}\right)}, \quad (5)$$

откуда

$$\Theta = \frac{\varphi P_a}{100} \left[\frac{P_c - P_c^{0.3} (P_c + a \Delta v)^{0.7}}{P_c^{1.3} (P_c + a \Delta v)^{0.7}} \right], \quad (6)$$

где φ – газосодержание, %, по отношению к объему жидкости в трубопроводе, приведенное к атмосферному давлению; P_a – атмосферное давление, кН/м² ($P \approx 100$ кН/м²); P_c – давление в трубопроводе после закрытия крана (статическое давление), кН/м²:

$$P_c = \lambda h_0, \quad (7)$$

где h_0 – потребный напор в конце трубопровода; λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения по длине гидравлически труб.

3. Программный код расчета числа фаз колебания давления (рис. 6).

Длительность фазы гидравлического удара определяется по формуле

$$t = \frac{2l}{a}, \quad (8)$$

где l – длина трубопровода, м; a – скорости распространения изменения давления.

В зависимости от скорости закрытия клапана определяем, является ли гидроудар прямым или косвенным:

$$t > t_s, \quad (9)$$

где t_s – время закрытия клапана.

Время закрытия быстродействующей арматуры указаны в их техническом описании.

Расчет числа фаз колебания давления определяется по формуле

$$n_{\phi} = \frac{t}{t_s}. \quad (10)$$

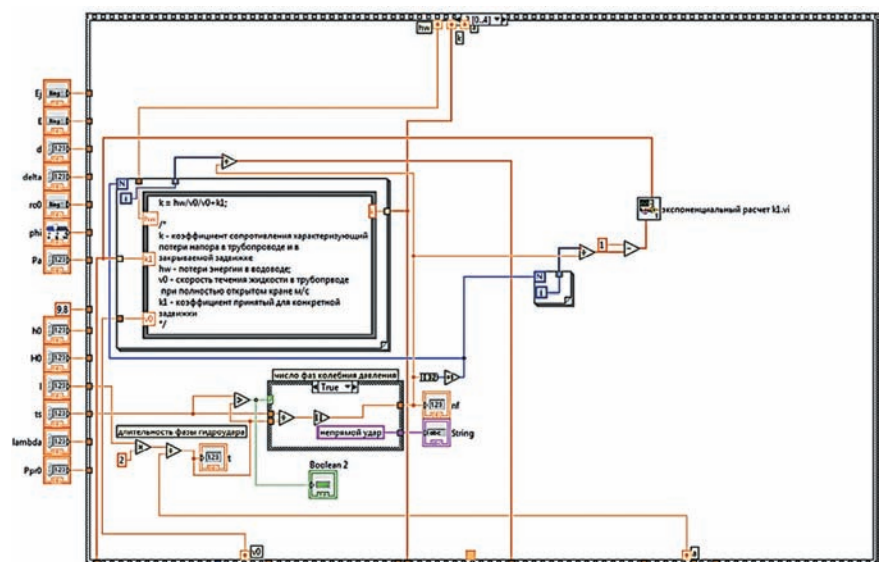


Рис. 6. Программный код для расчета числа фаз колебания давления (числа фаз гидроудара) и расчета коэффициента сопротивления

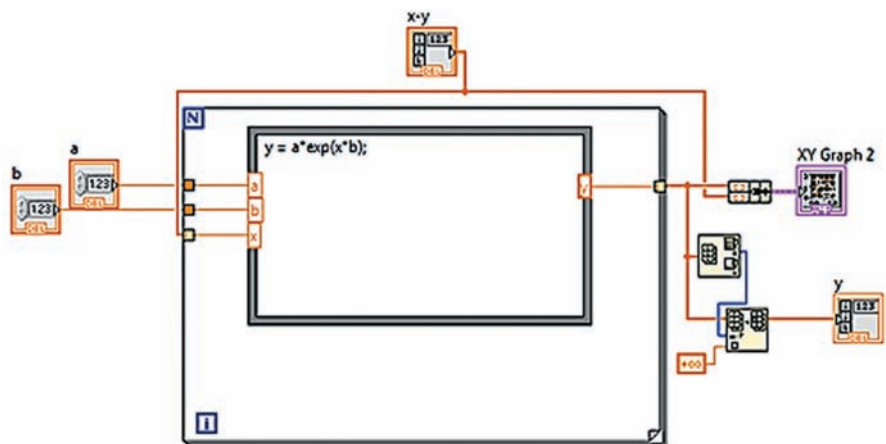


Рис. 7. Экспоненциальный расчет коэффициента сопротивления задвижки

4. Экспоненциальный расчет коэффициента сопротивления задвижки K_1 (рис. 7)

$$k_1 = \xi \frac{l}{2g}, \quad (11)$$

где ξ – коэффициент сопротивления нормальной задвижки при ее частичном прикрытии [14]:

$$\xi = \left[\frac{1,17 - n}{n(0,67 - 0,57)n} - 1 \right]^2, \quad (12)$$

где n – доля открытия задвижки.

Для расчета давления на задвижку необходимо рассчитать скорость движения жидкости у задвижки по формуле

$$v = \left(\frac{a}{2gk} \right) + \sqrt{\left(\frac{a}{2gk} \right)^2 + \left(\frac{H_0 - h_0 + \left(a^* \frac{v_0}{g} \right)}{k} \right) - \left(2^* \frac{\Psi_p}{k} \right)}, \quad (13)$$

где v – скорость в трубопроводе у клапана м/с; a – скорость перемещения ударной волны с учетом газосодержания (скорость распространения измене-

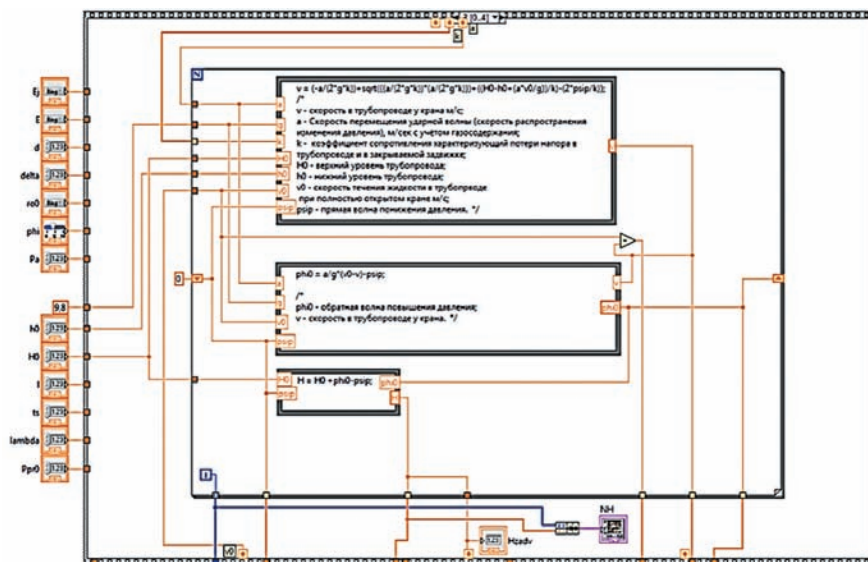


Рис. 8. Расчет таблицы результирующих параметров гидроудара

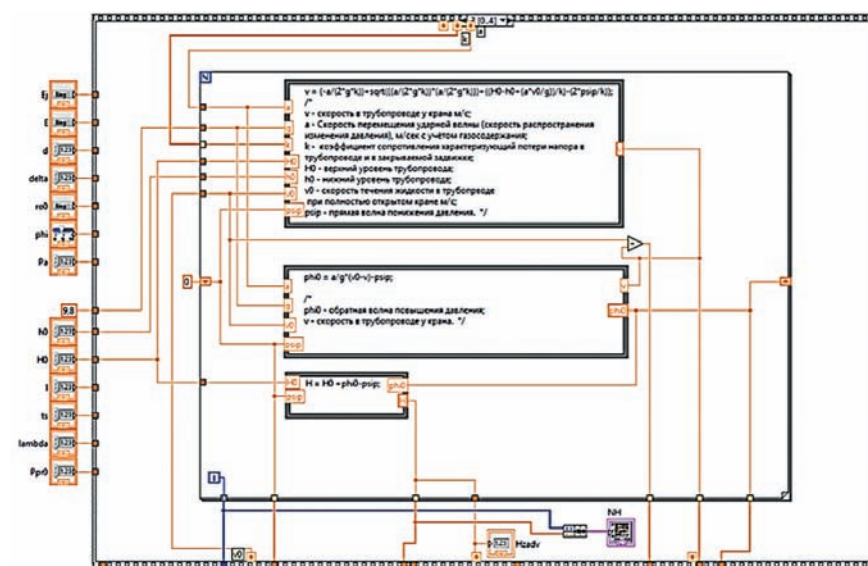


Рис. 9. Программный код для расчета результирующего давления с учетом коэффициентов

ния давления), м/с; k – коэффициент сопротивления характеризующий потери напора в трубопроводе при полностью открытой задвижке, м/с; ψ_p – прямая волна понижения давления.

5. Программный код для расчета результирующего давления с учетом всех коэффициентов (рис. 8 и рис. 9).

Параметры жидкости

Объёмный модуль упругости

Е_j Вода

2,06E+6 кН/м²

Плотность

rho0 Вода

1 т/м³

Параметры трубы

Модуль упругости материала

Е Чугун

9,8E+7 кН/м²

d 12,5 диаметр стенок трубы, см

delta 0,87 толщина стенок трубы, см

Параметры трубопровода

H0 50 м

hw 25 потери энергии в водоводе, м

H0 75 м

i 0,02 гидравлический уклон

l 1250 длина трубопровода, м

ts 44 время закрытия задвижки, сек

N	x/d	1-x/d	k1	k	psip	v	v0-v	phi0	H
0	0,00000	1,00000	0,010	20,418163	0,000000	1,106727	0,000071	0,009060	75,009060
1	0,062500	0,937500	0,011	20,419163	0,009060	1,106615	0,000182	0,014307	75,005247
2	0,125000	0,875000	0,012	20,420163	0,014307	1,106548	0,000250	0,017727	75,003420
3	0,187500	0,812500	0,016	20,424163	0,017727	1,106480	0,000317	0,022987	75,005261
4	0,250000	0,750000	0,035	20,443163	0,022987	1,106285	0,000512	0,042706	75,019719
5	0,312500	0,687500	0,050	20,458163	0,042706	1,105952	0,000845	0,065716	75,023010
6	0,375000	0,625000	0,065	20,473163	0,065716	1,105582	0,001215	0,090288	75,024572
7	0,437500	0,562500	0,090	20,498163	0,090288	1,105123	0,001674	0,124621	75,034333
8	0,500000	0,500000	0,140	20,548163	0,124621	1,104376	0,002421	0,186120	75,061499
9	0,562500	0,437500	0,200	20,608163	0,186120	1,103248	0,003549	0,269459	75,083339
10	0,625000	0,375000	0,330	20,738163	0,269459	1,101381	0,005416	0,425691	75,156232
11	0,687500	0,312500	0,540	20,948163	0,425691	1,098129	0,008668	0,686832	75,261141
12	0,750000	0,250000	1,000	21,408163	0,686832	1,091983	0,014814	1,214523	75,527691
13	0,812500	0,187500	2,000	22,408163	1,214523	1,079284	0,027513	2,316777	76,102254
14	0,875000	0,125000	5,500	25,908163	2,316777	1,045032	0,061765	5,610863	78,294087
15	0,937500	0,062500	23,000	43,408163	5,610863	0,924861	0,181936	17,740815	87,129952
16	1,000000	0,000000	Inf	Inf	17,740815	0,000000	1,106797	124,317674	181,576859

Рис. 10. Задание начальных параметров (слева) и таблица результирующих параметров гидроудара (справа)

В процессе расчета и по его завершении пользователю для анализа переходных процессов программа предоставляет следующую информацию (рис. 10):

- в процессе расчета пользователь имеет возможность изменять начальные условия эксперимента и наблюдать последствия этих изменений в реальном времени.
 - по результатам расчета строится графики зависимости давления от фазы гидроудара и заполняется таблица значений параметров гидроудара
- На основании полученных расчетных данных программа строит графики (рис. 11):

- зависимости давления у задвижки в метрах столба жидкости от фазы гидроудара;
- зависимости прямой волны понижения давления от степени закрытия задвижки;
- зависимости обратной волны повышения давления от степени закрытия задвижки.

Второй экран предназначен для снятия параметров в контуре:

- расхода воды по контуру циркуляции;
- давления в контуре, возникающего при изменении режимов работы системы (закрытие/открытие быстрозапорной арматуры, изменение режима работы насоса).

Гидравлическая часть представляет собой водопроводную систему (рис. 12), которая включает: расширительный бак; фильтр тонкой очистки; центробежный насос; расходомер; преобразователь давления; съемный участок (для установки и испытания глушителя гидроудара); дистанционный быстрозапорный клапан.

Опыт применения существующих гасителей показывает, что для защиты водопроводных систем в основном используют разрывные мембраны, гидроаккумуляторы, стабилизаторы давления, автоматические клапаны защиты от гидроудара. Такие устройства в ко-

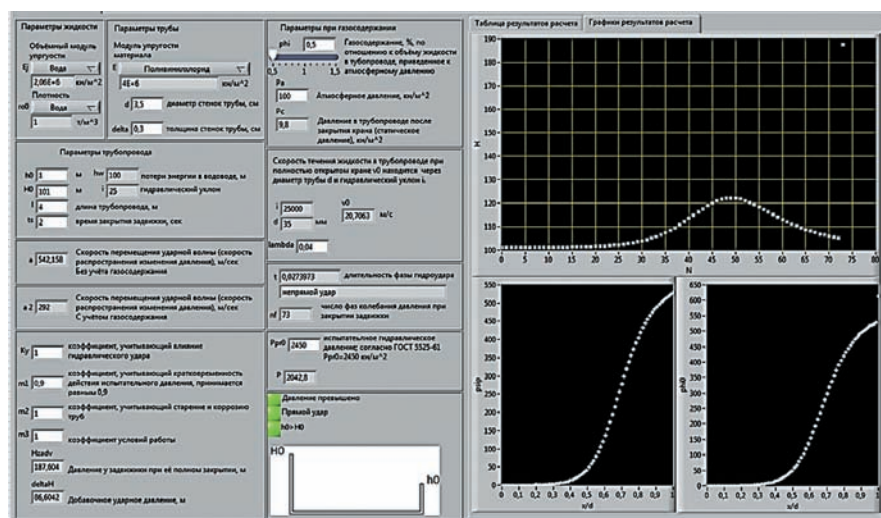


Рис. 11. Графики основных зависимостей

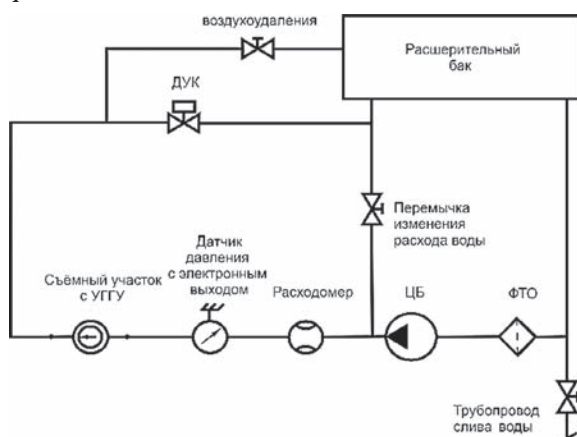


Рис. 12. Гидравлическая схема экспериментального стенда для определения параметров гидроудара и испытания устройств гашения ударных скачков давления

рабельных системах применять невозможно по следующим причинам:

- из-за больших массогабаритных характеристик;
- недопущения потери технологических сред (вода, масло, гидравлика, топливо);
- недостаточного быстродействия.

На основании выше приведенного кафедрой паровых турбин ВМПИ разработан и испытан универсальный гаситель гидроудара (рис. 13), который опробован на экспериментальном стенде (рис. 12) для определения параметров

гидроудара и испытания устройств гашения ударных скачков давления и показал свою эффективность.

Снижение ударного давления обусловлено тем, что в УГГУ плоская ударная волна, распространяющаяся по трубопроводу, преобразуется в камере гашения в сферическую, вследствие чего по пути распространения волнового фронта падают удельная энергия ударной волны и ударное давление. Наличие перфорированной мембраны вызывает диссипацию энергии при перетекании жидкости, являющуюся следствием

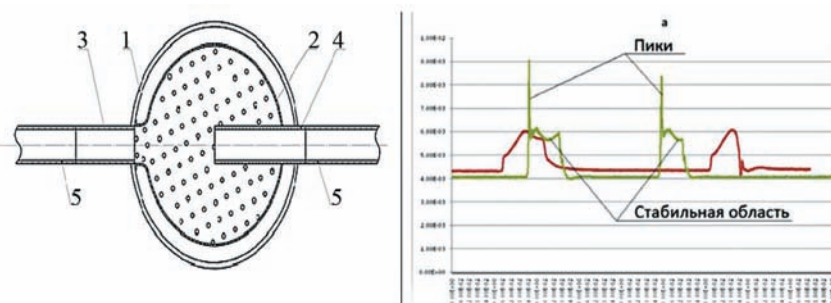


Рис. 13. Универсальный гаситель гидроудара (УГГУ)

1 – камера гашения; 2 – перфорированная мембрана; 3 – выходной патрубок; 4 – входной патрубок; 5 – присоединяемые участки трубопровода

деформационного движения, через отверстия перфорации, что препятствует формированию отраженной ударной волны.

Разработанная конструкция предохранительного устройства и полученные уравнения математической модели могут быть использованы для проектирования и совершенствования средств защиты гидравлических систем кораблей ВМФ от гидравлического удара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриев В. И. Анализ аварийности в гидравлических системах корабля вследствие гидроудара. – Науч.-истор. конфер. «220 лет военно-морскому образованию России»: сб. науч. тр./Военно-морской политехнический институт. – СПб.: Изд. ВМПИ, 2018.
2. Быков Д. В., Ануфриев В. И., Черкашин И. Н. Анализ физики процессов, проходящих в элементах гидравлических систем при гидравлическом ударе//Проблемы развития политехнического образования и военной науки: сб. науч. тр./Военно-морской политехнический институт. – СПб.: ВМПИ, 2017.
3. Дикаревский В. С. Расчеты по гидравлическому удару: Учеб. пособие. – Л., 1968.
4. Дикаревский В. С., Маркин А. А. Скорость распространения волны гидравлического удара в водоводах//Водоснабжение и санитарная техника. – 1967.- № 2. – С. 17–19.
5. Жуковский Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. – М.-Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит-ры, 1949.
6. Мошин Ф. А. Тимофеева Е. Т. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. – М.: Госстройиздат, 1961.
7. Таблицы для гидравлического расчета: стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. – Изд 5-е доп./Ф. А. Шевелев. – М.: Книга по Требованию, 2013. – 116 с.
9. Инструкция к программе расчета гидравлического удара «Гусар-1». – М.: Изд. ЦНИПИИАСС, 1975.
10. Руководство пользователя. Расчет гидравлического удара водопроводной сети ZuluGIS/OOO Политерм. – <http://www.politerm.com/zuludoc80/webhelp/index.html>, 2018.
11. Отчет НИР «Гидроудар» ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», исх. № 003/630/06 от 16.01.2018.
12. Технические происшествия на атомных подводных лодках ВМФ. 1988–1994 г. – М.: Воениздат, 1994.
13. Шевелёв Г. М., Кузьмичев П. В., Зайцев П. Н., Гретченко А. Т., Арестов С. В. Анализ аварийности подводных лодок и проблем обеспечения живучести: монография издана в ВМПИ. – Т. 2. – 2014.
14. Теплоэнергетика и теплотехника: Справ. электронная версия. – Кн. 4 / Под общей ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. – 4-е изд. – ИД МЭН, 2007.
15. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справ./Под общей ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – Кн. 4. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

Системы управления ядерной энергетической установкой (СУ ЯЭУ) корабля появились одновременно с первой атомной подводной лодкой (АПЛ) пр. 627.

Начиная с первой АПЛ, состав СУ ЯЭУ принципиально не изменялся. Это система регулирования, управления и защиты реактора; система регулирования подачи питательной воды в парогенераторы; дискретная система автоматического управления защиты оборудования ЯЭУ и локальные системы регулирования основного оборудования ЯЭУ, входящие в состав этого оборудования. Таким образом, в СУ изначально соединились как системы регулирования составных частей ЯЭУ (паропроизводящая установка – ППУ, паротурбинная установка – ПТУ, другое оборудование), так и дискретная система управления ЯЭУ в целом.

Комплексная система управления техническими средствами (КСУ ТС) корабля появилась на АПЛ пр. 705 и прочно утвердилась на АПЛ третьего и четвертого поколений. При этом развитие КСУ ТС в ЯЭУ свелось в основном к замене из поколения в поколение элементной базы, а в системах АПЛ четвертого поколения элементная база вслед за прогрессированием средств вычислительной техники менялась уже несколько раз, при этом практически не менялись принципы построения КСУ ТС.

Следует отметить, что в процессе развития при уменьшении функции СУ ЯЭУ происходит увеличение габаритов систем, вызванное все возрастающими требованиями нормативной документации к ядерной и радиационной безопасности управляющих систем безопасности и увеличением объема аппаратуры контроля самих СУ. Так, например, по сравнению с пр. 705 из систем управления третьего поколения исключена аппаратура автоматического пуска, кроме этого, на пр. 705 в состав КСУ ТС и, соответственно, в СУ ЯЭУ входили источники информации (ИИ) и исполнительные органы (ИО) технических средств, а в системах третьего поколения из состава систем они были исключены, но при этом габариты КСУ ТС значительно увеличились. ИИ удалось вернуть только в состав КСУ ТС четвертого поколения, а ИО так и остались в объекте управления.

Согласно теории автоматического регулирования, объект управления, источники информации (датчики и сигнализаторы), исполнительные органы, аппаратура преобразования и логической обработки сигналов, а также технологические линии связи между этими составными частями должны быть единой системой, т.е. система регулирования совместно с датчиками и исполнительными органами должна

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ И ЕЕ МЕСТО В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ КОРАБЛЯ

В.В. Замуков, канд. техн. наук, доцент, науч. руководитель по ЭУ и СУ ЭУ,
М.И. Романова, инженер 1-й категории,
Д.В. Сидоренков, канд. техн. наук, начальник сектора,
В.А. Михайлов, начальник сектора, АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 8517

входить в состав оборудования, параметры которого они регулируют.

При этом следует решать вопросы вхождения ИИ и ИО (пускателей, распределителей клапанов) в системы управления независимо от их поставки. Поставка их возможна отдельно от системы управления по заказным ведомостям проектанта непосредственно на завод-строитель для их монтажа и стыковки с СУ, для дальнейших испытаний СУ (шв артовные испытания, комплексные швартовные испытания, заводские ходовые испытания и государственные испытания заказа) по программам и методикам испытаний заказа.

Однако до сегодняшнего дня в СУ ЯЭУ этому критерию соответствовала лишь система регулирования параметров (СРП) ПТУ (температуры масла, температуры воды в системе охлаждения генераторов, частоты вращения главной турбины и др.), в которой датчики параметров, исполнительные органы и сама система входят в состав ПТУ. Техническое задание на проектирование системы выдает проектант ПТУ, и система проектируется и изготавливается по договору с ним же.

Испытания СРП проходят в три этапа: первый этап – на заводе-изготовителе СРП по программам и методикам разработчика СРП; второй этап – на стенде завода-изготовителя ПТУ совместно с установкой по программам и методикам испытаний ПТУ и с присвоением литеры «О» ПТУ и СРП ПТУ; третий этап – при проведении комплексных швартовных испытаний ЯЭУ, заводских ходовых и государственных испытаний корабля по программам и методикам его проектанта с присвоением литеры «О1» ПТУ и СРП ПТУ по окончании всех видов испытаний [1, 2].

На первом этапе испытаний всех СУ и КСУ ТС в целом на стендах завода-изготовителя систем управления в качестве ИИ и ИО сегодня применяют имитаторы ИИ и ИО. В дальнейшем целесооб-

разно в состав испытательных стендов в каналы управления включать корабельные образцы ИИ и ИО из номенклатуры применяемых на корабле датчиков и сигнализаторов параметров, пускателей и распределителей клапанов (хотя бы по одному штатному корабельному ИИ и ИО в каждый канал системы) для исключения нестыковок в штатном канале управления при дальнейших испытаниях КСУ в условиях корабля.

В системе же регулирования, управления и защиты (СУЗ) реактора, которая в первую очередь является системой регулирования, а уже во вторую очередь выполняет функцию управления и защиты, датчики параметров (ионизационные камеры, датчики температуры и др.), исполнительные органы (компенсирующие решетки, стержни аварийной защиты) входят в состав ППУ, а собственно сама аппаратура СУЗ входит в состав КСУ ТС. Таким образом, создан «искусственный стык» между объектом управления, датчиками параметров, исполнительными органами и собственно аппаратурой СУЗ, что «размывает» ответственность за правильность происхождения сигнала управления по всему каналу управления от датчика до исполнительного органа. Технические задания на СУЗ выдает проектант ППУ, а проектируется и изготавливается система по договору с ЦКБ – проектантом корабля (рис. 1).

И только на одном из последних заказов АО «СПМБМ «Малахит» удалось приблизиться к классике – включить в состав ППУ систему СУЗ. Тем самым удалось исключить «юридический стык» между органами воздействия на реактивность, приборами контроля, входящими в состав ППУ, и аппаратурой СУЗ, реализующей математические законы регулирования и защиты реактора. Кроме выдачи техзадания проектант ППУ теперь заключает с разработчиком СУЗ и договор на разработку и изготовление системы (рис. 2).

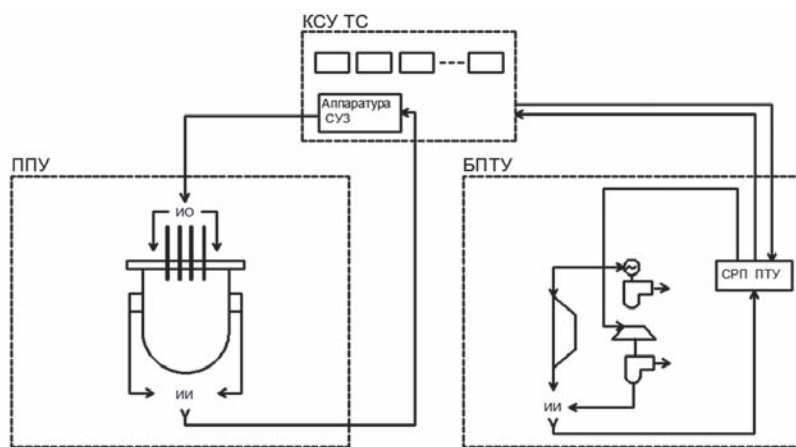


Рис. 1. Состав СУ ТС, ППУ и БПТУ. Вариант 1

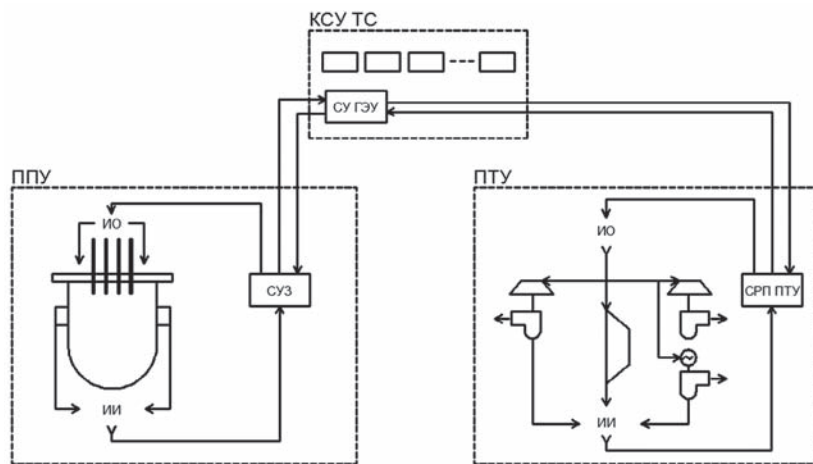


Рис. 2. Состав СУ ТС, ППУ и ПТУ. Вариант 2

Испытания же СУЗ должны проходить в два этапа: первый этап – совместно с приводами исполнительных органов и другими системами СУ ЯЭУ на стенде изготовителя СУЗ с присвоением литеры «О»; второй этап – совместно с ППУ при проведении комплексных швартовых испытаний ЯЭУ, заводских ходовых и государственных испытаний корабля по программам и методикам проектанта с одновременным присвоением литеры «О1» ППУ и СУЗ по окончании всех видов испытаний [1].

На последних заказах АО «СПМБМ «Малахит» для обеспечения требуемых виброшумовых характеристик (ВШХ) подача питательной воды в парогенераторы (ПГ) регулируется частотой вращения турбопитательных насосов. В ЯЭУ предыдущих поколений регулирование подачи питательной воды в ПГ осуществлялось за счет поддержания постоянного перепада давления на питательном клапане, такая система регулирования для обеспечения более жестких требований к ВШХ не имеет перспектив для развития.

Аппаратура, регулирующая частоту вращения насосов в зависимости от заданного расхода, входит в состав системы регулирования расходом питательной воды (в составе КСУ ТС),

а исполнительные органы – клапаны, регулирующие расход пара на турбины насосов (и тем самым изменяющие частоту вращения насосов), входят в состав ПТУ. Таким образом, данная система далека от «классики» и образует искусственный «стык» между исполнительных органов и аппаратурой системы регулирования (рис. 3).

СВ этой связи целесообразно предложить следующий логический шаг, вытекающий из одного из предназначений

ПТУ (кстати, записанный в ТУ на систему) – с целью обеспечения подачи питательной воды в ПГ включить систему регулирования расходом питательной воды в состав ПТУ. Однако, учитывая, что данная СУ – это «задатчик» мощности ядерной установки, такой шаг требует дальнейшей детальной проработки и отдельного решения. При этом очевидно, что независимо от варианта возможного решения, первый этап испытаний системы должен проходить совместно с другими СУ ЯЭУ на стенде завода-изготовителя КСУ ТС (рис. 4).

Дискретная система автоматического и дистанционного управления оборудованием ЯЭУ проектируется по техническому заданию, выдаваемому ЦКБ-проектантом АПЛ, опытный образец системы изготавливается также по договору с ЦКБ-проектантом. Исходными данными, являющимися приложением к техническому заданию на создание системы, служат разработанные проектантом АПЛ алгоритмы функционирования оборудования ЯЭУ. Таким образом, ЦКБ-проектант несет, бесспорно, полную ответственность за правильность исходных алгоритмов автоматического управления защиты ЯЭУ, выдаваемых разработчику СУ.

Также следует отметить, что на последних заказах АО «СПМБМ «Малахит» в состав ЯЭУ вошла система технического диагностирования (СТД) оборудования ПТУ и ППУ. Причем СТД ПТУ, реализующая алгоритмы технического диагностирования оборудования от датчиков теплотехнического контроля и датчиков вибрации механизмов ПТУ, разработанная проектантом ПТУ и выдающая обобщенные информационные сигналы оператору ЯЭУ в СУ ГЭУ, вошла в состав ПТУ. СТД ППУ, реализующая алгоритмы технического диагностирования оборудования ППУ, разработанная проектантом ППУ, от датчиков теплотехнического

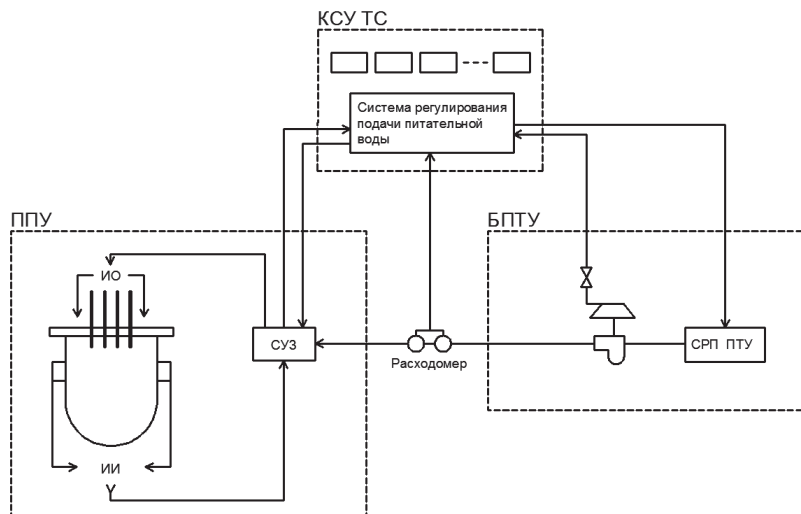


Рис. 3. Состав СУ ТС, ППУ и БПТУ. Вариант 3

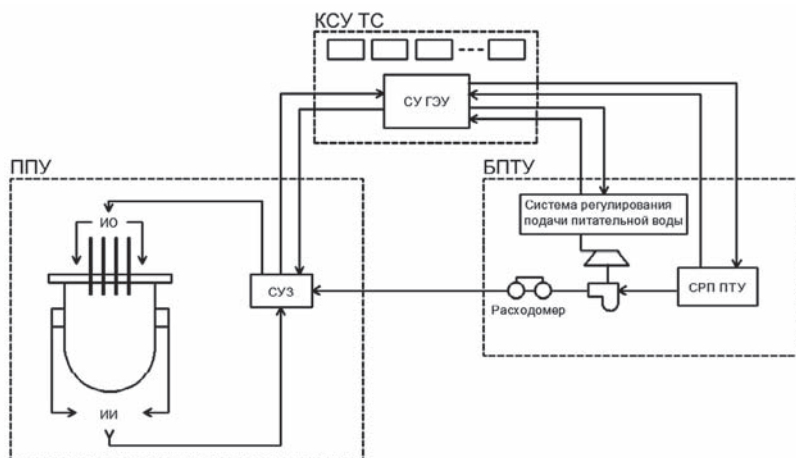


Рис. 4. Состав СУ ТС, ППУ и БПТУ. Вариант 4

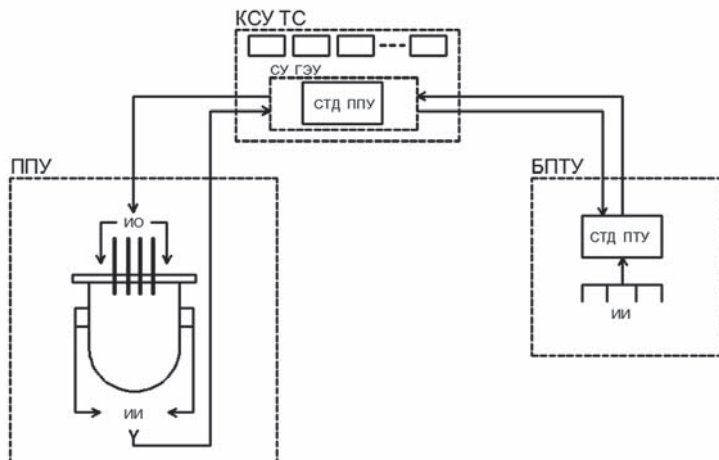


Рис. 5. Состав СУ ТС, ППУ и БПТУ. Вариант 5

контроля ППУ входит в состав СУ ЯЭУ (рис. 5).

Для единообразия структуры СТД ППУ и СТД ПТУ в перспективе целесообразно ввести СТД ППУ в состав ППУ отдельной аппаратурой с поставкой комплексным поставщиком ППУ по аналогии с ПТУ и с выдачей обобщенных информационных сигналов в СУ ГЭУ (рис. 6).

Следует рассмотреть вопрос о статусе СУ ЯЭУ в составе КСУ ТС.

К СУ ЯЭУ как к управляющей системе безопасности (УСБ) предъявляются специфические, достаточно жест-

кие требования в соответствии с нормативной технической документацией по ядерной и радиационной безопасности: «Общими положениями обеспечения ядерной и радиационной безопасности корабельных ядерных энергетических установок» (ОПБ-К-98/05) и «Правилами ядерной безопасности корабельных ядерных энергетических установок» (ПБЯ-В.08–88/05), принятыми в настоящее время (такие, как соответствие СУ критерию единичного отказа в первоначальной редакции ПБЯ и критерию единичного отказа и одного скрытого

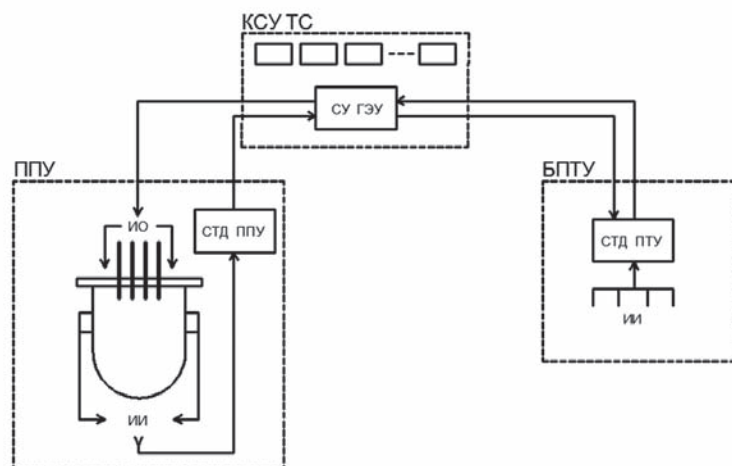


Рис. 6. Состав СУ ТС, ППУ и БПТУ. Вариант 6

отказа в аппаратуре УСБ – см. ПБЯ-В.08–88/05). В этой связи при дальнейшей глубокой интеграции СУ ЯЭУ в состав КСУ ТС часть этих требования будет предъявляться и к КСУ ТС в целом, что, в свою очередь, повлечет изменение структуры и значительное увеличение габаритов систем, входящих в КСУ ТС.

Поэтому проектирование системы СУ ЯЭУ рационально вести со своей локальной сетью обмена данными, тогда только к ней будут предъявляться требования к ядерной и радиационной безопасности. Также целесообразно рассмотреть вопрос о присвоении СУ ЯЭУ статуса групповой системы со своими техническими условиями на поставку.

При таком подходе появляется четкость в структуре СУ ЯЭУ и в требованиях к функционированию, разработке и испытаниям такой сложной единой системы, как «объект (ЯЭУ) – система регулирования, управления и защиты (СУ ЯЭУ)».

Однако некоторое время назад в угоду упрощения аппаратных решений в СУ начали рассматривать и внедрять в КСУ ТС структуры, размывающие единство системы «объект–СУ» и, соответственно, ответственность разработчика объекта за работоспособность всего канала – «источник информации–аппаратура–системы управления–исполнительный орган объект–источник информации» [2].

Кроме того, по нашему мнению, в атомной энергетике должен присутствовать принцип «здорового консерватизма» – переход на новые принципы управления, изменения, носящие структурный, принципиальный характер в технических решениях, должны тщательно прорабатываться и обсуждаться специалистами заинтересованных организаций, а окончательные решения, как решения, влияющие на вопросы ядерной и радиационной безопасности, следует принимать, возможно, даже на уровне секции НТС ГК «Росатом».

В данной статье рассмотрен вариант оптимизации структуры управления ЯЭУ применительно к АПЛ. Однако, по нашему мнению, структура СУ ЯЭУ должна быть единой как для гражданских транспортных ЯЭУ, так и для АПЛ и кораблей ВМФ, так же как и требования к их испытаниям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Замуков В.В. Особенности испытаний головных атомных энергетических установок для кораблей ВМФ//Судостроение. – 2010. – № 5.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – СПб.: Профессия, 2003. ■

История развития средств вторичного электропитания, в частности источников вторичного электропитания и преобразовательных устройств, началась еще в середине XX в. Развитие и совершенствование этого класса устройств и приборов проходило одновременно по нескольким направлениям. Чаще всего совершенствовались отдельные типы и разновидности схемотехнических решений. При этом улучшались технические характеристики в таких классах устройств, как, например, импульсные (ключевые) стабилизаторы и всевозможные преобразователи одного вида и формы напряжения, отличающиеся по форме и величине. Для улучшения выходных параметров исследовались различные типы преобразователей, от однотактных до двухтактных полумостовых и мостовых.

Кроме этого, в блоках питания применялись различные комбинации вышеназванных структур. Например, использовались методы стабилизации (регулирования) как входных напряжений путем установки стабилизатора перед узлом преобразования энергии, так и регуляторов, устанавливаемых после преобразующего звена. В частности, они могли питаться и от вторичных обмоток силового трансформатора преобразователя.

В настоящее время основное внимание специалистов сосредоточено на создании высокоэффективных источников питания, построенных на основе высокочастотных регулируемых преобразователей. Специалисты АО «НПФ «Меридиан» также заинтересованы в использовании преобразователей подобного типа, поскольку изготовление аппаратуры для ВМФ РФ предполагает наличие более жестких требований по массогабаритным характеристикам. Данная тема особенно актуальна при разработке систем компенсации магнитных полей, так как мощные преобразовательные устройства, входящие в состав этих систем, имеют значительные массогабаритные характеристики. АО «НПФ «Меридиан» поставляет системы АМК-51 на такие проекты 22800, 21631, 23900, 11661 и другие, при этом поставляемая аппаратура по своим характеристикам отличалась в лучшую сторону. Прогрессирование элементной базы дает возможность для дальнейшего улучшения качества поставляемых устройств в перспективе, поэтому в настоящее время разработчики АО «НПФ «Меридиан», используя полученный опыт, прорабатывают возможности внедрения схем, работающих в режиме квазирезонансной коммутации, в свои изделия для улучшения массогабаритных характеристик систем, увеличения КПД устройств и для обеспечения электромагнитной совместимости.

В данный момент можно выделить два основных режима работы импульсных источников питания: жесткой коммутации силовых полупроводников и квазирезонансный.

В данной статье речь пойдет о квазирезонансном режиме в силу его неоспоримых преимуществ по сравнению с режимом жесткой коммутации силовых полупроводников. *Квазирезонансными преобразователями* называются преобразователи, в которых используются электрические цепи с индуктивными и емкостными элементами для коммутации ключей со снижением потерь мощности при коммутации.

В первую очередь, стоит рассмотреть достоинства и недостатки квазирезонансных электрических схем.

Их достоинства:

- «мягкая» коммутация силовых электронных ключей за счет включения их в нуль тока и выключения в нуль напряжения, а также уменьшение значения и

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАЗИРЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ КОРАБЕЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Е.А. Густякова, инженер,

*В.В. Фогель, инженер 2-й категории, АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0375, доб. 134*

скорости изменения коммутируемых токов и напряжения в цепях;

- снижение коммутационных потерь и повышение рабочей частоты преобразователя, что ведет к уменьшению размеров реактивных элементов схемы;
- улучшение электромагнитной совместимости преобразователя с другими техническими средствами и окружающей средой.

Недостатки:

- сложность расчета магнитной системы, требующая высокой компетенции разработчика;
- сложность в проектировании преобразователей;
- необходимость учета влияния паразитных параметров схемы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Суть работы квазирезонансного режима коммутации ключей состоит в отсутствии «жестких» траекторий переключения за счет использования резонансных явлений в индуктивных и емкостных элементах, которые соединены с полупроводниковым ключом. Поскольку явление резонанса связано с возникновением колебательных процессов в резонансном LC-контуре, то создаются условия для переключения ключа в нуль тока или в нуль напряжения в зависимости от схемы и типа квазирезонансного ключа. В связи с нелинейностью полупроводникового ключа на интервалах коммутации форма тока или напряжения в контуре, включающем коммутируемый ключ, является несинусоидальной и не соответствующей законам, описывающим резонансные явления.

Также стоит отметить, что длительность колебаний обычно не превышает одного или двух полупериодов из-за перехода схемы после переключения ключа в новое состояние с другим числом переменных, описывающих траекторию изменения рассматриваемых параметров. Поэтому схемы, реализующие рассматриваемый принцип коммутации, называются схемами с квазирезонансной коммутацией.

Квазирезонансный режим применяется для снижения мгновенных потерь мощности при переключении полупроводниковых элементов за счет «мягкой» коммутации. При этом уменьшаются значения di/dt и du/dt на коммутируемых ключах, что способствует уменьшению уровня электромагнитных помех.

Квазирезонансный режим получил наибольшее практическое применение в преобразователях постоянного тока в постоянный. В таких преобразователях дополнительно к полупроводниковым как одно-, так и двунаправленным ключам подключаются дроссели и конденсаторы с малыми значениями индуктивности и емкости. В отдельных случаях, например при высоких частотах коммутации, в качестве таких параметров могут использоваться собственные емкостные и индуктивные параметры ключей, традиционно относящихся к «паразитным». Естественно, что перевод этих параметров в

категорию функционально необходимых требует специальных технологий. Использование индуктивных и емкостных элементов, связанных с полупроводниковыми ключами, позволяет формировать желаемые траектории переключения ключей, решая задачи «мягкой» коммутации. По существу эти элементы являются малодиссипативными цепями формирования траектории переключения или снабберами. Свойство малодиссипативности вытекает из отсутствия в явном виде в этих цепях резистивных элементов.

Существует две категории основных категории квазирезонансных схем: с коммутацией в нуле тока и схемы с коммутацией в нуле напряжения.

Рассмотрим схемы с коммутацией в нуле тока (КНТ). В схеме с переключением при нуле тока выходное напряжение регулируется или стабилизируется изменением длительности запертого состояния транзистора. На рис. 1 представлены типовые схемы одно- и двунаправленных ключей для коммутации в нуле тока. Функции полупроводниковых ключей могут выполнять различные управляемые ключи, в частности, транзисторы, дополненные диодом, включенным последовательно или встречно-параллельно. Конденсатор емкостью C_p и дроссель индуктивностью L_p , соединенные с ключом, являются элементами резонансного контура для создания колебаний тока частотой $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_p C_p}}$; при включении однонаправленного

ключа (рис. 1, а, б) ток нарастает плавно с нулевого значения $i_L(0) = i_{VT}(0)$. В $L_p C_p$ -контуре возникает колебательный процесс, и при прохождении тока i_L через нуль на интервале первого полупериода ключ выключается.

Поскольку в рассмотренном случае протекание тока в ключе происходит на интервале одного полупериода, такой режим работы квазирезонансных преобразователей называют однополупериодным. Включение двунаправленного ключа (рис. 1, в, г) также связано с плавным нарастанием тока и с последующим возникновением колебательного процесса на частоте ω_0 .

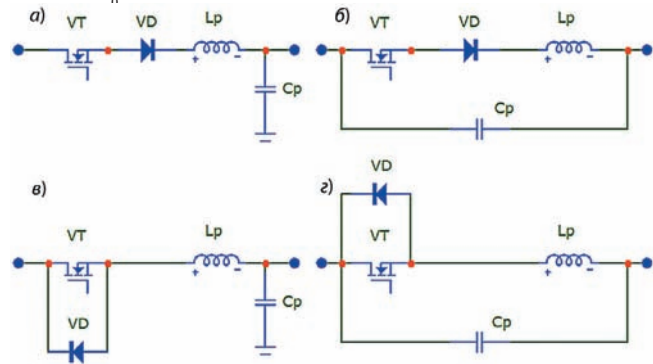


Рис. 1. Ключи с коммутацией в нуле тока: а, б – однополупериодные, в, г – двухполупериодные

Длительность колебательного процесса должна соответствовать полному периоду колебаний, так как отрицательная полуволна тока протекает во встречно-параллельно включенном диоде VD . Такие ключи называются двухполупериодными. Выключение ключа также происходит при нулевом значении тока i_L , но в конце второго полупериода.

Таким образом, однополупериодные ключи с КНТ выполняются на основе однонаправленных ключей, а двухполупериодные – на основе двунаправленных. Далее при рассмотрении квазирезонансных преобразователей будут использоваться термины «одно- и двухполупериодные», так как они в большей мере отражают характерные свойства преобразователей.

Рассмотрим режим с коммутацией в нуле напряжения (КНН). В схеме с переключением при нуле тока выходное напряжение регулируется или стабилизируется изменением длительности открытого состояния транзистора. Схемы ключей

для квазирезонансной коммутации в нуле напряжения приведены на рис. 2. Как и в схеме ключей типа КНТ, элементы L_p и C_p создают колебания на резонансной частоте ω_0 . Из топологии схем видно, что схемы ключей с КНТ и КНН дуальны. Параллельное подключение конденсатора C_p к полупроводниковому ключу позволяет осуществлять переключение в нуле напряжения подобно переключению посредством индуктивности L_p в нуле тока в схемах на рис. 1. В схемах с двунаправленным ключом (см. рис. 2, а, б) диод VD шунтирует отрицательную полуволну колебаний. Поэтому ключи работают в однополупериодном режиме. При включении диода последовательно с ключом (см. рис. 2, в, г) схема будет работать в двухполупериодном режиме.

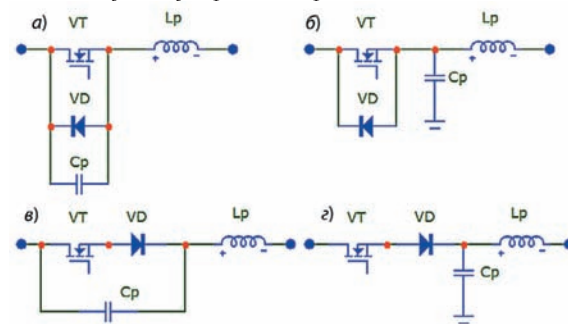


Рис. 2. Ключи с коммутацией в нуле напряжения: а, б – однополупериодные, в, г – двухполупериодные

Реактивные элементы, используемые в схеме, позволяют включать и выключать ключи при нулевом значении напряжения. Большинство схем преобразователей постоянного тока в постоянный выполняются на основе ключей типа КНТ или КНН. На выбор типа ключа влияют различные технико-экономические факторы. Среди них можно выделить наиболее существенные:

- ключи с КНТ повышают максимальное значение тока более чем в 2 раза по сравнению со средним значением тока нагрузки;
- ключи с КНН значительно повышают максимальное значение напряжения на ключе по отношению к входному напряжению преобразователя;
- наличие собственной емкости полупроводникового ключа с КНТ вызывает дополнительные токи при включении, что повышает потери мощности.

Теперь после краткого разбора теоретической части можно рассмотреть преобразователи квазирезонансного типа с коммутацией тока и напряжения в нуле.

Преобразователи с КНТ. Практически все базовые схемы преобразования постоянного тока в постоянный могут быть использованы с квазирезонансной коммутацией на основе ключей с КНТ.

Рассмотрим принцип работы схемы понижающего преобразователя, представленного на рис. 3, а. Преобразователь работает в импульсном режиме с частотой $f_s = 1/T_s$. Допустим, что элементы схемы идеальны, пульсации входного напряжения $U_{вх}$ и тока фильтра I_{Lf} равны нулю, режим работы – установившийся с постоянным коэффициентом заполнения $Y = \frac{t_{вкл}}{T_s}$, заданным последовательностью импульсов управления.

Допустим, что при $t < 0$ транзистор VT был в запертом состоянии и в момент времени $t = 0$ на него поступил импульс управления, чтобы перевести его во включенное состояние. Схему преобразователя при открытом транзисторе VT с учетом принятых допущений можно представить схемой замещения (рис. 3, б), которая будет соответствовать режиму работы на интервале I ($0 < t < t'$).

На этом интервале ток дросселя фильтра I_{Lf} протекает в диоде VD , шунтируя выходной дроссель L_ϕ и нагрузку R_n . Согласно схеме замещения для интервала I , можно записать следующие уравнения:

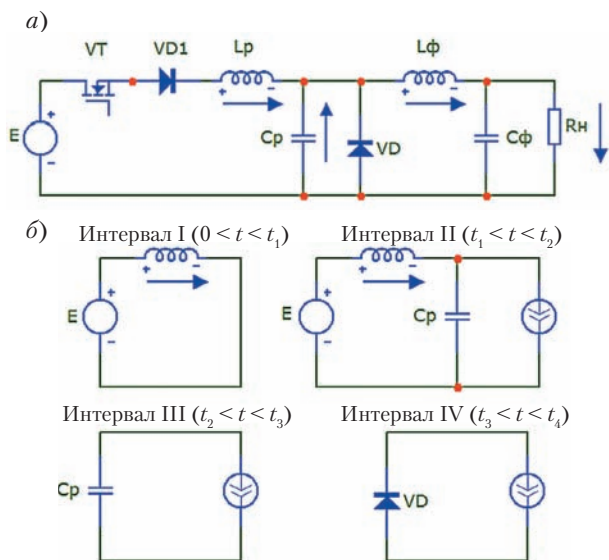


Рис. 3. Понижающий преобразователь постоянного тока с КНТ: а – схема, б – эквивалентная схема замещения на разных интервалах работы

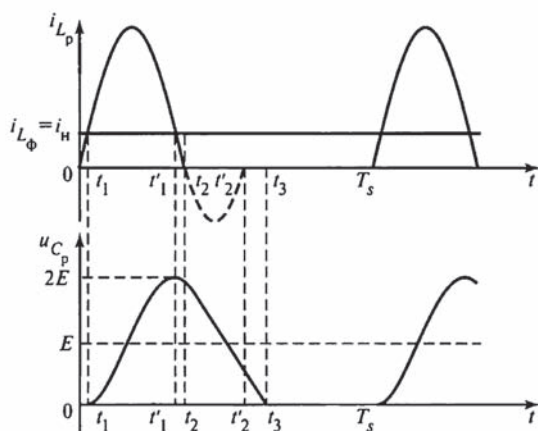


Рис. 4. Графики тока и напряжения

$$L_p \frac{di_{L_p}}{dt} = E; i_{L_p} = \frac{E}{L_p} t; i_{VD} = I_{L_\phi} - i_{L_p}.$$

В момент времени $t = t_1$ ток i_{L_p} становится равным току i_{L_ϕ} и диод VD выключается. Эквивалентная схема преобразователя соответствует схеме замещения на интервале II ($t_1 < t < t_2$). Согласно схеме для этого интервала можно записать соотношения

$$\{C \frac{du_{C_p}}{dt} = i_{L_p} - I_{L_\phi} \quad L_p \frac{di_{L_p}}{dt} = E - u_{C_p}.$$

Принимая $t_1 = 0$ и учитывая, что $u_{C_p}(0) = 0$ и $i_{L_\phi}(0) = I_{L_\phi}$ получаем следующие выражения для интервала II:

$$\{i_{C_p}(t) = I_{L_\phi} + \frac{E}{\rho} \sin \sin \omega_0 t \quad u_{C_p}(t) = E(1 - \cos \cos \omega_0 t),$$

$$\text{где } \rho = \sqrt{\frac{L_p}{C_p}}; \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_p C_p}}.$$

При $t = t_1'$ ток контура i_{L_p} становится меньше тока нагрузки i_{L_ϕ} и не может в однонаправленном ключе изменить направление. Поэтому он протекает в конденсаторе C_p , и эквивалентная схема для интервала II не меняется. В момент времени $t = t_2$ ток i_{L_p} спадает до нуля, транзистор VT выключается и начинается интервал III ($t_2 < t < t_3$), которому соответствует новая схема замещения преобразователя. Напряжение u_{C_p} изменяется линейно:

$$u_{C_p} = \frac{1}{C_p} \int I_{L_\phi} dt = \frac{I_{L_\phi} t}{C_p}.$$

Процесс разряда конденсатора до нулевого напряжения заканчивается в момент времени $t = t_3$. Эквивалентная схема соответствует интервалу IV ($t_3 < t < T_s$). На этом интервале происходит включение обратного диода VD , на входе фильтра, в котором протекает ток i_{L_ϕ} . Интервал IV заканчивается в момент времени $t = T_s$, когда импульс управления поступает на включение транзистора VT , и начинается новый период работы схемы в интервале I. Далее процессы (рис. 3,б) периодически повторяются.

Использование в схеме понижающего преобразователя двухполупериодного ключа изменяет характер процессов в схеме в момент времени $t = t_2$, так как после прохождения тока i_{L_p} через нуль он протекает в противоположном направлении через встречноключенный транзистор диод $VD1$. Перезаряд конденсатора C_p продолжается по колебательному закону до момента времени $t = t_2'$, когда заканчивается вторая полуволна тока i_{L_p} в диоде $VD1$, что соответствует двухполупериодному режиму работы. Соответственно, начало линейного разряда конденсатора смещается во времени от $t = t_2$ до $t = t_2'$. Выключение двунаправленного ключа, включающего диод $VD1$, происходит в момент времени $t = t_2'$, когда схема замещения соответствует режиму работы на интервале III.

Регулирование выходного напряжения преобразователя можно осуществлять изменением частоты коммутации f_s . В преобразователях с КНТ длительность интервала включенного состояния управляемого ключа не изменяется. Переменной величиной в регулировочных характеристиках является коэффициент кратности частот $\nu = \frac{\omega_s}{\omega_0}$, который можно рассматривать в качестве аналога коэффициента заполнения γ при ШИМ. Основными возмущающими факторами, влияющими на выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, являются входное напряжение E и нагрузка (рис. 4).

Использование двухполупериодного режима придает схеме дополнительные положительные свойства. Во-первых, в этом режиме нагрузка мало влияет на разряд конденсатора C_p , что делает регулировочные характеристики практически линейными и слабо зависящими от нагрузки. Во-вторых, при двунаправленном ключе часть энергии, накапливаемой в реакторе L_p , возвращается в первичный источник напряжения.

Регулирование выходного напряжения преобразователя можно осуществлять изменением частоты коммутации f_s . В преобразователях с КНТ длительность интервала включенного состояния управляемого ключа не изменяется. Переменной величиной в регулировочных характеристиках является коэффициент кратности частот $\nu = \frac{\omega_s}{\omega_0}$, который можно рассматривать в качестве аналога коэффициента заполнения γ при ШИМ.

Преобразователи с КНН. Аналогично ключам с КНТ, ключи с КНН применяются во всех базовых схемах преобразователей постоянного тока в постоянный. Рассмотрим более подробно работу понижающего преобразователя, заменив ключ с КНТ на КНН. Однополупериодный ключ выполнен по схеме, приведенной на рис. 2, а. Это позволит получить подобие процессов изменения тока i_{L_p} в схеме с КНТ и напряжения u_{C_p} с КНН. Схема рассматриваемого преобразователя и схемы ее замещения на разных интервалах работы представлены на рис. 5.

В момент времени $t = 0$ транзистор VT выключается и схема замещения соответствует интервалу I ($0 < t < t_1$). На интервале I транзистор VT выключен, и конденсатор C_p заряжается током нагрузки I_{L_ϕ} по линейному закону

$$u_{C_p} = \frac{I_{L_\phi}}{C_p} t.$$

В момент времени $t = t_1$ напряжение на конденсаторе C_p становится равным входному напряжению E . Диод VD_ϕ вклю-

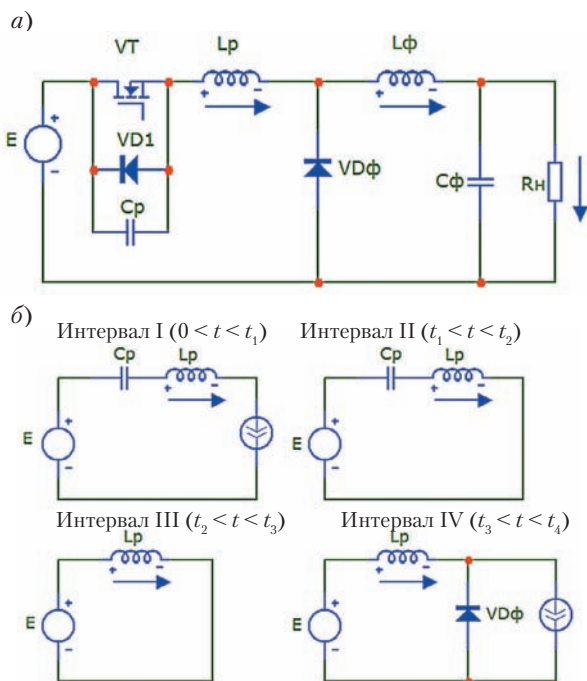


Рис. 5. Понижающий преобразователь постоянного тока с коммутацией напряжения в нуле: а – схема, б – эквивалентная схема замещения на разных интервалах работы

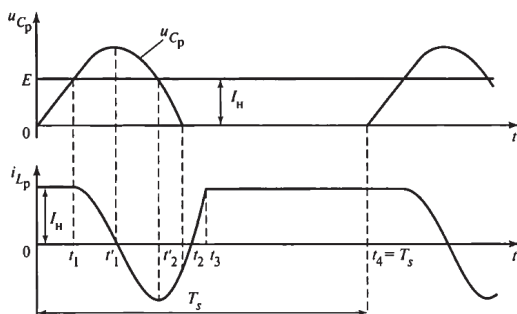


Рис. 6. Диаграммы тока и напряжения

чается, и начинается колебательный процесс в $L_p C_p$ -контуре. Эквивалентная схема на интервале II ($t_1 < t < t_2$) изменяется (рис. 5, б). На этом интервале процессы описываются следующими соотношениями:

$$\{u_{C_p} = U_{C_p \max} \sin \sin \omega_0 t + E i_{L_p} = I_{L_p} \cos \cos \omega_0 t\};$$

$$U_{C_p \max} = I_{L_p} \sqrt{\frac{L_p}{C_p}}.$$

В результате возникшего колебательного процесса напряжение на конденсаторе увеличивается до значения $E = I_{L_p} \sqrt{\frac{L_p}{C_p}}$.

Ток i_{L_p} спадает до нуля. С учетом допущения идеальности элементов функция изменения тока i_{L_p} сдвинута по фазе относительно напряжения u_{L_p} на угол $\pi/2$, так что максимум напряжения $u_{L_p \max}$ совпадает с моментом перехода тока i_{L_p} через нуль. Ток нагрузки $I_{L_p} \approx I_n$ должен обеспечить превыше-

ние u_{C_p} над величиной входного напряжения, т.е. $I_{L_p} \sqrt{\frac{L_p}{C_p}} > E$.

Это необходимо для исключения включения ключа на напряжение отличное от нулевого. После спада тока i_{L_p} до нуля при $t = t_1$ он изменяет свое направление на противоположное, продолжая разряд конденсатора. В момент времени $t = t_2$ напряжение на конденсаторе C_p становится равным нулю и отрицательная составляющая тока i_{L_p} протекает в диоде $VD1$, который при $t = t_2$ переходит в проводящее состояние. В момент времени $t = t_3$ эквивалентная схема соответствует интервалу III ($t_2 < t < t_3$). На данном интервале ток i_{L_p} изменяется линейно, достигая при $t = t_2$ нулевого значения, диод $VD1$ выключается и включается транзистор VT , на котором к этому моменту присутствует импульс управления.

Далее ток i_{L_p} линейно возрастает до значения $i_{L_p} = i_{L_p}(t = t_3)$. Когда ток i_{L_p} достигает значения i_{L_p} , обратный диод VD_ϕ выключается, так как его ток в этот момент становится равным нулю. Наступает новый этап работы схемы, которому соответствует эквивалентная схема интервала IV ($t_3 < t < t_4$). В момент времени $t = t_4$ транзистор VT выключается и начинается новый период работы преобразователя.

Выходное напряжение преобразователя устанавливается за счет длительности интервала IV посредством управления частотой f_s . Таким образом, если для регулирования выходного напряжения в преобразователе с КНТ изменяют частоту f_s при неизменной длительности включенного состояния транзистора, то при работе с КНН сохраняют неизменной длительность выключенного состояния транзистора. При этом в схеме с однополупериодным ключом регулировочные характеристики зависят от нагрузки, как и в преобразователях с КНТ на однополупериодном ключе. Зависимость регулировочных характеристик от нагрузки в преобразователе с КНН может быть, как и в преобразователе с КНТ, практически полностью исключена путем замены однополупериодного ключа на двухполупериодный (рис. 2, в).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если обобщить теоретическую часть, описанную выше, то получается, что при смещении фазы t ока относительно фазы напряжения можно минимизировать коммутационные потери мощности. Следовательно, появляется возможность уменьшения размеров радиатора охлаждения преобразовательного устройства или уменьшения мощности, затрачиваемой на активное охлаждение, что позволяет увеличить КПД изделия. Опираясь на полученный опыт, разработчики АО «НПФ «Меридиан» в настоящее время прорабатывают возможности использования в изделии АМК-51 квазирезонансного режима переключения коммутационных элементов для улучшения массогабаритных характеристик и качества электромагнитной совместимости между приборами и окружающей средой. В перспективе использование режима квазирезонансной коммутации полупроводниковых элементов позволит значительно уменьшить размер преобразовательных устройств, входящих в состав систем компенсации магнитных корабельных полей. ■

АО «Компрессор» – единственный в стране поставщик специализированного компрессорного оборудования для кораблей и судов всех типов и назначений, а также для многих других отраслей. В ассортимент оборудования входят:

- специальные компрессоры и компрессорное оборудование для нужд ВМФ;
- холодильные установки;
- компрессоры для гражданских судов;
- компрессоры для металлургической, нефтяной, химической, пищевой и других отраслей промышленности;
- специальная компрессорная техника для ракетных комплексов войск стратегического назначения и ПВО;
- компрессорная техника для обслуживания оборудования ракет-носителей и наземных систем в ракетно-космическом комплексе;
- компрессоры и компрессорное оборудование для энергетического комплекса и атомной энергетики.
- компрессоры для «РЖД»;
- компрессорное оборудование для газовой промышленности.

География поставок – Россия, страны СНГ, Германия, Финляндия, Норвегия, Индия, Иран, КНР, Корея, Алжир, Ливия, ОАЭ, Куба и др.

АО «Компрессор» имеет высококвалифицированное конструкторское бюро и производственную базу для создания современного компрессорного оборудования, а также развитую сеть представительств службы сервисного и гарантийного обслуживания.

Одной из сфер деятельности предприятия является создание станций и компрессорных установок для получения азота из воздуха. Азот – это один из самых распространённых элементов на Земле, основной компонент воздуха (78% объема), представляет собой двухатомный газ без цвета, вкуса и запаха. Промышленное применение газообразного азота обусловлено его инертными свойствами. Газообразный азот пожаро- и взрывобезопасен, препятствует окислению, гниению. В нефтедобывающей промышленности газообразный азот применяется для обеспечения безопасного бурения, используется в процессе капитального и текущего ремонта скважин. Кроме того, газообразный азот высокого давления используют для повышения нефтеотдачи пласта с помощью газовых методов. В нефтехимии азот применяется для продувки резервуаров и трубопроводов, проверки работы трубопроводов под давлением, увеличения выработки месторождений. В горнодобывающем деле азот может использоваться для создания в шахтах взрывобезопасной среды, для распы-

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АЗОТНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ КОРАБЛЕЙ ВМФ И ЛЕДОКОЛЬНОГО ФЛОТА

Л.Г. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., ген. конструктор,
председатель Совета директоров,
А.В. Бураков, начальник ЦКБ,
А.С. Перминов, начальник отдела,
С.Н. Серебrenников, начальник сектора,
А.В. Тикалов, начальник сектора,
О.К. Котов, вед. инженер,
АО «Компрессор»,
контакт. тел. (812) 295 5090

ния пластов породы, тушения эндогенных пожаров. В производстве электроники азот применяется для продувки областей, не допускающих наличия окисляющего кислорода.

Азотные установки находят применение в гражданском и военном судостроении для следующих целей:

1) в системах электрохимической регенерации воздуха, а также азотного пожаротушения в подводных лодках;

2) для приготовления дыхательной азотно-кислородно-гелиевой смеси при проведении глубоководных водолазных работ;

3) для использования в качестве рабочего тела в пневмоприводных механизмах и охлаждающего агента в энергетических установках гражданских судов;

4) для кораблей и вспомогательных судов, имеющих вертолетную площадку, с целью продувки топливного трубопровода и надува баков с жидким топливом (керосином) и в процессе заполнения авиационных баков;

5) для тяжелых авианесущих крейсеров (например, пр. 11435) и больших десантных кораблей (пр. 11711) для в корабельной газовой системы заполнения баков самолетов азотом высокой чистоты с низким влагосодержанием;

6) для берегового обеспечения баз надводных кораблей и подводных лодок с целью пополнения бортовых запасов азота, проведения пневматических испытаний, надува для выгрузки горючих жидкостей, продувки емкостей перед наполнением и очисткой, заправка шин шасси;

7) для ремонтных плавучих баз, плавучих доков, судоремонтных предприятий для обеспечения безопасности газоопасных, сварочных работ, продувки и испытания, надува емкостей, топливных баков;

8) для СПГ танкеров и ледоколов, имеющих вертолетную площадку, с целью продувки топливного трубопровода

и надува баков с топливом и в процессе заполнения авиационных баков;

9) для хранения продуктов питания (фрукты, овощи);

10) на атомных ледоколах для подачи азота в систему газовой компенсации давления подпитки первого контура в аммиачном водно-химическом режиме [1].

Вероятные сферы применения азотных установок не ограничиваются указанными областями и могут быть адаптированы и интегрированы в другие системы, применяемые в ВМФ и на гражданском флоте.

Стоит отметить недостаточное распространение мембранных азотных технологий в военном кораблестроении, связанное с отсутствием нормативной базы и опыта использования азота для пожаротушения, несмотря на существующие многочисленные работы в данной области [2,3], примеры применения азота для пожаротушения на подводных кораблях ВМФ практически отсутствуют.

Для стационарных объектов, потребляющих азот, существует две принципиальные возможности его получения: производство с помощью собственной воздуходелительной установки и приобретение в жидком или газообразном виде у предприятия-поставщика технических газов. Однако для транспортных средств, самолетов, кораблей доставлять технические газы в баллонах нецелесообразно, а предпочтительно получать азот непосредственно на борту с помощью мобильных малогабаритных устройств.

Используется три основных способа генерации азота: криогенный, адсорбционный и мембранный. Криогенный способ имеет достаточную эффективность и позволяет получать дополнительно кислород, но криогенные установки имеют большие габариты, сложную систему управления и требует порядка нескольких часов для выхода на рабочий

режим получения азота, что для боевых кораблей неприемлемо.

Адсорбционные установки имеют значительные габариты, большое количество исполнительных механизмов, снижающих надежность, зависимость чистоты азота от различных факторов, время выхода на режим от нескольких минут до нескольких часов (в зависимости от производительности), что сужает область их практического использования. С целью выполнения операций получения азота в интересах Министерства обороны и ВМФ целесообразно применять промышленные установки, имеющие небольшие размеры и минимальные эксплуатационные затраты, работающие по мембранной технологии.

Мембранные технологии разделения воздуха основаны на принципе избирательной проницаемости специальных полимерных мембран (рис. 1 и рис. 2).

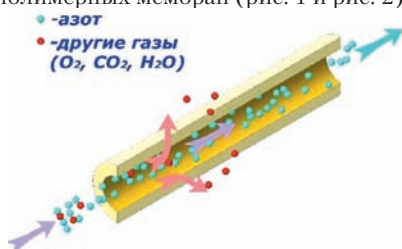


Рис. 1. Принцип мембранного воздуходеления

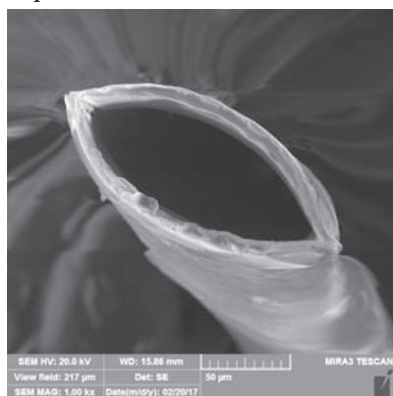


Рис. 2. Фото мембранного волокна

Принцип действия мембранных газоразделительных установок заключается в различной скорости проникновения газов через полимерную мембрану под действием перепада парциальных давлений на мембране. В мембранную установку подается предварительно очищенный сжатый воздух, и движущей силой разделения является разность парциальных давлений каждого компонента воздуха по обе стороны мембраны, обуславливающая различную скорость проникновения. В соответствии с этим компоненты воздуха можно условно разделить на два класса: легкопроницающие (ЛПК), или «быстрые газы»; трудно проникающие (ТПК), или «медленные газы». При попадании сжатого воздуха в надмембранное пространство «быстрые газы», такие как кислород O_2 , углекислый газ

CO_2 и пары воды H_2O , проникают через мембрану в зону низкого давления, таким образом газ на выходе из мембраны обогащается ЛПК. Непроницаемая часть воздуха обогащается ТПК – азотом (N_2) и выводится из надмембранного пространства.

На молекулярном уровне на процесс мембранного разделения газа существенно влияет величина удельной поверхности мембраны, в связи с чем в промышленности применяются преимущественно полые волокна, поскольку они имеют более высокую эффективную площадь поверхности на единицу объема мембранного модуля по сравнению с другими.

Плотность упаковки волокон (удельная площадь на единицу объема) для полволоконных мембранных модулей $> 10\,000\,m^2/m^3$. Площадь мембраны в каждом модуле (рис. 3 и рис. 4) ориентировочно составляет $500\,m^2$.

Из специализированного полимерного материала формируются полые волокна, на внутренней либо наружной поверхности которых наносится селективный слой.

Внешний диаметр полых волокон составляет ориентировочно $150\,\mu m$, толщина стенки волокна – $7\,\mu m$ (фото, выполненное с помощью электронного микроскопа, см. на рис. 2), но может изменяться в зависимости от применения и варьироваться от 50 до $3000\,\mu m$. Волокна могут быть изготовлены из одного или двух слоев материалов. Два слоя используются для внешней или внутренней поверхности. Селективный слой может быть интегрирован с волокном или выполнен как отдельное покрытие, нанесенное на пористую подложку (волокно). Волокна с внешним диаметром от 50 до $200\,\mu m$ обычно тонкие полые, но при этом могут противостоять внешнему гидростатическому давлению до $1\,MPa$.

Мембранный способ генерации азота наиболее простой, но он не дает высокой степени чистоты азота. Процесс эксплуатации мембранной установки безопасен, полностью автоматизирован и не требует присутствия человека на одном из этапов работы. Мембрана нечувствительна к влаге и не требует высокой очистки воздуха, что позволяет работать оборудованию в условиях высоко загрязненного воздуха промышленных районов без снижения производительности (при круглосуточной загрузке 7 дней в неделю). Мембранная установка в силу отсутствия движущихся частей является высоконадежной и не требует сервисных и ремонтных работ в течение всего периода эксплуатации. Обслуживание заключается в замене воздушных фильтров (2 раза в год при круглосуточной загрузке).

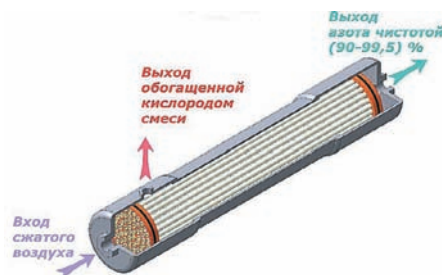


Рис. 3. Схема работы воздухоразделительного модуля



Рис. 4. Воздухоразделительный модуль в теплоизоляционном кожухе ММ-6

Для широкого круга потребителей нефтегазового сектора и энергетики АО «Компрессор» разработало установки типа МАУК [4] со следующими диапазонами рабочих параметров:

- чистота получаемого азота от 90 до $99,9\%$ (об.);
- производительность по продуктивному азоту от $0,2$ до $20\,nm^3/min$;
- конечное давление от $0,8$ до $42,0\,MPa$.

Предприятие готово осуществлять их поставки.

Для ледоколов-разведчиков пр. 23550 (проектная организация – ЦМКБ «Алмаз», завод-строитель – АО «Адмиралтейские верфи», заказчик – МО РФ) в 2018 г. разработана и поставлена на производство мембранная азотная установка компрессорная МАУК 20/99/250 с приемкой РМРС (параметры приведены в табл. 1, внешний вид установок показан на рис. 5).

В 2020 г. разработана и изготовлена мембранная азотная установка компрессорная МАУК20/99/350 (рис. 6) с блоком осушки 29БО-1/350 (рис. 8) для модернизации ТАРК «Адмирал Кузнецов» (проектная организация – «Невское ПКБ», завод-строитель – ДВЗ «Звезда») с целью применения в корабельной газовой системе заполнения баков самолетов азотом высокой чистоты с низким влагосодержанием.

Основные характеристики МАУК 20/99/250 и МАУК 20/99/350

Параметр	Значение	
	МАУК20/99/250	МАУК20/99/350+29Б0-1\350
Объемная доля технического газообразного азота 2 сорта, ГОСТ9293–74, %, не менее	99,0	
Объемная производительность при начальных параметрах: давлении 0,1 МПа (760 мм рт. ст.) и температуре 293 К (20° С), м³/ч, не менее	18	20
Температурный диапазон окружающей среды (относительная влажность воздуха до 98% при температуре +25 °С) на входе в МАУК, °С	От плюс 5 до плюс 55	
Температура точки росы азота на выходе, приведенная к атмосферному давлению, °С	минус 55	минус 80
Давление азота на выходе, МПа	25	35
Напряжение питания установки от источника трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, В	380	380
Габаритные размеры, Д × Ш × В, мм	1750×1500×1950	1990×2190×1990
Масса МАУК, кг	1500±10%	1780±10%



Рис. 5. Фото МАУК 20/99/250



Рис. 6. МАУК 20/99/350

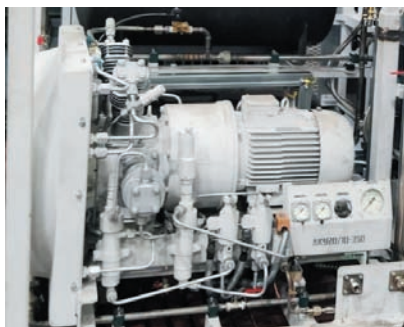


Рис. 7. Дожимной азотный компрессор ДКУ 20/99/250



Рис. 8. Блок осушки азота 29Б0-1/350

Гарантированное влагосодержание азота (соответствующее температуре точки росы ниже -80°C , приведенное к атмосферному давлению) обеспечивается дополнительным автоматизированным малогабаритным блоком осушки азота 29Б0-1/350, который не требует постоянной замены картриджей, а содержит два попеременно работающих регенерируемых адсорбера. Установка отличается от серийной МАУК20/99/250 большим давлением на выходе – до 35 МПа. Также в установке предусмотрен алгоритм дожатия (рис. 7) и осушки азота низкого давления, подаваемого на вход установки с береговых азотных станций. (параметры приведены в табл. 1).

Азотные компрессорные станции представляют собой комплекс устройств, включающий воздушный компрессор низкого давления, устройства для осушки и очистки воздуха, воздухоразделительный мембранный модуль, азотный ресивер, прибор управления, датчики контроля концентрации кислорода в выдаваемой газовой смеси, запорную и регулирующую арматуру, при необходимости дожимающий азотный компрессор, взаимодействие которых по установленному алгоритму позволяет обеспечить требуемые параметры выдачи азота потребителю.

АО «Компрессор» с 2005 г. производит мембранные азотные установки, проводит углубленные исследования полимерных газоразделительных мембран. Большинство «отечественных» поставщиков мембранных азотных установок под видом «изготовления» осуществляют крупноузловую, так называемую «отверточную сборку» или просто перепродают иностранные азотные установки, используя от 80 до 100% иностранных комплектующих. Они не понимают физических основ работы узлов, не несут от-

ветственности и не гарантируют качественную работу установок. АО «Компрессор» – единственное предприятие с собственным запатентованным дожимающим компрессором [6], полностью российского производства, который заменяет бустеры иностранного производства, что описано в специализированной периодической литературе [7]. В 2018 г. АО «Компрессор» локализовало производство мембранных модулей с применением наиболее эффективного мембранного полимерного материала, мембранный модуль получил обозначение ММ-6 (см. рис. 4).

Разработана рабочая конструкторская и эксплуатационная документация, отработана технологическая документация. Локализовано более 90% технологических операций, а именно: освоено изготовление деталей корпуса, сварка, неразрушающий контроль, корпуса модуля, специальная обработка, у OEM поставщика приобретаются мембранные полые волокна, осуществляются скрутка, сборка, упаковка, испытание, сервисное техническое и гарантийное обслуживание. Выполнена сертификация изделий в РМРС и постановка на производство.

При разработке станций необходимо учитывать особенности эксплуатации, условия размещения на судне. При проектировании общесудовых систем и размещении компрессорного оборудования в помещениях на судне возникает необходимость обеспечения надежного охлаждения изделия и вентиляции. При этом вследствие наличия большой номенклатуры и количества энергетического оборудования могут возникать проблемы помещений и охлаждением.

Большинство производимых азотных установок имеют воздушное охлаждение компрессоров. Расход воздуха

Основные характеристики МАУК20/99/350В и МАУК100/99/350В

Параметр	Значение	
	МАУК100/99/350В	МАУК20/99/350В
Объемная доля технического газообразного азота 2 сорта ГОСТ 9293–74, %, не менее	99,0	
Объемная производительность при начальных параметрах: давлении 0,1 МПа (760 мм рт. ст.) и температуре 293К (20°C), м³/ч, не менее	100	20
Температурный диапазон окружающей среды (относительная влажность воздуха до 98% при температуре плюс 25°C) на входе в МАУК, °C	от плюс 5 до плюс 55	
Давление азота на выходе, МПа	35	
Напряжение питания установки от источника трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, В	380	
Тепловыделение (расчетное), кВт	8	3
Система охлаждения, давление МПа	водяная, не более 0,5	
Температура воды охлаждения, °C	от плюс 1 до плюс 40	
Расход воды для охлаждения, не менее, м³/ч	50	10
Габаритные размеры, Д × Ш × В, мм	5000×3000×1800	2500×2200×1800
Масса МАУК, кг	6500	2000

только на охлаждение может составлять от 3000 до 10000 м³/ч, а тепловыделения могут достигать от 10 до 30 кВт, что приводит к необходимости применения дополнительных воздухопроводов большого сечения. Наиболее рациональным является использование водяного охлаждения заборной водой. По рекомендации проектных бюро была разработана новая модификация азотных станций. В азотных установках нового поколения МАУК-В АО «Компрессор» использует водяное охлаждение для простоты компоновки в помещениях заказов и повышения надежности.

В настоящее время установки находятся в стадии проектирования, характеристики приведены в табл. 2. Компоновка МАУК с водяным охлаждением показана на рис. 8.

Как видно из табл. 2, с помощью водяного охлаждения снижается тепловыделение и расход воздуха, необходимого для работы установки, при сохранении ее основных характеристик.

Внешний вид азотной компрессорной установки МАУК20/99/35 0В представлен на рис. 8. Компрессор ДКУ20/99/350В с водяным охлаждением, дожимающий азот с давления 1,0 до 35 МПа, представлен на рис. 9.

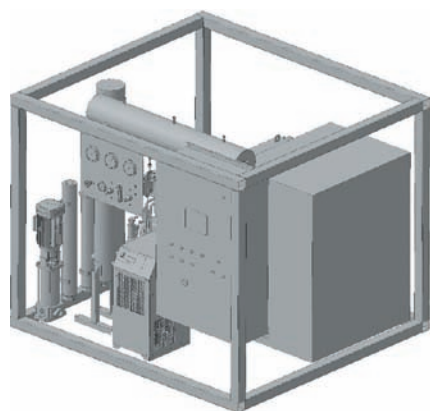


Рис. 8. Мембранная азотная установка МАУК20/99/350В с водяным охлаждением (3D модель)

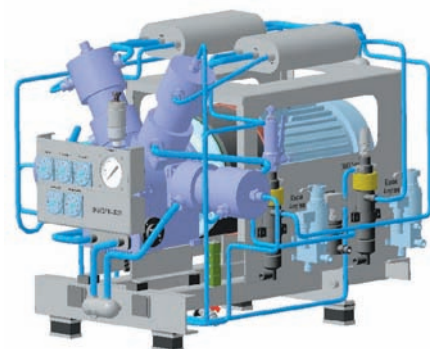


Рис. 9. Дожимающий компрессор ДКУ20/10/350В с водяным охлаждением (3D модель)

Опыт разработок позволяет АО «Компрессор» в кратчайший срок из-

готавливать любые требуемые азотные мембранные установки с оптимальным набором технологического оборудования, обеспечивающего надежную эксплуатацию и заявленные характеристики. В процессе отработки технологической схемы и алгоритмов работы установок были получены практические результаты и зависимости, позволяющие моделировать оптимальные условия ведения процесса получения азота с минимальным набором необходимого оборудования, высокой эффективностью и оптимальными энергозатратами.

Целью отечественных предприятий, входящих в судостроительный кластер, является создание независимого российского флота, что достигается в первую очередь замещением иностранного судового комплектующего оборудования. Это требует разработки и внедрения отечественных современных технологий для создания востребованной продукции с качественно новыми характеристиками. Для внедрения конкурентоспособных отечественных судовых азотных мембранных установок АО «Компрессор» потребовалось создать научный задел [4–6], разработать конструкторскую и технологическую документацию, внедрить на предприятии новое технологическое и специализированное исследовательское оборудование, аттестованные испытательные стенды и сертифицировать оборудование на соответствие требованиям РМРС и ТР ТС.

Закупка иностранного судового компрессорного оборудования наносит непоправимый урон отечественному компрессоростроению, разрушает предприятия, входящие в кооперацию и логистические цепочки, негативно сказыва-

ется на развитии отечественных компрессорных научных школ.

В сложный период мировой экономики отечественным судостроительным и машиностроительным предприятиям необходимо объединиться и направить ресурсы на решение общей задачи – создание эффективного гражданского и военного флота, что может быть достигнуто в том числе при поддержке производителей судового комплектующего оборудования путем его закупки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касперович А. И., Колесов Б. И., Сандлер Н. Г. Водно-химические процессы в реакторных установках атомных ледоколов и плавучих энергоблоков. Атомная энергия. – Т. 81. – Вып. 4. – 1996. – С. 262.
2. Патент на изобретение РФ № 2696637. Устройство пожаротушения. – Оpubл. 05.08.2019 г.
3. Патент на полезную модель РФ № 190953. Устройство для предупреждения пожаров внутри герметичных обитаемых объектов, преимущественно подводных лодок. – Оpubл. 17.07.2019 г.
4. Патент полезную модель РФ № 180075. Азотная компрессорная установка. – Оpubл. 01.06.2018 г.
5. Патент полезную модель РФ № 183558. Азотная компрессорная установка. – Оpubл. 25.09.2018 г.
6. Патент полезную модель РФ № 192071. Азотная компрессорная установка. – Оpubл. 03.09.2019 г.
7. Кузнецов Л. Г., Кузнецов Ю. Л., Бураков А. В., Перминов А. С., Тикалов А. В. Эффективные дожимные компрессорные установки для технологических газов на объектах ВМФ, нефтегазового сектора и энергетики//Морской вестник. – 2019. – № 2 (70). – С. 69–70. ■

Основной задачей проведения научно-исследовательской работы и по ее результатам создания и внедрения системы бесперебойного питания явилась необходимость обеспечения аппаратуры связи кораблей ВМФ высокоэффективными источниками энергии, имеющими следующие характеристики:

- бесперебойное питание потребителей общей мощностью 3 кВА;
- входная первичная сеть – трехфазное напряжение 380 В, 50 Гц;
- охлаждение системы – воздушно-принудительное;
- параметры выходного напряжения системы бесперебойного питания:
 - однофазная (по требованию трехфазная) сеть переменного тока напряжением 220 В 50 Гц,
 - сеть постоянного тока напряжением 56 В,
 - сеть постоянного тока напряжением 27 В;
- работа от одной из двух трехфазных сетей переменного тока напряжением 380 В, 50 Гц без нейтрали, а также переключение между ними в случаях аварии в одной из сетей;
- управление и контроль параметров в местном режиме непосредственно на панели управления изделия;
- подключение, дистанционное управление и контроль параметров по локальной вычислительной сети Ethernet;
- возможность (в случае необходимости) «горячей» замены аккумуляторных блоков под нагрузкой на резервные с целью увеличения времени бесперебойной работы системы.

Таким образом, система бесперебойного питания включает следующие части:

- модуль первичного питания (МПП) – трехфазная сеть 380 В 50 Гц – конвертор мощностью 3 кВт, обеспечивающий выходное стабильное постоянное напряжение 56 В;
- модуль вторичного питания (МПВ) 56–56;
- модуль вторичного питания (МПВ) 56–27;
- устройство сопряжения модулей питания (УСМП);
- блок индикации (БИ);
- блок автоматических выключателей (БАВ);
- модуль вторичного питания (МПВ) 56–220 (инвертор: постоянное входное напряжение 56 В – переменное стабильное выходное напряжение 220 В 50 Гц).

В целях обеспечения требований к надежности, высокой скорости обмена информацией между модулями изделия была выбрана CAN-шина, применение которой объясняется:

- возможностью «горячего» подключения и отключения модулей;
 - высокой устойчивостью к помехам;
 - надежностью контроля ошибок передачи и приема;
 - широким распространением в промышленной автоматизации.
- Разработанная система бесперебойного питания также отвечает высоким требованиям к надежности программных продуктов, а именно: каждый модуль изделия получил основную и резервную копию рабочего программного обеспечения (ПО), загрузчик нижнего уровня, к функциям которого относится:
- сверка контрольной суммы рабочего ПО;
 - восстановление ПО из резервной копии;
 - запуск рабочего ПО.

Выбор внутренней шины 56 В обусловлен использованием в аккумулятор-

ных блоках четырех последовательно соединенных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, которые в полностью заряженном состоянии выдают данное напряжение. Для повышения безопасности и надежности при эксплуатации системы выбраны аккумуляторы с электролитом сгущенного типа, которые исключают вытекание электролита при механических повреждениях и не требуют обслуживания на протяжении всего срока службы.

Конструктивно система бесперебойного питания выполнена в виде стандартизированной 19-дюймовой стойки, установленной на системе амортизаторов для обеспечения требований механической стойкости к внешним воздействующим факторам морской группы исполнения.

Внешний вид 3D-модели системы бесперебойного питания показан на рис. 1.

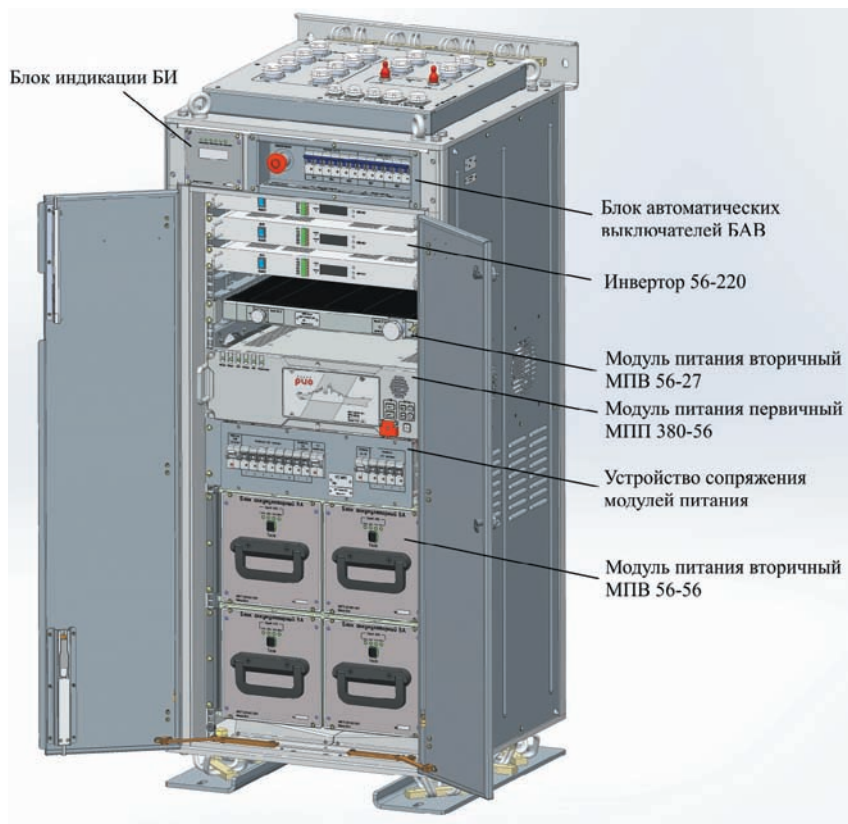


Рис. 1. Шкаф системы бесперебойного питания

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ НУЖД ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

Е. А. Рылов, ген. директор,
В. В. Николаев, канд. техн. наук, проф., председатель Совета директоров,
О. Д. Руптанова, инженер,
А. В. Сорокин, начальник отдела,
 АО «ПКБ «РИО»,
Р. В. Николаев, магистрант СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,
 контакт. тел. (812) 313 6181

Основные функции составных частей системы бесперебойного питания аппаратуры.

Модуль питания первичный 380–56 выполняет следующие функции:

- работу от одной из двух трехфазных сетей переменного тока напряжением 380 В 50 Гц без нейтрали;
- переключение вводов питания 380 В 50 Гц в случае аварии на одном из них;
- питание внутренней шины постоянного тока напряжением 56 В с защитой от короткого замыкания;
- световую и звуковую индикацию режима работы.

Структурная схема модуля питания первичного 380–56 представлена на рис. 2.

Модуль питания вторичный 56–56 (рис. 3) состоит из двух аккумуляторных блоков, выполняющих следующие функции:

- бесперебойное питание внутренней шины 56 В от аккумуляторных батарей;
- мониторинг состояния аккумуляторных батарей, температуры;
- защиту от короткого замыкания;
- зарядку аккумуляторных батарей при подключении внешнего питания;
- «горячее» отключение/подключение аккумуляторных блоков.

Таким образом, разработанная система обеспечивает 30-минутную бесперебойную работу потребителей на штатных аккумуляторных блоках и неограниченную во времени бесперебойную работу при наличии дополнительных заряженных аккумуляторных блоков при их «горячей» замене.

Каждый блок аккумуляторов имеет на внешней панели индикаторы, отображающие состояние заряда аккумуляторов как в рабочем режиме, так и в отключенном от системы состоянии.

Модуль вторичного питания 56–27 (рис. 4) обеспечивает электропитание потребителей, подключаемых к ИБП, напряжением 27 В постоянного тока, максимальной мощностью 1000 ВА. Для повышения надежности модуль состоит из двух конверторов, основного и резервного.

Устройство сопряжения модулей питания (рис. 5.) системы осуществляет следующие функции:

- соединение модулей между собой и формирования выходных цепей;
- подключение потребителей изделия;
- контроль за наличием выходного напряжения из блока;
- контроль за наличием входного напряжения для блока;
- контроль, управление, отслеживание исправности вентиляторов.

В устройстве сопряжения модулей питания также находятся входные филь-

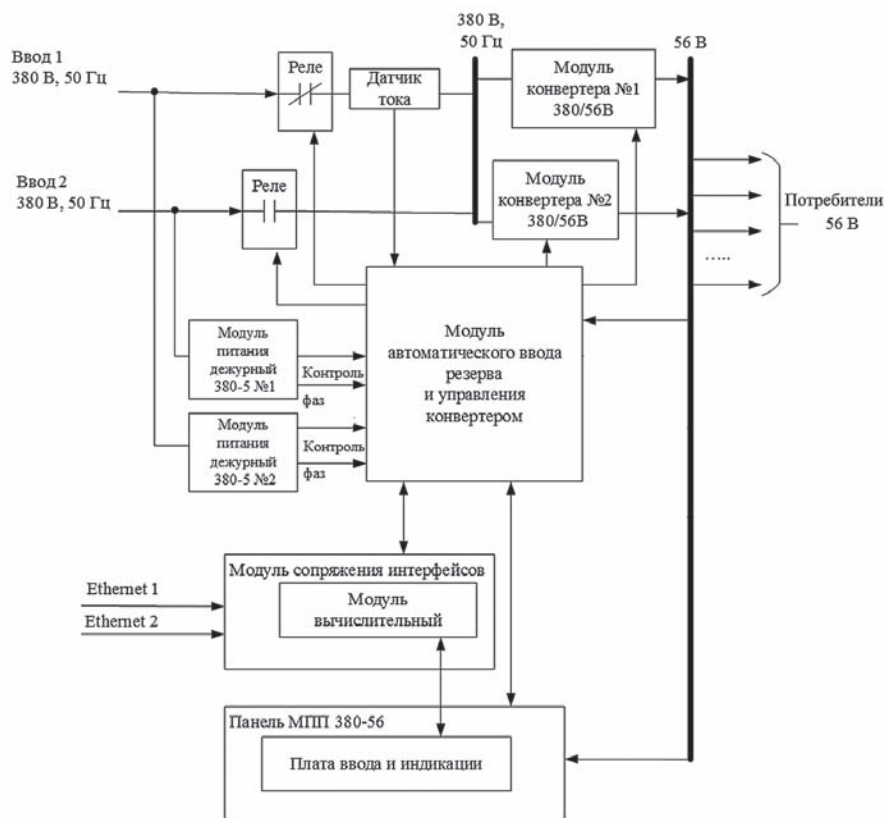


Рис. 2. Структурная схема модуля питания первичного 380–56

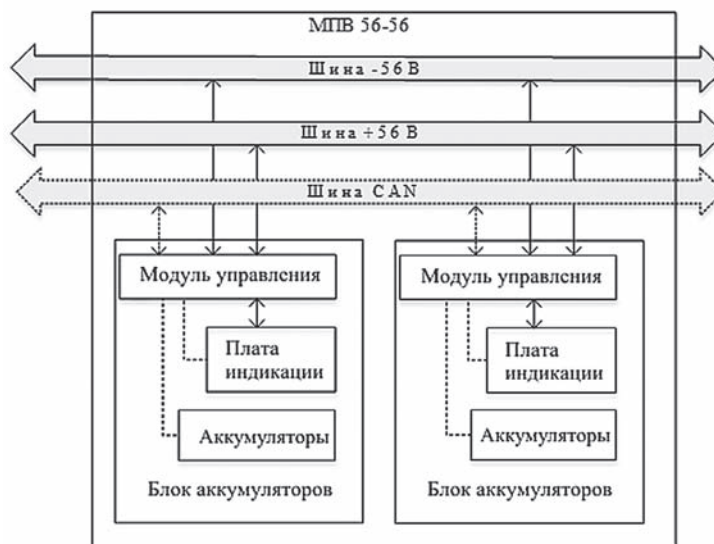


Рис. 3. Структурная схема модуля питания вторичного 56–56

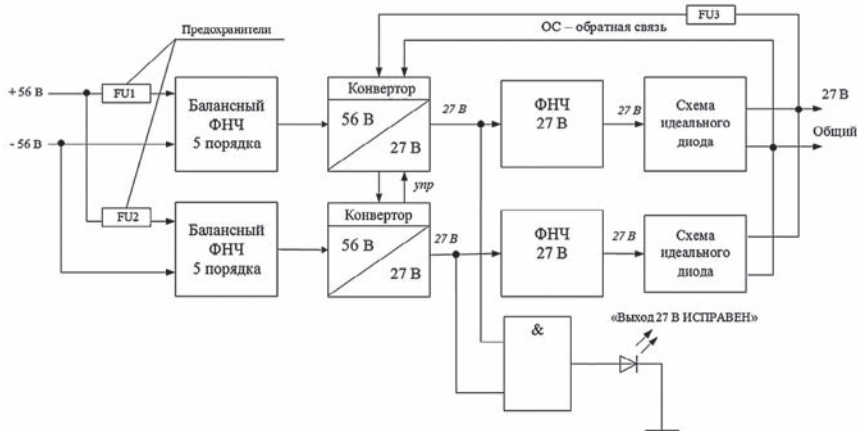


Рис. 4. Структурная схема модуля питания вторичного 56–27

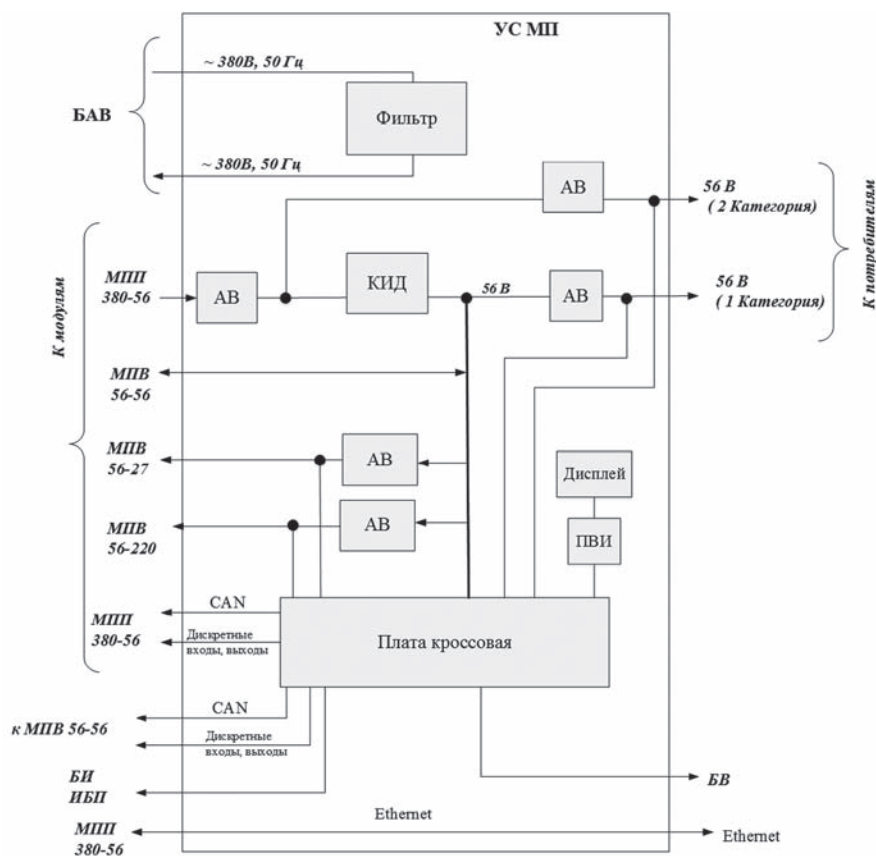


Рис. 5. Структурная схема устройства сопряжения модулей питания



Рис. 6. Структурная схема блока индикации

тры, обеспечивающие приемлемый уровень электромагнитных помех.

В данном блоке предусмотрено подключение к сети постоянного тока напряжением 56 В потребителей двух категорий: бесперебойное питание; питание при наличии напряжения хотя бы

в одной входной сети переменного тока напряжением 380 В 50 Гц.

Блок индикации (рис. 6) обеспечивает:

- световую индикацию;
- отображение информации о состоянии вводов сети электропитания;
- отображение состояния выходов;

— копию программного обеспечения всех модулей ИБП.

Блок автоматических выключателей предназначен для коммутации и защиты от перегрузки по току и КЗ двух независимых каналов (вводов) входного напряжения и потребителей переменного тока напряжением 220 В 50 Гц.

Модуль вторичного питания 56–220 построен по схеме инвертора, предназначен для обеспечения электропитания потребителей, подключаемых к ИБП, напряжением переменного тока 220 В, частотой 50 Гц (в случае необходимости сеть может быть трехфазной). На внешней лицевой панели имеется устройство индикации исправности, отсутствия напряжения на входе, КЗ и перегрузки.

По результатам проектирования создан опытный образец высокоэффективной системы бесперебойного питания аппаратуры связи, а также проведены его испытания в части обеспечения заявленных технических характеристик морской группы исполнения на стойкость к внешним воздействующим факторам (климатическим, механическим) и на соответствие в части электромагнитной совместимости.

Все испытания успешно пройдены и показали полное соответствие тактико-технических параметров разработанной системы требуемым.

Фотография внешнего вида опытного образца системы бесперебойного питания приведена на рис. 7. ■



Рис. 7. Опытный образец системы бесперебойного питания

Особенностью электроэнергетической системы (ЭЭС) рыболовного траулера является то, что судовая сеть имеет номинальную частоту 60 Гц, а на время траления переводится на частоту 50 Гц. В связи с тем, что основной источник электроэнергии на судне – это валогенератор, приводимый во вращение главным двигателем через редуктор, такое решение в совокупности с винтом регулируемого шага позволяет при необходимости снижать частоту вращения главного двигателя с целью оптимизировать его работу в осях «нагрузка – расход топлива» и, как следствие, экономить топливо.

Исследованию автономных электростанций с переменной частотой посвящено множество публикаций [1–5], авторы которых приходят к двум выводам: а) введение переменной частоты в работу дизель-генераторной электростанции позволяет экономить топливо; б) для обеспечения стабильности параметров электроэнергии при переменной частоте вращения приводного двигателя генератора необходимы статические полупроводниковые преобразователи электроэнергии, далее именуемые стабилизаторами.

Ниже (рис. 1) приведен график изменения расхода топлива дизельного двигателя при работе с переменной и нагрузкой при переменной частоте вращения вала.

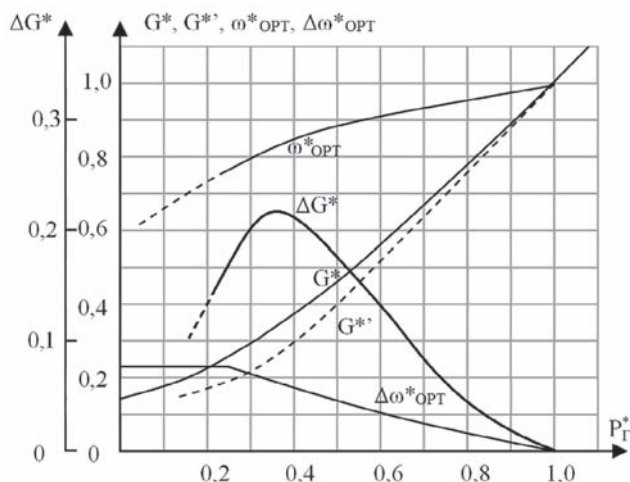


Рис. 1. Зависимости расхода топлива и частоты вращения дизеля от мощности нагрузки
 ΔG^* – снижение расхода топлива, G^* – относительный расход топлива дизель-генератора без регулирования частоты вращения, G^* – скорректированный относительный расход топлива дизель-генератора, $\omega^*_{ОРТ}$ – характеристика экономичного режима дизеля, $P^*_г$ – относительная активная мощность генератора, $\Delta \omega^*_{ОРТ}$ – разница частот оптимального и неоптимального режима

ЭЭС траулера отличается от рассмотренных в перечисленных источниках тем, что диапазон регулирования частоты ЭЭС траулера уже и составляет в терминах работы [4] $\Delta \omega = 0,17 f_{ном}$ ($f_{ном} = 60$ Гц). Экономия топлива при введении режима с пониженной частотой принимается ≥ 1 0% в сравнении с расходом при работе на постоянной частоте.

В составе ЭЭС траулера потребители электроэнергии делятся на две группы: 1) требующие стабильных параметров электроэнергии 60 Гц (напряжение может быть 690, 440 или 230 В); 2) способные работать при переменных параметрах электроэнергии (частота меняется в диапазоне 50–60 Гц, номинальное напряжение, например, 600–690 В изменяется по линейному закону $\frac{U}{f} = const$).

Оценка баланса потоков электроэнергии в различных режимах работы судна показывает, что потребители элект-

К ВОПРОСУ ОБ ОБОРУДОВАНИИ ТРАУЛЕРА СТ-192 ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ

Д.В. Умяров, начальник отдела электрооборудования,
 В.В. Волков, гл. конструктор проектов, АО КБ «Вымпел»
 контакт. тел. +7 (831) 439 6734, 439 6723

роэнергии по критерию «стабильности питания» делятся в соотношении, показанном на рис. 2.

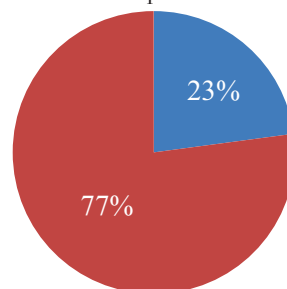


Рис. 2. Структура потребителей электроэнергии судна
 ■ – потребители со стабильным питанием,
 ■ – потребители с переменным питанием

Для обеспечения стабильных параметров электроэнергии для потребителей, которые не могут работать при переменных параметрах напряжения питающей сети, в составе ЭЭС судна предусмотрены стабилизаторы. Они представляют собой полупроводниковый преобразователь с двойным преобразованием электроэнергии. Это не может быть стабилизатор, подобный описанным в работах [6, 7]. Поскольку стабилизировать необходимо не только амплитуду, но и частоту напряжения, в ЭЭС траулера используется так называемый GRID-converter. Пример автономной электростанции с таким типом полупроводникового преобразователя описан в работе [8]. По своей сути это преобразователь частоты, инвертор которого имеет стабилизированное выходное напряжение (амплитуду и частоту) и фильтр гармоник порядка $n > 1$.

Каждый потребитель электроэнергии, по техническим причинам не способный работать при питании от сети с переменными параметрами, оборудуется стабилизатором. В эту группу потребителей попадает значительная группа оборудования судна: котел, рыбомучная установка, установки обезжаривания воды, насосы подачи воды для фабрики, топливные механизмы главной и вспомогательной энергоустановки, механизмы системы термального масла, сепараторы топлива (ТТ и ДТ) и масла, оборудование рыб перерабатывающей фабрики, системы управления, многие другие механизмы. Эта группа разрастается в процессе согласования проектной документации с заказчиком, так как опыта эксплуатации систем и механизмов при переменной производительности нет, и питание от стабилизированного источника напряжения видится желанным залогом спокойствия.

Описанные выше два стремления судовладельца: экономить топливо за счет снижения частоты вращения вала главного двигателя в режимах траления и оградить механизмы от работы в неизученном режиме питания от сети с переменными параметрами, приводит к тому, что вместо экономии за счет внедрения инновационного решения возникает увеличение финансовых расходов на строительство судна.

Чтобы изучить это вопрос подробнее, необходимо выполнить оценку двух факторов: экономии от внедрения режима с переменной частотой и расходов на стабилизацию параметров электроэнергии для «критичных» механизмов.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА

Цена тяжелого мазута принимается ЦТ=16 тыс. руб. за тонну на основании источника [9]. Баланс календарного времени траулеров показан на рис. 3 [10].

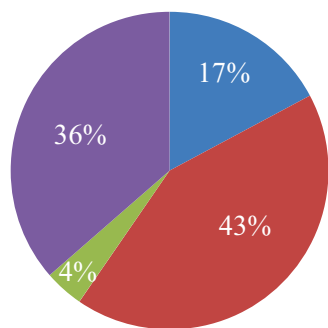


Рис. 3. Баланс календарного времени траулеров (в процентах от календарного времени)

■ — переходы при постоянной частоте ГД,
■ — промысел (выброс трала-подъем трала-выгрузка трала),
■ — в порту,
■ — неэксплуатационное время (в том числе ремонт 33.1)

Экономию топлива можно оценить как

$$\frac{(365 \times 1/3 \times \text{время промысла})}{\text{автономность судна}} \times \text{запас топлива} \times 9 \times \text{ЦТ} =$$

$$= \frac{(365 \times 1/3 \times 43\%)}{45} \times 1150 \times 10\% \times 16 = 2139 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{год}},$$

где ЦТ=16 тыс.руб./т (0,22 долл./л) — цена тяжелого топлива, $v=10\%$ — экономия топлива при переводе главного двигателя в режим пониженной частоты.

Оценка расходов на стабилизацию параметров электроэнергетики

Один киловатт полупроводникового преобразователя с двойным (переменный ток с изменяющимися параметрами → постоянный ток → переменный ток требуемых параметров) преобразованием на российском судостроительном рынке в среднем оценивается в 15 тыс. руб. То есть комплект полупроводниковых преобразователей общей мощностью 1200 кВт (столько электроэнергии необходимо стабилизировать по требованию судовладельца для питания электропотребителей) стоит приблизительно 18 млн. руб.

Срок окупаемости вложений [11] в инновационную электростанцию составляет приблизительно

$$\frac{\text{Стоимость мероприятий по стабилизации}}{\text{Экономия на топливе при переменной частоте ГД}} =$$

$$= \frac{18000 \text{ тыс.руб.}}{2139 \text{ тыс.руб./год}} \approx 8,5 \text{ лет.}$$

Приведенная оценка не учитывает амортизацию оборудования для стабилизации электроэнергии, расходы на обслуживание и ремонт оборудования для стабилизации электроэнергии. Не учитывается разница в стоимости оборудования главной энергетической установки, адаптированной и не адаптированной для работы с переменной частотой вращения. Также не учитывается изменение стоимости денег во времени, ежегодное изменение (всегда в большую сторону) валютных котировок, не определяются размер денежных потоков после точки окупаемости. Введение всех этих поправок увеличивает стоимость мероприятий по стабилизации частоты и увеличивает срок окупаемости.

Оценка срока окупаемости, выполненная с учетом коэффициента дисконтирования, т.е. с учетом среднестатистического коэффициента инфляции на интервале последних 10 лет [12],

$CO_d = CO \times \alpha = 8,5 \times 1,5 \approx 13 \text{ лет,}$
где $\alpha = (1+E)^{-n} = (1+5\%)^{-8,5}$, α — коэффициент дисконтирования, $E=5\%$ — норма дисконта, n — шаг расчетного периода.

Котировки на мазут приведены на рис. 4.

Heating Oil prices, 10-Aug-2020
(liter, U.S. Dollar)

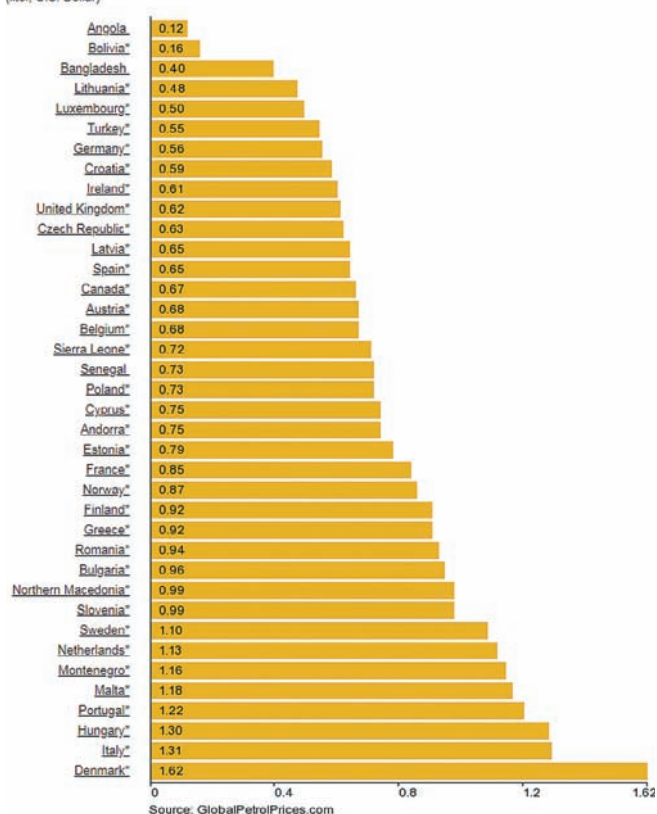


Рис. 4. Котировки мазута

Важно отметить, что разработчик лицензионного проекта, на основании которого составлена контрактная спецификация на строительство судна, — норвежское проектное бюро. Очевидно, что стремление внедрить инновации для экономии топлива продиктованы экономическими особенностями в этой стране.

Экономия от внедрения режима пониженной частоты растет пропорционально стоимости топлива. Анализ рыночных котировок показывает, что средняя цена тонны мазута, например, в Дании составляет 121,5 тыс.руб./т. (1,62 долл./л [13]), а средняя инфляция составляет около 0,5%. При таких цене топлива и инфляции экономия финансовых средств от внедрения режима с пониженной частотой значительно возрастает, а срок окупаемости вложений — уменьшается.

На рис. 5 проиллюстрированы зависимости экономического эффекта при внедрении переменной частоты и срок окупаемости этого мероприятия от стоимости тяжелого топлива.

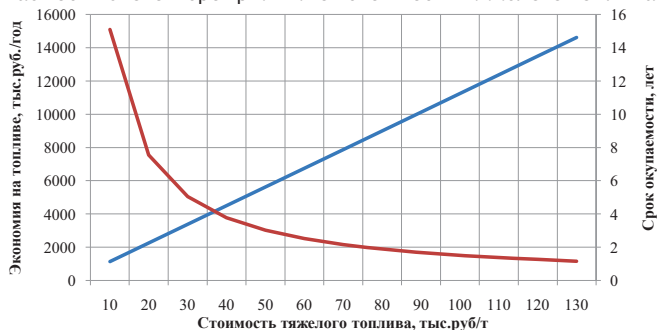


Рис. 5. Эффект и срок окупаемости ЭЭС на переменной частоте при ЦТ=16 тыс.руб./т (0,22 долл./л) и $E=5\%$

— экономия на топливе, тыс.руб./г,
— срок окупаемости, г

С начала 2020 г. вступили в силу новые требования ИМО об использовании на судах низкосернистого топлива [14]. Это привело к росту цены топлива на 25% [15], однако, по заявлениям судовладельцев, ничего критичного в переходе

на низкосернистое судовое топливо нет [16]. Это объясняется тем, что расходы судовладельцев на топливо для промысловых судов обусловлены удаленностью района промысла от береговой базы и не превышают 10% его полных годовых эксплуатационных расходов [17, 18].

ВЫВОДЫ

Чем дороже топливо, тем больше денежных средств ежегодно экономится при внедрении в проект электростанции переменной частоты.

Чем дороже топливо, тем быстрее окупаются инвестиции в реализацию ЭЭС судна с переменной частотой.

Чем больше электрическая мощность источника стабилизированной электроэнергии на судне с электростанцией с переменной частотой, тем выше стоимость оборудования для стабилизации и больше срок окупаемости инвестиций.

Суда с дорогостоящей электроэнергетической установкой, позволяющей изменять частоту сетевого напряжения в различных режимах работы судна, актуальны для стран, в которых стоимость топлива высока.

Для условий российского рынка энергоресурсов такое решение о внедрении дорогостоящей двухчастотной электростанции видится неоправданным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хватов О.С., Дарьенков А.Б. Электростанция на базе дизель-генератора переменной частоты вращения // Электротехника. – 2014. – № 3. – С. 28–32.
2. Гузев С.А., Дарьенков А.Б., Дмитриев С.М., Филатов И.Н. Обоснование выбора типа электрического генератора для автономной электростанции переменной частоты вращения. – В сб.: Актуальные проблемы электроэнергетики / Ответст. редактор А.Б. Дарьенков. – Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2016, с. 44–50.
3. Григорьев А.В., Малышев С.М., Зайнуллин Р.Р. Судовая электростанция с вентильными дизель-генераторами переменной частоты вращения // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11. – № 1. – С. 193–4201.

4. Коробко Г.И., Хватов О.С., Коробко И.Г. Разработка и моделирование дизель-генератора с изменяемой частотой вращения в судовой единой электроэнергетической системе // Вестник Ивановского ГЭУ. – 2017. – №1. – С.55–61.
5. Hansen Инициалы?? et. al. Fuel-efficient power plant featuring variable speed generation system for DP drilling unit // Dynamic Positioning Conference, 2016, October 11-12.
6. Стабилизатор напряжения трансформаторных подстанций предприятия / Климаш В.С., Гнедин П.А., Евсеев А.В. – Патент на изобретение RU 2540421 C2, 10.02.2015. Заявка № 2013124566/07 от 28.05.2013 // Бюлл. – 2015. №4.
7. Стабилизатор трехфазного напряжения промышленной сети / Кириллов Н.П. – Патент на полезную модель RU 23536 U1, 20.06.2002. Заявка № 2001127773/20 от 18.10.2001. // Бюлл. – 2002. №7.
8. Boukhechem I., Boukadoum A., Boukelkoul L., Lebied R. Sensorless direct power control for three-phase grid side converter integrated into wind turbine system under disturbed grid voltages // Electrical engineering & electromechanics. – 2020. – № 3. – С. 48–57.
9. Информационный портал МОСНЕФТЕБИЗНЕС – <http://toplivo777.ru/sudovoe-toplivo>
10. Раков А.И., Севастьянов Н.Б. Проектирование промысловых судов. – Л.: Судостроение, 1981. – С.376.
11. Непомнящий. Е.Г. Экономическая оценка инвестиций: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 290 с.
12. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Учеб. пособие / Сост. А.Н. Ткаченко. – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2003. – 78 с.
13. Интернет ресурс GlobalPetrolPrices – https://www.globalpetrolprices.com/heating_oil_prices/
14. Официальный сайт IMO – <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/19-Implementation-of-sulphur-2020-limit.aspx>
15. Интернет-ресурс «InfraNews» – <http://infranews.ru/logistika/more/55529-nizkosernistoe-toplivo-dorozhaet/>
16. Интернет-ресурс «Neftegaz.RU» – <https://neftgaz.ru/news/Suda-i-sudostroenie/478960-po-raznomu-sudovladeltsy-gotovyatsya-k-novym-normam-imo-po-soderzhaniyu-sery-v-toplive/>
17. Раков А.И. Особенности проектирования промысловых судов. – Л.: Судостроение, 1966.
18. Коришнев Л.П. Энергетические установки промысловых судов. – СПб.: Судостроение, 1991. ■

ВВЕДЕНИЕ

Из всех физических полей корабля именно магнитное поле, создаваемое кораблем в окружающем пространстве, позволяет наиболее оптимально построить неконтактный взрыватель морской мины, способный выбрать цель и произвести эффективный подрыв мины в пределах радиуса поражения ею корабля. Поэтому не случайно, что 90% известных типов морских мин имеют боевой магнитный или магнитоиндукционный канал неконтактного взрывателя [1].

Первыми в мире работами в области неконтактного оружия занялись англичане. В конце Первой мировой войны ими была разработана первая магнитная мина, реагирующая на вертикальную составляющую магнитного поля корабля, которая была применена против немецких кораблей у берегов Фландрии и в 1919 г. на Северной Двине [2].

Принцип действия магнитной мины показан на рис. 1 [3].

Под действием магнитного поля корабля, проходящего над миной, маг-

нитная стрелка отклоняется, замыкает контакты, после чего на детонатор происходит подача электропитания и происходит подрыв мины.

В период между двумя войнами шли активные работы по исследованию магнитных полей и совершенствованию магнитоизмерительной аппаратуры, которые позволили к 1936 г. создать Комитет по разработке контрмер по борьбе с неконтактным минно-торпедным оружием, сконцентрировавшему у себя все

материалы по исследованию магнитных полей кораблей.

В течение 1936–1937 гг. в комитете были разработаны принципиальные основы размагничивания кораблей и создан метод обмоточного размагничивания – компенсации магнитного поля корабля магнитным полем системы обмоток с током (рис. 2).

В начальный период Второй мировой войны немецкие мины с магнитным каналом взрывателя срабатывали только

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ЗАЩИТНЫХ КОЖУХОВ ОБМОТОК РАЗМАГНИЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА ДЕТЕРМИНАЦИИ

М.В. Горячев, инженер-конструктор 1-й категории АО «Северное ПКБ»,
контакт. тел. +7 (929) 165 1696

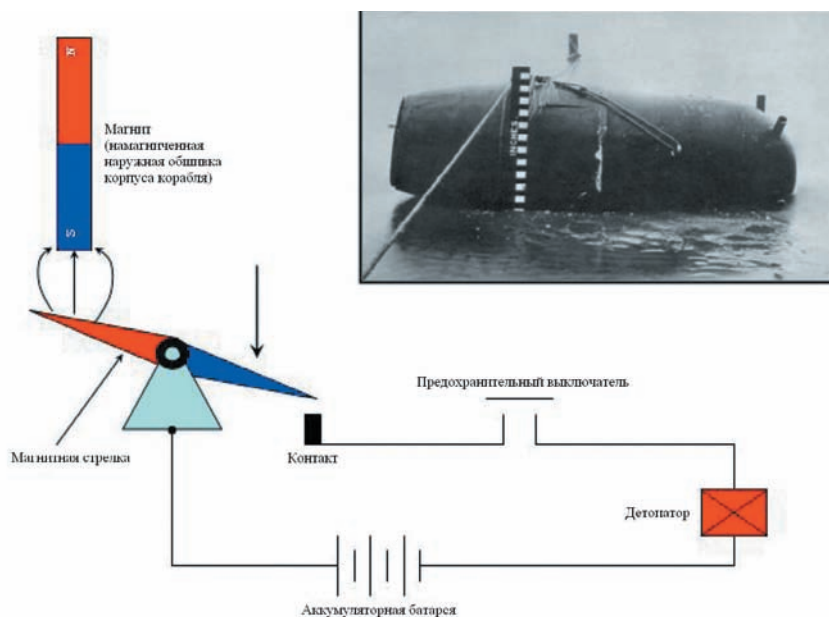


Рис. 1. Принцип работы магнитной мины

от превышения вертикальной составляющей магнитного поля Земли, поэтому для защиты кораблей от данного типа мин было достаточно перемагнитить корабль по вертикальной составляющей в отрицательную сторону. Компенсация вертикальной намагниченности корабля выполнялась горизонтальной обмоткой, которая первоначально представляла собой контур из кабеля или ленты, покрытой изоляционным лаком, закреплённой с наружной стороны бортов немного выше ватерлинии и охватывающей весь корабль [2]. Первые же выходы кораблей, оборудованных такой компенсирующей обмоткой, показали её крайне низкую живучесть из-за частых повреждений кабелей волнами и при швартовке, поэтому вскоре трассы обмоток стали прокладывать по палубе у борта, что несколько улучшало её живучесть, но не было оптимальным с точки зрения высоты расположения трассы. К марту 1940 г. после исследований на магнитной модели было разработано размагничивающее устройство с расположением трасс обмоток внутри корабля [4].

Концепция размагничивающего устройства, состоящая из системы трёх многосекционных ортогональных обмоток, расположенных внутри корпуса корабля, сохранилась до нашего времени. Тем не менее вопрос с прокладкой кабелей размагничивающего устройства с наружной стороны борта является актуальным и на сегодняшний день [5], поэтому важен выбор материала защитных кожухов обмоток.

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ЗАЩИТНЫХ КОЖУХОВ ОБМОТОК РАЗМАГНИЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Основным требованием к защитным кожухам обмоток размагничивающего устройства является отсутствие экранирования магнитного поля, создаваемого обмоткой.

Первый вариант защитного кожуха представлял собой стальной канал, закрытый стеклопластиковыми крышками. Основным недостатком данного варианта было эксплуатационное раз-

рушение крышки набегающим потоком, что негативно сказывалось на мореходных характеристиках корабля и приводило к необходимости частой постановки в док. Кроме того, из-за повреждения крышек в кабельные каналы затекала вода, в результате чего уменьшалась величина сопротивления изоляции в обмотках размагничивающего устройства и требовалось его частичный вывод из эксплуатации.

В дальнейшем вместо стального канала и стеклопластиковой крышки защитный кожух обмоток размагничивающего устройства было предложено выполнить полностью из маломагнитной стали. Опыт эксплуатации кораблей, оборудованных таким вариантом кожуха, показал, что в нём были полностью решены проблемы, обусловленные низкой надёжностью стеклопластиковых крышек предыдущего варианта.

Однако применение данного варианта кожуха выявило целый ряд конструктивных и технологических трудностей, связанных, в первую очередь, именно с применением маломагнитной стали. Например, было отмечено, что конструкции из данного вида стали склонны к образованию трещин, плохо свариваются и дают большие сварочные деформации. Кроме того, из-за большой разности потенциалов материалов корпуса корабля и кожуха, выполненного из маломагнитной стали, нарушение лакокрасочного покрытия может привести к его коррозионному разрушению в морской воде.

Одним из вариантов повышения эксплуатационных характеристик защитного кожуха обмотки размагничивающего устройства стало его изготовление в ферромагнитном исполнении с ферромагнитной подложкой, приваренной к корпусу корабля. Теоретическим обоснованием возможности применения данного варианта кожуха стало лабораторное моделирование, выполненное специалистами ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и показавшее, что нахождение провод-

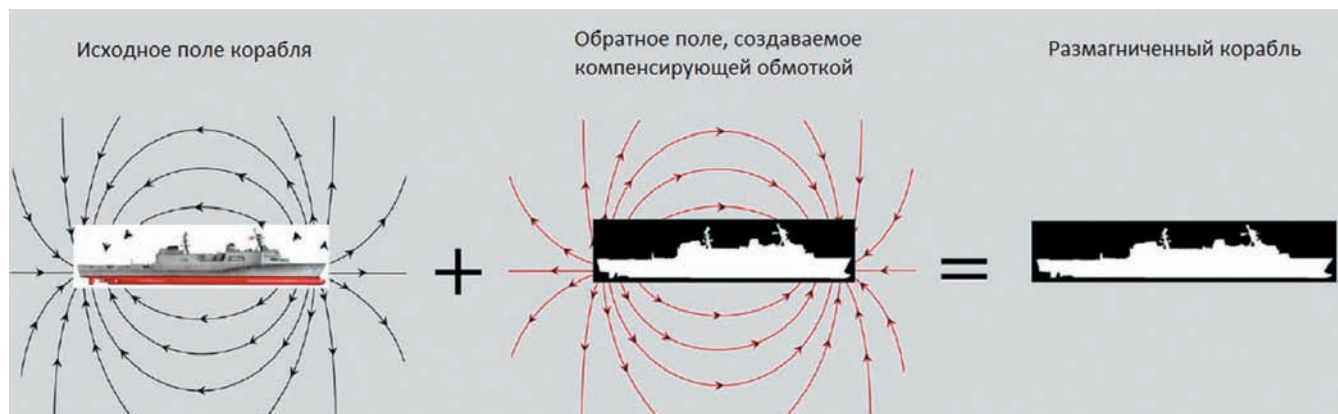


Рис. 2. Принцип работы компенсирующей обмотки

ника с током в магнитной трубе не даёт экранирования по нулевой гармонике, но распространяется на все остальные гармоники.

Для сравнения различных вариантов защитных кожухов обмоток размагничивающего устройства, в программе Elcut было выполнено компьютерное моделирование упрощённой модели фрагмента корпуса корабля с проложенной по нему обмоткой. В связи с тем, что основным требованием к защитным кожухам, является отсутствие экранирования магнитного поля, создаваемого обмоткой, при моделировании рассматривалось изменение индукции магнитного поля внутри корпуса, ограниченного кожухом.

В качестве базового («0») варианта, относительно которого выполняется сравнение, является вариант без кожухов, при котором обмотка размагничивающего устройства прокладывается вдоль корпуса без каких-либо защитных экранов.

График изменения величины индукции магнитного поля внутри металла корпуса корабля для базового варианта приведён на рис. 3. Пики на графике обусловлены локальным ростом магнитного поля в районе расположения обмотки.

Помимо базового варианта, моделирование было выполнено для следующих вариантов кожухов:

- неметаллический кожух (вариант «А»), защитная крышка которого выполнена из стеклотекстолита с величиной магнитной проницаемости, равной 1;
- неметаллический кожух (вариант «В»), защитная крышка которого выполнена из маломагнитной стали с величиной магнитной проницаемости, равной 1,01;
- ферромагнитный кожух с ферромагнитной подложкой (вариант «С»), защитная крышка которого выполнена из стали с величиной магнитной проницаемости, равной 174.

Сравнение различных вариантов кожухов выполнено путём расчёта для каждого из них коэффициента детерминации по массиву значений величины магнитного поля (МП) внутри металла корпуса корабля. Коэффициент детерминации для каждого из вариантов рассчитывается по формуле [6]

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

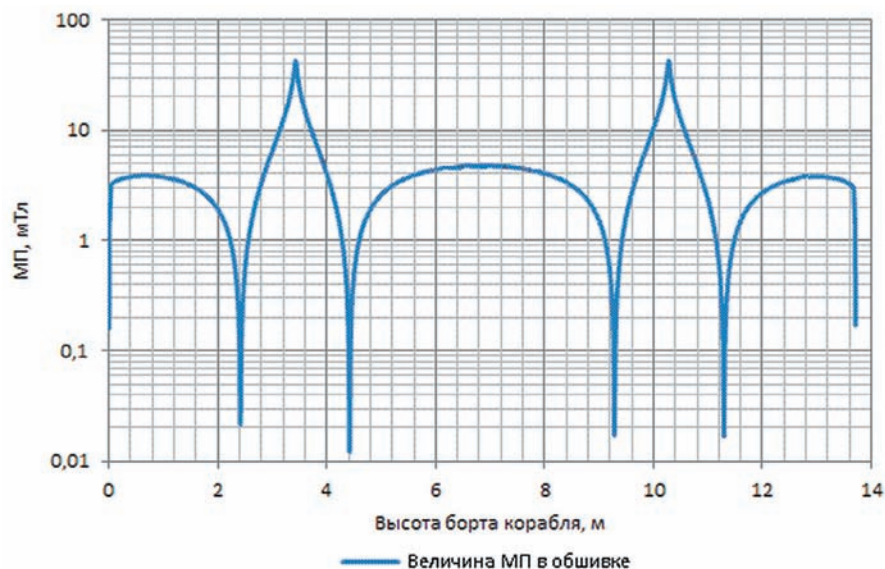


Рис. 3. Величина индукции магнитного поля внутри металла корпуса корабля

где $\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$; R^2 – коэффициент детерминации; y_i – уровень МП внутри металла корпуса для сравниваемых вариантов кожухов, мТл; $\hat{y}_i$ – уровень МП внутри металла корпуса для базового варианта кожуха, мТл; $\bar{y}_i$ – средний уровень МП внутри металла корпуса для сравниваемых вариантов кожухов, мТл; n – количество данных.

Результаты сравнения приведены в таблице ниже. Дополнительно в неё

образно, так как его эксплуатационные характеристики хуже, чем кожухов из маломагнитного материала, при этом за счёт своей конструкции они вызывают большие искажения МП.

Защитные кожухи из ферромагнитного материала вызывают существенные искажения МП, поэтому возможность их применения может быть определена после более детальных исследований.

Таблица

Результаты сравнения различных вариантов кожухов

Показатель	Вариант кожуха			
	«0»	«А»	«В»	«С»
R^2	1,00000	0,99733	0,99991	0,57970
Средний уровень МП внутри металла, мТл	4,68	4,72	4,69	6,57

включена величина среднего уровня МП внутри металла корпуса для сравниваемых вариантов кожухов.

Анализ полученных данных показывает, что наиболее близким к базовому варианту является кожух, выполненный из маломагнитной стали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение различных вариантов защитных кожухов обмоток размагничивающего устройства, выполненное путём расчёта для каждого из них коэффициента детерминации по массиву значений величины МП внутри металла корпуса корабля, показало, что изготовление кожуха из маломагнитной стали вызывает минимальные искажения МП.

Применение защитных кожухов из немагнитного материала нецелесо-

ЛИТЕРАТУРА

1. Краснов И. П., Брядов Ю. Г., Григорьев Б. П. Магнитная защита кораблей и судов, современное состояние, история и перспективы. – Тр. Международ. конферен. NSN-2003. – СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2003.
2. Ткаченко В. А. История размагничивания кораблей Советского Военно-Морского Флота. – Л.: Наука, 1981.
3. Holmes John J. Reduction of ship's magnetic field signatures. – Morgan & Claypool, 2006.
4. Семёнов В. Г. Две истории размагничивания. – СПб.: Диалог, 2008.
5. Мирошников С. В. Развитие магнитной защиты подводных лодок // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2012. – Т. 5. – № 2.
6. Эконометрика / Под ред. И. И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2008. ■

Рассматриваемая система очистки водорода предназначена для удаления углекислого газа из газовой смеси, получаемой путем риформинга углеводородного топлива в топливном процессе воздухонезависимой энергетической установки (ВНЭУ) [1]. Удаление углекислого газа (CO_2) проводится в абсорбере [2] путем растворения CO_2 в воде. Очищенная от CO_2 газовая смесь, содержащая преимущественно водород, используется в дальнейшем по назначению. Управление подачей воды в абсорбер и сливом из него водного раствора углекислого газа должно обеспечивать его растворение в воде при изменении ее параметров в рабочем диапазоне, при этом должны поддерживаться штатные условия работы абсорбера при изменении в рабочем диапазоне параметров газа, подаваемого на его вход и отбираемого с его выхода.

ОПИСАНИЕ БЛОКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ CO_2

Схема блока предварительной очистки газов (БПО) и технических средств, используемых для его управления, изображена на рис. 1.

Расход воды, подаваемой в БПО, регулируется в соответствии с технологией очистки газа, при которой в первую ступень очистки (C1, A1) подается 70% общего расхода воды, а во вторую ступень очистки (C2, A2) – 30%.

Газ из топливного процессора поступает на вход первого сатуратора C1, где происходит растворение части CO_2 , содержащегося в газе, водой, поступающей из первого питательного клапана ПК1.

В абсорбере A1 происходит разделение нерастворенного в C1 газа и воды с растворенным в ней CO_2 , поступивших из сатуратора C1. Вода с растворенным в ней газом сливается из A1 через клапан слива КС1, обеспечивающий поддержание заданного уровня воды в A1.

Сатуратор C1 и абсорбер A1 составляют первую ступень очистки газа. Из абсорбера A1 газ поступает через регулирующийся клапан РК2 в сатуратор C2, где происходит дополнительное растворение CO_2 в воде, подаваемой в сатуратор через питательный клапан ПК2.

В абсорбере A2 происходит разделение нерастворенного в C2 газа и воды с растворенным в ней CO_2 , поступивших из сатуратора C2. Вода с растворенным в ней газом сливается из A2 через клапан слива КС2, обеспечивающий поддержание заданного уровня воды в A2.

Сатуратор C2 и абсорбер A2 составляют вторую ступень очистки газа. Из абсорбера A2 газ вместе с примесями воды поступает в абсорбер A3, где происходит отстой поступившей воды. Из абсорбера A3 вода сливается через клапан ОК6, обеспечивающий поддержание заданного уровня воды в A3.

Газ из A3 через регулирующийся клапан РК2 подается в блок глубокой очистки. С помощью РК1 в БПО поддерживается заданное давление газа. Насос Н обеспечивает подачу или отбор воды из абсорберов A1 и A2 в зависимости от соотношения давления внешней воды и давления газа в абсорберах. При давлении внешней воды, меньшем давления в абсорберах A1 и A2, насос своим выходом подключен ко входам ПК1 и

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ ОЧИСТКИ ВОДОРОДА ОТ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

А.В. Балакин, канд. техн. наук, зам. директора центра — начальник отдела,
А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотрудник,
А.С. Кармазин, инженер 3-й категории,
М.В. Ларионов, начальник лаборатории,
С.Н. Сурин, канд. техн. наук, зам. ген. директора — директор по спецтематике и автоматизации ЯЭУ,
 АО «Концерн «НПО «Аврора»,
 контакт. тел. (812) 643 1877

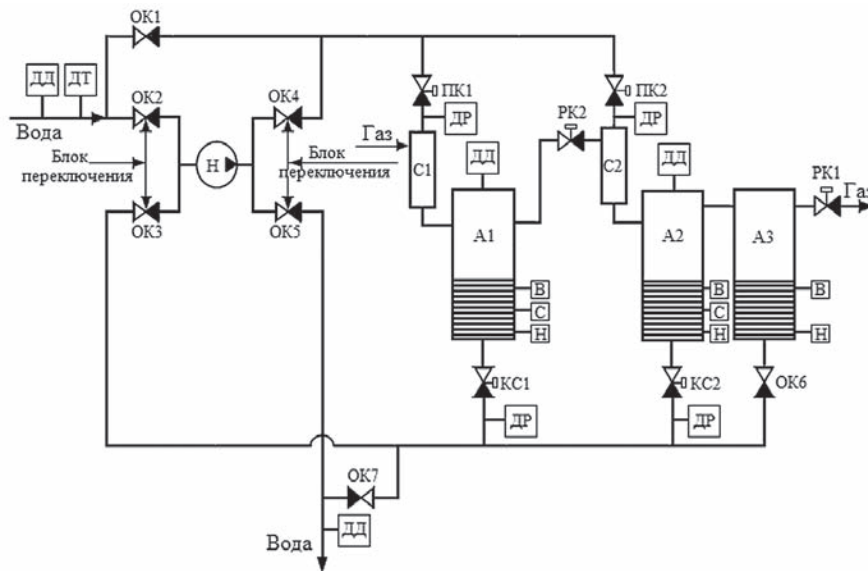


Рис. 1. Схема БПО и технических средств, используемых для его управления C1, C2 – сатураторы; A1, A2, A3 – абсорберы; Н – насос переменной производительности; ПК1, ПК2 – питательные клапаны; КС1, КС2 – клапаны слива; РК1, РК2 – клапаны, регулирующие давление газа; ОК1, ОК2, ОК3, ОК4, ОК5, ОК6, ОК7 – отсежные клапаны; ДД – датчики давления; ДР – датчики расхода; ДТ – датчик температуры; В, С, Н – сигнализаторы верхнего, среднего и нижнего уровня

ПК2. При давлении внешней воды, большем давления в абсорберах, насос своим входом подключен к клапанам слива КС1, КС2 и отсежному клапану ОК6.

Подключение насоса ко входам ПК1 и ПК2 или выходам КС1 и КС2 осуществляется с помощью отсежных клапанов ОК2 – ОК5. Отсежной клапан ОК1 подключает входы ПК1 и ПК2 к внешней воде при ее давлении, большем давления в A1 и A2. Отсежной клапан ОК7 подключает выходы КС1 и КС2 к внешней воде при ее давлении, меньшем давления в A1 и A2.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЗА

Структура системы очистки (СО) разрабатывалась для двух вариантов:

- первый вариант предназначен для испытаний совместно с комплексом технических средств на испытательном стенде при давлении внешней воды, меньшем давления в СО;
- второй вариант предназначен для стендовых испытаний совместно с комплексом технических средств при изменении давления внешней воды в диапазоне, включающем давление в СО.

Поставленная задача решалась путем сравнительного анализа различных вариантов структур узла очистки с использованием методов математического моделирования в реальном времени, реализованных в среде графического программирования LabView.

Структура СО разрабатывалась с учетом результатов патентных исследований и анализа литературных источников.

Рассмотрим вначале один из возможных вариантов структуры системы автоматического управления при давлении внешней воды, включающем давление в СО.

Очистка газовой смеси, получаемой путем риформинга углеводородного топлива, от содержащегося в ней углекислого газа, с помощью внешней воды и удалении его водного раствора при любом изменении внешнего давления обеспечивается системой, структура которой представлена на рис. 2.

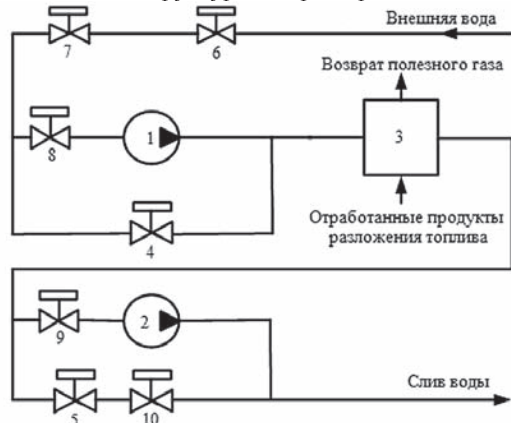


Рис. 2. Структура системы автоматического управления при различных соотношениях давлений внешней воды и давления в абсорбере

1 – насос подачи внешней воды переменной производительности; 2 – откачивающий насос переменной производительности; 3 – абсорбер; 4, 5 – питательные клапаны; 6 – 10 – первый – пятый дроссельные регулирующие клапаны

Работа системы происходит следующим образом: отработанные продукты разложения углеводородного топлива, содержащие смесь диоксида углерода и водорода (CO_2 и H_2), поступают на второй вход абсорбера, где в результате взаимодействия с внешней водой происходит поглощение CO_2 , а выделенный из смеси водород H_2 через второй выход абсорбера идет к потребителю.

На режимах работы узла очистки с давлением внешней воды, меньшим давления в абсорбере, устанавливаемым с учетом поступления в абсорбер отработанных газов (ОГ) ($p_{\text{абс}} < p_{\text{опрт}}$), внешняя вода поступает в абсорбер 3 через полностью открытые первый второй и третий дроссельные регулирующие клапаны 6, 7, 8 и насос подачи внешней воды переменной производительности 1. Частоту вращения насоса устанавливают таким образом, чтобы расход внешней воды, подаваемой из насоса в абсорбер, обеспечивал растворение углекислого газа, выделяемого из поступающих в абсорбер ОГ, при поддерживаемом в абсорбере давлении внешней воды. Значение расхода внешней воды устанавливают в зависимости от ее температуры t и давления газовой смеси в абсорбере $p_{\text{абс}}$. Водород с первого выхода абсорбера поступает в систему подачи к потребителю.

Требуемый уровень внешней воды в абсорбере поддерживают с помощью второго питательного клапана 5, открытие которого устанавливают так, чтобы слив раствора CO_2 из абсорбера уравновешивал поступление внешней воды и газа в него, а также величину отбора полезных продуктов риформинга топлива в систему генерирования мощности установки. При этом четвертый дроссельный регулирующий клапан 9 закрыт, а откачивающий насос 2 отключен, за счет чего экономятся энергозатраты на работу установки.

При разнице давлений в абсорбере и внешней воды, превышающей значение перепада давления, срабатываемого на втором питательном клапане 5, допустимого для его маломощной работы, изменяют площадь открытия пятого дроссельного регуливающего клапана 10 таким образом, чтобы при гидравлическом сопротивлении, создаваемом дроссельным клапаном 10, перепад давлений на втором питательном клапане 5 не превышал значения, допустимого для его маломощной работы. При срабатывании на втором питательном клапане 5

перепада давления, меньшего, чем перепад давления, допускаемый по условиям его маломощной работы, дроссельный клапан 10 полностью открыт.

Если при принятых условиях эксплуатации ВНЭУ разность между давлением в абсорбере и минимальным давлением внешней воды не превышает значения, соответствующего перепаду давлений на втором питательном клапане 5, максимально допустимому по условиям его маломощной работы, дроссельный клапан 10 полностью открыт и не используется в работе системы.

На режимах работы СО с давлением внешней воды, большим давления в абсорбере, насос подачи внешней воды 1 *будет* отключен, а третий дроссельный регулирующий клапан 8 закрыт. Для полного растворения CO_2 в воде ее расход в абсорбере 3 обеспечивают открытием первого питательного клапана 4. Площадь открытия клапана 4 устанавливают таким образом, чтобы при поддерживаемом в абсорбере давлении воды $p_{\text{скр}}$, обеспечить необходимый расход воды через него при располагаемом перепаде давлений Δp_4 , определяемом давлением воды p_7 за вторым дроссельным регулирующим клапаном 7 и давлением в абсорбере ($\Delta p_4 = p_7 - p_{\text{скр}}$) в соответствии с известной формулой Дарси-Вейсбаха:

$$G_{\text{кл}} = \xi F_{\text{кл}} \sqrt{2\rho \Delta p_{\text{кл}}},$$

где $G_{\text{кл}}$ – массовый расход воды через клапан, поступающей в абсорбер; ξ – коэффициент расхода (фактически местное гидравлическое сопротивление клапана); $F_{\text{кл}}$ – площадь открытия клапана; ρ – плотность жидкости, проходящей через клапан; $\Delta p_{\text{кл}} = \Delta p_4$ – перепад давления, срабатываемого на клапане.

Нерастворенный в воде полезный продукт разложения топлива (водород), получаемый после фазового разделения в абсорбере на жидкую и газообразную фазу, поступает с первого выхода абсорбера в систему подачи к потребителю.

Для маломощной работы первого питательного клапана 4 при росте давления внешней воды срабатываемый на нем перепад давлений Δp_4 ограничивают величиной Δp_{max} (ориентировочно $\Delta p_{\text{max}} \leq 0,5 \text{ МПа}$). Это достигается с помощью второго дроссельного регуливающего клапана 7. Уменьшая площадь открытия клапана 7 при росте давления внешней воды $p_{\text{зв}} > p_{\text{абс}} + \Delta p_{\text{max}}$ поддерживают за клапаном 7 давление не выше величины $p_{\text{абс}} + \Delta p_{\text{max}}$.

Для обеспечения маломощной работы клапана 7 при больших давлениях внешней воды срабатываемый на нем перепад давлений ограничивают величиной Δp_{max} с помощью первого дроссельного регуливающего клапана 6. Уменьшая площадь открытия этого клапана при росте давления внешней воды $p_{\text{зв}} > p_{\text{абс}} + 2\Delta p_{\text{max}}$ поддерживают за клапаном 6 давление не выше величины $p_{\text{абс}} + 2\Delta p_{\text{max}}$.

Клапаны 7 и 6 вступают в работу последовательно по мере увеличения давления внешней воды, обеспечивая маломощную работу регулирующих органов. Если давление внешней воды не превышает значения $p_{\text{скр}} + 2\Delta p_{\text{max}}$, использование в составе системы первого дроссельного клапана 6 становится нецелесообразным.

Давление внешней воды в абсорбере поддерживают с помощью откачивающего насоса переменной производительности 2, в который вода из абсорбера поступает через полностью открытый четвертый дроссельный регулирующий клапан 9. Значение частоты вращения насоса 2 устанавливают таким образом, чтобы в результате удаления водного раствора CO_2 из абсорбера в слив, давление воды в абсорбере было равным принятому значению $p_{\text{абс}}$.

При этом второй питательный клапан 5 полностью закрыт, а пятый дроссельный регулирующий клапан 10 полностью открыт.

Отключение насоса подачи внешней воды 1 на режимах с давлением воды, большим максимально допустимого в абсорбере, способствует экономии энергозатрат на этих режимах.

На режимах работы СО с давлением внешней воды, близким к давлению в абсорбере ($p_{\text{абс}} - \Delta p_{\text{мин}} \leq p_{\text{зв}} \leq p_{\text{абс}} + \Delta p_{\text{мин}}$, где $\Delta p_{\text{мин}}$ – минимально допустимый перепад давления на насосе для его безопасной работы), расход внешней воды в абсорбере, обеспечивающий полное растворение CO_2 , формируют с помощью первого питательного клапана 4, а также третьего дроссельного регулирующего клапана 8 и насоса подачи внешней воды 1 при полностью открытых дроссельных регулирующих клапанах 6 и 7. На этих режимах расход воды в абсорбере, обеспечивающий полное растворение CO_2 , формируется как сумма расходов воды через питательный клапан 4 и насос 1.

При давлении воды за вторым дроссельным регуливающим клапаном 7 p_7 , меньшим $p_{\text{абс}}$, питательный клапан 4 закрыт, и требуемый расход воды в абсорбер обеспечивается только насосом 1. На этих режимах работы СО для безопасной работы насоса 1 необходимо, чтобы перепад давлений на нем Δp_n не был меньше величины $\Delta p_{\text{мин}}$, определяемой техническими характеристиками насоса. Выполнение этого условия обеспечивается с помощью третьего дроссельного регулирующего клапана 8.

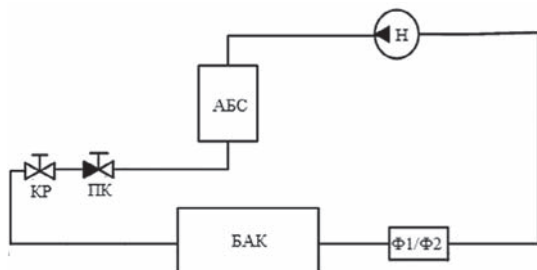


Рис. 3. Схема узла очистки с расходным насосом переменной производительности
АБС – абсорбер; Ф1/Ф2 – фильтры очистки воды; Н – насос переменной производительности; ПК – питательный регулирующий клапан; КР – клапан, управляющий противодавлением в сливной магистрали

Уменьшая площадь открытия этого клапана, устанавливая его в такое положение, при котором за счет роста гидравлического сопротивления клапана давление перед насосом 1 ($p_8 = p_7 - \Delta p_8$) уменьшается до величины, при которой перепад давлений на насосе ($\Delta p_4 = p_{\text{абс}} - p_8$) будет превышать минимально допустимое значение $\Delta p_{\text{мин}}$. Частоту вращения насоса устанавливают так, чтобы расход воды через насос соответствовал расходу, требуемому для полного растворения CO_2 .

При увеличении $p_7 > p_{\text{абс}}$ происходит открытие первого питательного клапана 4. Площадь его открытия изменяют от нулевой (при $p_7 \leq p_{\text{абс}}$) до величины, обеспечивающей требуемый расход воды в абсорбер. Частоту вращения насоса 1 и открытие питательного клапана 4 изменяют по согласованной программе таким образом, чтобы суммарный расход через насос 1 и питательный клапан 4 равнялся требуемому для полного растворения CO_2 . При увеличении перепада давлений на питательном клапане 4 ($\Delta p_4 = p_7 - p_{\text{абс}}$) до величины, при которой расход через этот клапан становится равным требуемому расходу воды в абсорбер при полностью открытом клапане 4, третий дроссельный регулирующий клапан 8 закрывают, а насос 1 останавливают.

Установленный уровень воды в абсорбере на рассматриваемых режимах работы ВНЭУ поддерживают следующим образом: при давлении внешней воды, меньшем давления в абсорбере, запускают откачивающий насос 2 и открывают четвертый дроссельный регулирующий клапан 9. Площадь открытия клапана 9 устанавливают такой, чтобы давление p_9 перед насосом 2 было меньше давления внешней воды на величину $\Delta p \geq \Delta p_{\text{мин}}$. Это обеспечивает штатные условия работы насоса 2. Частоту вращения насоса устанавливают по согласованной программе с такой площадью открытия второго питательного клапана 5, чтобы суммарный отбор воды

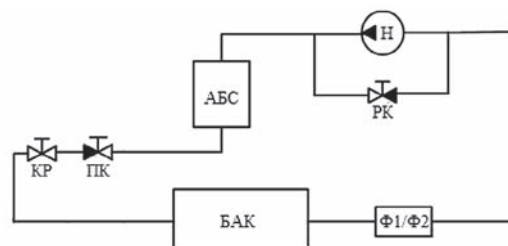


Рис. 4. Схема узла очистки с расходным насосом нерегулируемой производительности и клапаном рециркуляции

Н – насос нерегулируемой производительности; РК – клапан рециркуляции

из абсорбера через насос 2 и второй питательный клапан 5 поддерживал в абсорбере давление воды $p_{\text{абс}}$, равное принятому. При этом пятый дроссельный регулирующий клапан 10 полностью открыт.

При $p_{\text{зв}} \geq p_{\text{абс}}$ второй питательный клапан 5 закрывают, а площадь открытия четвертого дроссельного клапана 9 изменяют таким образом, чтобы перепад давлений на насосе 2 ($\Delta p_n = p_{\text{зв}} - p_9$) не был меньше $\Delta p_{\text{мин}}$, что обеспечивает штатные условия работы насоса. Давление воды в абсорбере поддерживают за счет выбора соответствующей частоты вращения насоса 2. При $p_{\text{зв}} - p_{\text{абс}} \geq \Delta p_{\text{мин}}$ дроссельный клапан 9 полностью открывают.

Рассмотрим два варианта такой схемы, реализованной на испытательном стенде и изображенной на рис. 3 и рис. 4 с учетом монтажа совместно с оборудованием стенда (баком расходной воды и фильтрами): с использованием расходного насоса переменной производительности и насоса нерегулируемой производительности, оборудованного клапаном рециркуляции.

Размещение клапана рециркуляции в схеме рис. 4 позволяет поддерживать заданный расход воды в абсорбер путем перепуска излишнего расхода воды через насос, работающий при постоянной частоте вращения, с напорной магистрали на всасывающую.

Комплекс насос нерегулируемой производительности – клапан рециркуляции вместе с их системой автоматического управления (САУ), используемый в схеме, обладает большей надежностью, чем насос переменной производительности с его САУ. Однако энергозатраты на привод насоса в схеме (см. рис. 4) при изменении режимов работы СО в широком диапазоне будут больше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Улучшение процесса растворения CO_2 в воде, подаваемой в абсорбер, может быть достигнуто при управлении отбором воды из абсорбера с помощью сигналов от регулятора давления, ограниченных условиями сохранения требуемого уровня воды в абсорбере. При этом для повышения продолжительности и точности поддержания назначенного давления в абсорбере рекомендуется корректировать сигнал заданного давления по условиям изменения уровня за установленные пределы, увеличивая или уменьшая его в зависимости от выхода уровня за верхний или нижний допустимые пределы. Продолжительность поддержания назначенного давления в абсорбере может быть также увеличена за счет изменения конструктивных характеристик абсорбера: увеличения объема емкости абсорбера, заполненной водой, и увеличения диапазона допустимого изменения уровня воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ченцов М.С., Соколов В.С., Прохоров Н.С. Концепция установки получения водорода риформингом дизельного топлива в составе атмосферонезависимой энергетической установки с электрохимическими генераторами для неатомной подводной лодки // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – №11.С. 39 – 46.
2. Дядик А.Н., Замуков В.В., Дядик В.А. Корабельные воздухоулавливающие энергетические установки. – СПб.: Судостроение, 2006. – 424 с. ■

Арктика – один из важнейших геостратегических районов, где сосредоточены значительные энергетические ресурсы, имеющие большое значение для экономического развития государства. Несмотря на это, степень изученности и освоенности данных ресурсов в приарктических государствах остается крайне низкой. В настоящее время на континентальном шельфе США, Норвегии и России в Арктике реализуются лишь единичные проекты. По оценкам экспертов, до 2030 г. на арктическом шельфе страны будут вести главным образом геологоразведочные работы и подготовку месторождений к последующему масштабному освоению.

Проведение геологоразведочных работ в данном регионе затруднено вследствие его природно-климатических условий из-за наличия льдов и низких температур. Данные условия предъявляют особые требования к бурильному оборудованию.

ЗАО «ЦНИИ СМ» ведет работы по проекту под названием «Погружной буровой комплекс» (ПБК), цель которого – создание комплекса для взятия проб грунта из подледного положения. ПБК будет доставляться на место проведения бурения с помощью подводных средств доставки.

После установки на грунт и горизонтирования ПБК будет выполнять бурение. Основным механизмом в данной операции является вращатель. Керноприемники съемные, конструкция вращения – проходная.

Вращатель задействован в следующих операциях:

- «Бурение» – вращатель поддерживает заданную частоту вращения, механизм подачи вращателя (МПВ) давит на грунт, поддерживая заданное усилие. Управляет частотой вращения и усилием на забой оператор с помощью джойстика на панели пульта управления буровым комплексом (ПУБК);
 - «Развинчивание труб» – по команде оператора ПУБК система управления ПБК в автоматическом режиме плавно перемещает МПВ вверх с высокой степенью податливости и минимальной частотой вращения на валу вращателя;
 - «Свинчивание труб» – по команде оператора ПУБК система управления ПБК в автоматическом режиме плавно перемещает МПВ вниз с высокой степенью податливости и минимальной частотой вращения на валу вращателя.
- Для перемещения вращателя и обеспечения заданного усилия на забой используется гидропривод.

Для выполнения данных операций введены следующие контуры – системы:

- стабилизации давления в гидросистеме;
- регулирования частоты вращения;
- регулирования МПВ по положению;
- регулирования МПВ по усилию;
- регулирования МПВ по положению с учетом усилия.

Система стабилизации давления в гидросистеме. При использовании одного насоса для гидравлического питания нескольких, одновременно работающих исполнительных механизмов необходимо поддерживать постоянным давление рабочей жидкости в гидросистеме. Это решается с помощью насоса постоянной подачи, имеющего простую конструкцию, и электродвигателя с переменной частотой вращения, автоматически меняющего частоту вращения по сигналу датчика давления, установленного в гидромагистрале.

Измеряемое датчиком давление в гидромагистрале давление P_v сравнивается с уставкой (заданным давлением), их разность (ошибка стабилизации) подается на вход ПД-регулятора, состоящего из пропорционального и дифференцирующего звеньев.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩАТЕЛЕМ ПОГРУЖНОГО БУРОВОГО КОМПЛЕКСА

Е. Н. Ефремов, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
зам. гл. конструктора по системам управления,

Д. С. Сверчков, инженер-программист,

А. А. Гадалин, инженер-конструктор, ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1051

Выходной сигнал ПД-регулятора передается через устройство ограничения на вход электропривода и является для него уставкой частоты вращения.

На рис. 1 показана работа системы стабилизации давления в ходе испытаний на стенде ПБК. Полученные данные совпадают с результатами моделирования.

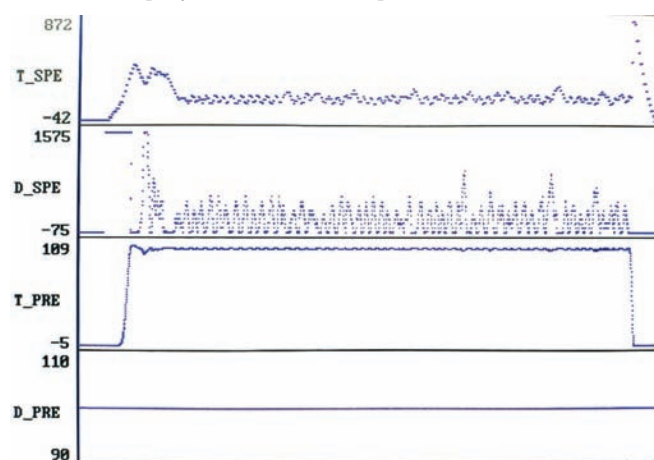


Рис. 1. Изменение давления гидросистемы при работе ПБК

Система регулирования частоты вращения. В данной системе используется электропривод с частотным регулированием. Джойстик используется оператором для задания частоты вращения при выполнении операции «Бурение». Отклонение джойстика от нейтрального положения задает частоту электропривода вращателя в пределах 0...1000 об/мин.

Для операции «Свинчивание/Развинчивание» отклонение джойстика задает частоту вращателя +40 или -40 об/мин.

Система регулирования МПВ по положению. Для выполнения поставленных задач необходимо достичь заданного положения МПВ и поддерживать его с высокой точностью.

Измеряемое датчиком положение МПВР сравнивается с заданным положением, их разность (ошибка стабилизации) подается на вход ПД-регулятора, состоящего из пропорционального и дифференцирующего звеньев.

При моделировании начальное положение МПВ – 200 мм, заданное – 150 мм. Через 30 секунд имитируется отклонение джойстика оператором, на 50-й секунде изменяется усилие (соприкосновение труб). При перемещении с обратной связью только по датчику положения система регулирования не контролирует усилие. Изменение усилия происходит резко (рис. 2).

Изменение положения происходит плавно, в соответствии с заданными коэффициентами (рис. 3). При изменении положения система не контролирует усилие, поэтому соприкосновение труб на 50-й секунде игнорируется.

Скорость перемещения МПВ изменяется резко (рис. 4), в случае необходимости она может быть ограничена.

Результаты работы на стенде соответствуют данным, полученным при моделировании.

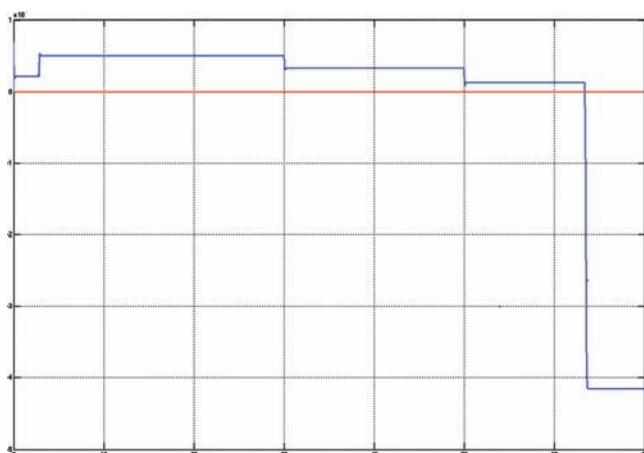


Рис. 2. Изменение усилия при регулировании по положению

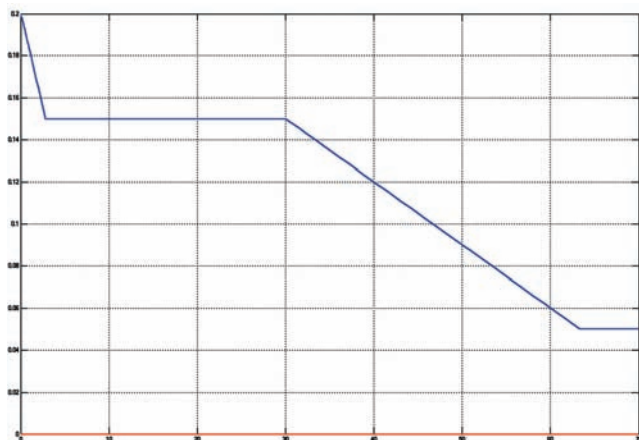


Рис. 3. Изменение положения при регулировании по положению

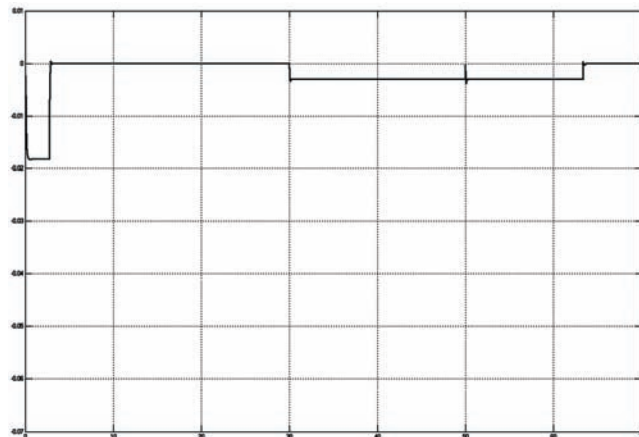


Рис. 4. Изменение скорости перемещения МПВ при регулировании по положению

Система регулирования МПВ по усилию. Для выполнения операции «Бурение» требуется поддержание заданного усилия на забой. Оператор может управлять текущим усилием с помощью соответствующего джойстика.

Обратная связь по усилию на забой обеспечивается с помощью датчиков давления, находящихся в механизме подъема вращателя (МПВ) и измеряющих давление в полостях гидроцилиндра.

Для достижения высокого качества регулирования в контур системы введен ПД-регулятор.

Измеряемое датчиком усилие представляет собой разность усилий в двух полостях (верхней и нижней), оно сравнивается с заданным оператором усилием, их разность подается на вход ПД-регулятора, состоящего из пропорционального и дифференцирующего звеньев.

При использовании регулятора с обратной связью только по усилию усилие в системе изменяется плавно (рис. 5).

Положение меняется (рис. 6) до тех пор, пока МПВ не дойдет до упора, после этого оказываемое усилие будет повышаться до заданного значения. Скорость перемещения МПВ изменяется плавно (рис. 7) Полученные результаты работы на стенде совпадают с расчетными данными.

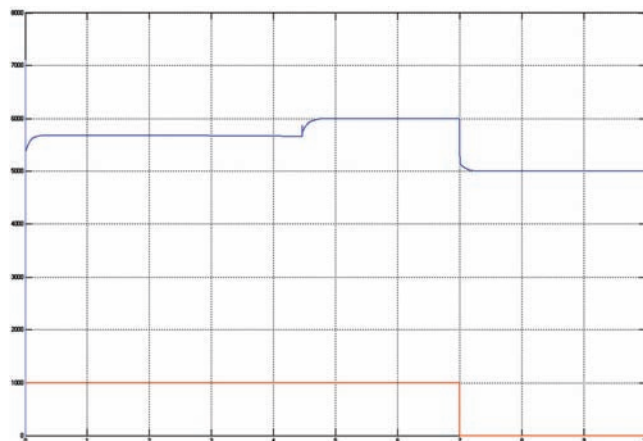


Рис. 7. Изменение усилия при регулировании с поддержанием заданного усилия на забой

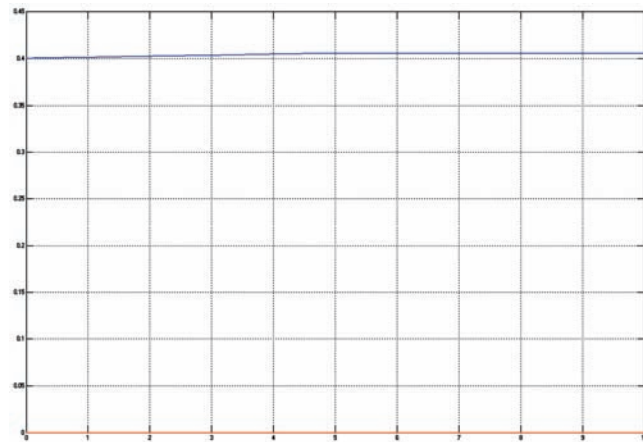


Рис. 8. Изменение положения при регулировании с поддержанием заданного усилия на забой

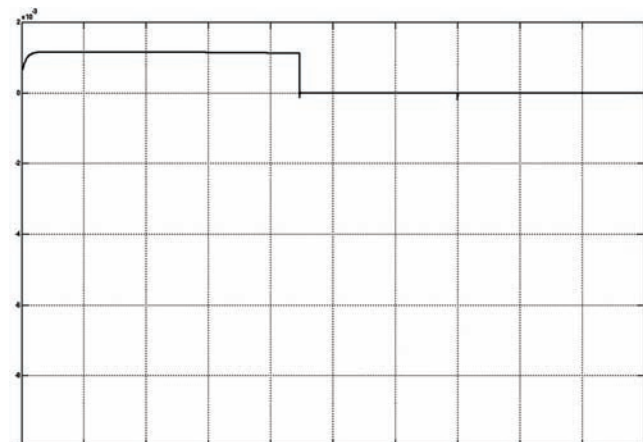


Рис. 9. Изменение скорости перемещения МПВ при регулировании с поддержанием заданного усилия на забой

Система регулирования МПВ по положению с учетом усилия. Для выполнения операции «Свинчивание/Развинчивание» необходимо обеспечивать плавное перемещение МПВ с высокой степенью податливости.

Для получения высокого качества регулирования в контур системы введен ПД-регулятор. Измеряемое датчиком положение МПВ сравнивается с заданным положением, их

разность (ошибка стабилизации) подается на вход ПД-регулятора, состоящего из пропорционального и дифференцирующего звеньев. Корректирующая обратная связь по усилию обеспечивает податливость.

При моделировании начальное и заданное положения МПВ равны 200 мм и 150 мм соответственно. Через 30 секунд имитируется отклонение джойстика оператором.

На 50-й секунде изменяется усилие (соприкосновение труб). Изменение усилия происходит плавно (рис. 8), после соприкосновения труб оказываемое системой усилие снижается, это отображено на графике после 50-й секунды.

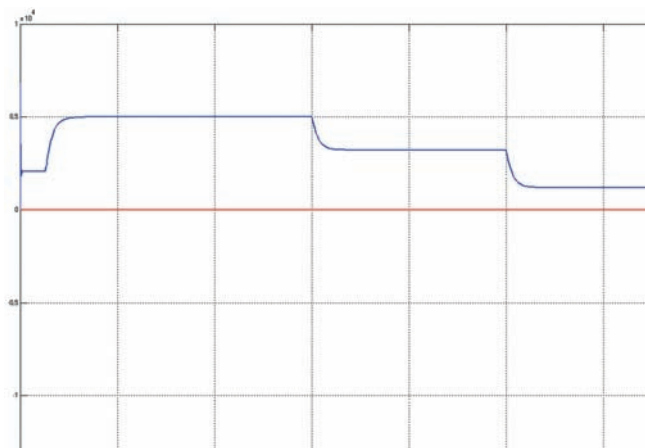


Рис. 8. Изменение усилия при регулировании по положению с учетом усилия

При изменении положения (рис. 9) система контролирует усилие, на графике можно увидеть момент соприкосновения труб. Регулятор реагирует снижением поддерживаемого усилия.

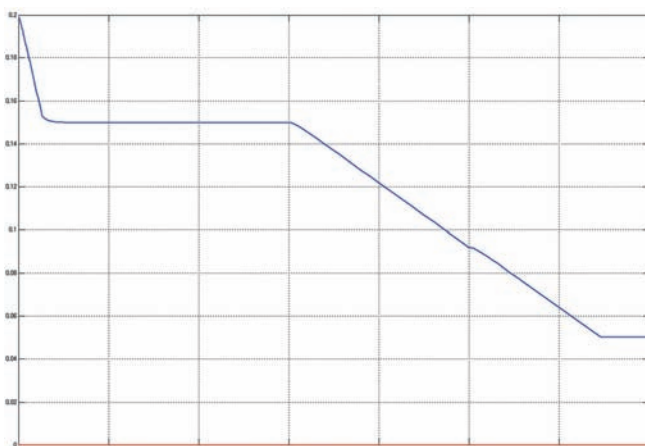


Рис. 9. Изменение положения при регулировании по положению с учетом усилия

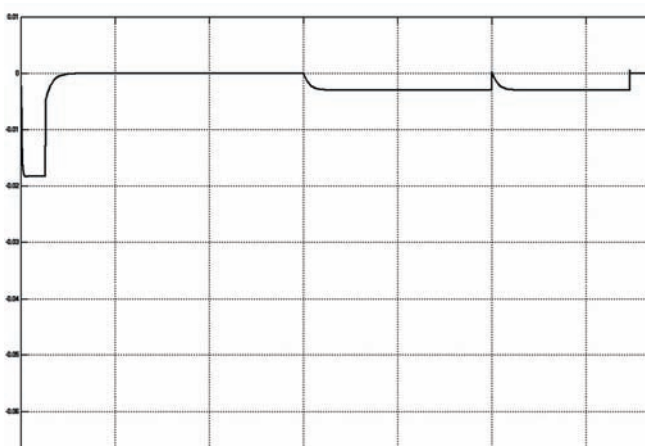


Рис. 10. Изменение скорости перемещения МПВ при регулировании по положению с учетом усилия

Скорость перемещения МПВ изменяется плавно (рис. 11). При соприкосновении труб фиксируется кратковременное замедление, дальнейшее перемещение происходит с прежней скоростью. Полученные результаты работы на стенде совпадают с расчетными данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы смоделированы и реализованы следующие контуры – системы:

- стабилизации давления в гидросистеме;
- регулирования частоты вращения;
- регулирования МПВ по положению, по усилию и по положению с учетом усилия.

Алгоритмы систем регулирования, полученные при моделировании, реализованы в модулях ПО ПБК, выполнены под управлением ОСРВ QNX 4.25. Полученные результаты испытаний на стенде совпадают с расчетными значениями, полученными при моделировании.

Проведенное моделирование позволило значительно сократить длительность дорогостоящих наладочных работ на натурном стенде, успешно контролировать перемещение МПВ, а также выполнить операции «Бурение», «Свинчивание/Развинчивание», представляющие собой основные функции ПБК.

В ходе бурения успешно получены образцы различных пород (рис. 11 и рис. 12).



Рис. 11. Полученный образец гранита



Рис. 12. Полученный образец бетона

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов Е. Н., Нейман В. Н. Система стабилизации давления в гидромагистрали погружного бурового комплекса // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2016. – Вып. № 1 (40).
2. Александров М. А., Ефремов Е. Н., Ивлев А. А., Сверчков Д. С. Разработка системы управления погружного бурового комплекса // Морской вестник. – 2019. – № 1 (69).
3. Антоненко С. И., Брагина Е. В., Головкин С. В., Титов Д. А. Система управления погружного бурового комплекса // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2016. – № 1 (40). ■

Состояние аварийности на морском флоте, невзирая на постоянное совершенствование судового оборудования, продолжает оставаться на недопустимо высоком уровне. Дальневосточные моря по географическим и климатическим условиям остаются сложными для мореплавания. Более 20% российских компаний, осуществляющих торговое мореплавание, на которые приходится от 30 до 40% аварийных случаев зарегистрировано в Дальневосточном регионе. Поломки и отказы судовых технических средств являются причинами аварий в двух случаях из пяти [6, 15].

Влияние человеческого фактора на состояние морской аварийности с учетом региональной специфики является в настоящее время актуальной темой для исследований. Функционально-уровневый подход к изучению влияния человеческого фактора на качество эксплуатации судовых технических средств представляется автору своевременным и перспективным.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

В настоящее время расследование морских аварийных случаев (АС) в России происходит в соответствии с действующими с 2014 г. правилами [3]. Они регламентирует классификацию происшествий на море и соответствующую им терминологию, использование которой в рамках настоящей работы не носит принципиальный характер. Термины «авария», «инцидент» следует принимать как синонимы аварийного случая на море.

В основе данной работы лежат результаты исследований АС, произошедших в 2015 г. в зоне ответственности территориального управления Ространснадзора [4, 12, 15].

Исследованиям человеческого фактора в российской морской отрасли посвящено немало работ [9, 10, 13], включая региональные [12, 14, 15]. Распространен подход, при котором создается модель эргатического элемента (ЭЭ) на основе его психофизиологических параметров [11, 13]. В рамках данной работы предполагается, что источником эргатического риска является эргатический элемент или член экипажа, выполняющий на морском судне конкретную функцию по управлению судном или судовыми техническими средствами. Автору представляется перспективным функционально-уровневый подход (ФУП), при котором вышеуказанные характеристики ЭЭ априори принимаются за соответствующие нормативным требованиям, поскольку каждый член экипажа при назначении на судно получает официальное медицинское за-

ОТКАЗЫ ГЛАВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И МЕХАНИЗМОВ НА ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ СУДАХ В 2015 Г.

*М.В. Гомзяков, канд. техн. наук, доцент,
начальник отдела надзора за мореплаванием,
Дальневосточное управление государственного морского надзора
Федеральной службы по надзору в сфере транспорта, Владивосток,
E-mail: Gomzyakov-mv@dvgosmornadzor.ru*

ключение о состоянии здоровья. ФУП, не затрагивая психофизиологические показатели, позволяет измерить степень ответственности каждого причастного к АС лица в условиях, предшествующих аварии. Нарушения обязательных нормативных требований (ОНТ) синхронизируются с семью функциями и тремя уровнями конвенции [1], а также тремя уровнями неофициальной восьмой функции «рыболовство».

В рамках данной работы рассмотрены отказы судового технического средства (СТС), связанные с дисфункцией «управление операциями судна и забота о людях» 3, электрооборудование, «электронная аппаратура и системы управления» 5, «техническое обслуживание и ремонт» 6. Наряду с экипажем ФУП предполагает причастность к АС и берегового персонала, который по факту назначения на должность обязан соответствовать стандартам ПДНВ – 78.

Приведенный ниже обзор содержит краткие сведения об отказе: наблюдаемые нештатные признаки работы механизма, установленные экспертами причины инцидента, нарушения обязательных требований причастных лиц, приведенные к функциям и уровням конвенции.

АВАРИЙНЫЕ ОТКАЗЫ СТС В 2015 ГОДУ, ПРИЧИНЫ И ПРЕДПОСЫЛКИ

Снижение оборотов и останово в главного двигателя (ГД). На малом рыболовном траулере (МРТ) в Берингово-морской зоне в феврале 2015 г. во время поиска рыбы обороты ГД (КТА 1 9 М) начали падать, снизились до предельно минимальных – 750 об/мин. Двигатель был остановлен, судно отбуксировано в порт для проведения внепланового ремонта.

Причиной аварийного отказа СТС послужила эксплуатация дизеля на сорте топлива, характеристики которого не соответствовали требованиям инструкции завода-изготовителя по эксплуатации ГД.

Предпосылкой отказа СТС явились нарушения обязательных нормативных требований (ОНТ) [5] на уровне управ-

ления руководством компании и старшим механиком в организации и эксплуатации ГД, что регламентируется минимальными стандартами компетентности [1] при осуществлении функции «техническое обслуживание и ремонт на уровне управления» (У6).

Сейнер-траулер рыболовный (СТР) в феврале 2015 г. лежал в дрейфе в Охотском море в ожидании промыслового времени. После включения редуктора ГД появилась вибрация в районе винторулевой группы (ВРГ). Редуктор был отключен, дизель остановлен. При осмотре было установлено, что неповоротная насадка разрушена, две лопасти имеют выщербины, возможность самостоятельного движения отсутствует.

В качестве предположительной причины АС принята версия о намотке хребтины на шейке вала. Предпосылкой аварийной поломки ВРГ послужило нарушение капитаном судна обязательных нормативных требований [2] и стандартов (У3).

При следовании в марте 2015 г. из Магадана во Владивосток на грузовом контейнеровозе был произведен аварийный останов ГД 6LF58 в связи с возникновением посторонних шумов и вибрации дизеля.

По причине самопроизвольной отдачи болтов крепления суппорта оси спаренных промежуточных шестерен привода возникли радиальные и осевые колебания конца оси промежуточных шестерен, что привело к нарушению эвольвентного зацепления зубьев шестерен газораспределительного механизма (ГРМ). В результате нарушения зацепления произошли разрушения двух зубьев узкой промежуточной шестерни и замятие других зубьев.

К критическому состоянию дефектного узла, который служит второй опорой оси промежуточных шестерен, привело девиантное функционирование эргатических звеньев: старший и второй механики нарушили правила [7] и стандарты У6, четвертый механик – [7] Э6.

В Охотском море в апреле 2015 г. большой морозильный рыболовный траулер (БМРТ) проводил траление. Произошла самопроизвольная останов-

ка главных двигателей RBV 6M 358.

Причиной остановки, зарегистрированной как АС, послужила намотка на гребной винт постороннего трала, брошенного и плавающего во взвешенном состоянии.

Предпосылками АС стало наличие в промысловом районе большого количества промысловых снастей, нарушенный ОНТ экипажем не выявлено.

Повреждение ГД. В мае 2015 г. в Беринговом море во время промысла в работе ГД 8NVD 48A-2U на СТР возникли нехарактерный шум и вибрация. После экстренной остановки дизеля было выявлено наличие в картере металла рамового подшипника, проворачивание подшипника в постели, а также обнаружена трещина на шейке коленчатого вала.

Причиной АС послужили скрытый дефект подводящей масло трубки в системе смазки рамового подшипника под цилиндром ГД и невыявленная трещина при замене выработанного рамового подшипника.

Предпосылками происшествия послужили нарушения судовладельцем норм по укомплектованию экипажа [1] в количестве, достаточном для обеспечения безаварийной работы судна (капитан и старший механик привлекались к несению ходовой вахты), а также нарушение СМХ и 2 МХ [7] ОНТ У6 при эксплуатации судовой энергетической установки (СЭУ).

На транспортном рефрижераторе (ТР) в июле 2015 г. при швартовке с буксирами произошел аварийный отказ запуска ГД B&W 5L 50 MC 5700 кВт с последствиями в виде навала на причал.

Причиной отказа послужило аварийное срабатывание пускового воздуха из баллонов в рейсе и в процессе швартовных операций, работа на реверсы в порту через один баллон пускового воздуха.

Нарушение СМХ обязательных требований [5] У6 при организации судовой технической службы без учета конструктивно завышенной скорости судна на самый малый передний ход (СМПХ) послужило предпосылкой к АС.

В августе 2015 г. на ГД 7L 45GBE теплохода, следующего рейсом из порта Петропавловск-Камчатский, произошло повреждение топливного насоса высокого давления (ТНВД). В машинном отделении (МО) в районе главного двигателя, сработала пожарная сигнализация. Пожар был потушен силами экипажа, судно отбуксировано в порт для ремонта.

Причиной АС послужил обрыв шпильки и крепления ТНВД и цилиндра насоса, что привело к разбрызгиванию топлива в сторону выхлопного коллектора. Попадание горячего топлива на неизолированный выхлопной

коллектор привело к пожару.

Предпосылками происшествия послужила эксплуатация судна и СТС с нарушениями ОНТ капитаном [2], старшим и вторым механиками [7] на уровне У3 и У6 соответственно.

В Беринговом море в сентябре 2015 г. при съёмке с якоря большого морозильного рыболовного траулера произошло обесточивание судна. После восстановления электропитания на ГД 8ZL 40/48 зафиксировано падение давления масла. После остановки дизеля, осмотра и дистанционного тепловым контролем силами экипажа установлен факт проворачивания двух шатунных подшипников, подплавление одного рамового подшипника.

Причиной АС послужило прекращение подачи циркуляционной смазки к подшипникам при аварийном обесточивании судна, нарушение сроков обслуживания кривошипно-шатунного механизма ГД.

Предпосылками поломки СТС явилась дисфункция У6 берегового и судового (СМХ и 2 МХ) персонала [5].

В Четвертом Курильском проливе в октябре 2015 г. на среднем рыболовном траулере морозильщике (СРТМ) произошел отказ управления ГД Caterpillar 3512 В т DITA. Судно лишилось хода, многократные попытки запустить двигатель положительных результатов не принесли.

Причиной АС стал скрытый дефект в компьютере управления ГД.

Предпосылкой происшествия послужила деятельность судовладельца на уровне У5,6, не обеспечившего систематическое проведение на судне технического обслуживания (ТО) специализированными сертифицированными компаниями [5].

В октябре 2015 г. на теплоходе при штормовании в заливе Анива произошел перегрев ГД с последствиями в виде невозможности его нормальной эксплуатации и необходимости ремонта в заводских условиях.

Причины аварийного случая: перегрев ГД из-за нарушения работы системы охлаждения при перегрузке дизеля в штормовых условиях плавания; штормовые условия плавания.

Предпосылкой было ненадлежащее исполнение СМХ на уровне У6 и вахтенным механиком (ВМХ) Э6 обязательных требований [7].

В октябре 2015 г. сухогруз, следующий рейсом Пусан (Южная Корея)–Находка сухогруз потерял ход и управляемость вследствие поломки эластичных элементов муфты привода главного редуктора ГД.

Причиной аварийного случая послужило нарушение срока плановой замены (наработка на момент аварии семь

лет вместо пяти) эластичных элементов муфты привода главного редуктора.

Предпосылки АС созданы судовладельцем (У6), не установившим и для экипажа режимов работы судна [7] и СМХ (У6), не обеспечившим должный контроль за исполнением ОНТ [7].

Самопроизвольная остановка ГД. В рейсе Певек – Циндао в ноябре 2015 г. без видимых причин дизель начал снижать обороты и остановился. При проворачивании валоповоротным устройством (ВПУ) с открытыми индикаторными кранами из одного цилиндра пошла смесь топлива с водой. Было выявлено, что подорвана форсунка цилиндра и оборваны крепежные шпильки форсунки. Обрыв привел к последующим серьезным повреждениям деталей этого цилиндра.

Причиной АС явился обрыв впускного клапана цилиндра из-за усталости металла и неудовлетворительного качества при его изготовлении.

Нарушений ОНТ береговым или судовым персоналом при эксплуатации СТС не выявлено.

В ноябре 2015 г. рыболовное судно в Охотском море вследствие поломки ГД 8NVD48 потеряло ход и управляемость и легло в дрейф. Машинная вахта локализовала посторонние стуки и вибрацию в районе маховика. После остановки дизеля старшим механиком выявлена поломка ведущей шестерни коленчатого вала ГД.

Причиной аварийного случая послужило попадание постороннего предмета между шестерней коленчатого вала и приводной шестерней привода распределительного вала при плановом осмотре или ремонте привода регулятора в судовых условиях.

Предварийная ситуация стала возможной из-за нарушений на уровне У6 СМХ и 2 МХ обязательных нормативных требований [8] вследствие отсутствия контроля за проводимым ремонтом и ТО.

СТР находился в декабре 2015 г. на промысле в Охотском море, когда вышел из строя ГД 8NVD 48A-2U, и судно лишилось возможности движения. При обходе МО был обнаружен посторонний шум в районе шестерен привода распределительного вала ГД. При осмотре промежуточной шестерни обнаружены повреждения по основанию шести зубьев. На венце главной шестерни привода навешенных механизмов на коленчатом валу видны следы механических повреждений. На рабочей поверхности зубьев шестерни распределительного вала видны были образования очагов разрушения в виде питтингов начальной стадии.

Предположительно разрушение зубьев промежуточной шестерни распре-

делительного вала произошло вследствие дефекта макроструктуры металла, некачественно выполненной химико-термической или термической обработки, неправильной сборки, перегрузки в процессе эксплуатации.

Предпосылкой АС послужили нарушения ОНТ [5] У6 судовладельцем, СМХ и 2 МХ.

Экстренная остановка ГД 8 М43 контейнеровоза в декабре 2015 г. была выполнена из-за увеличения уровня масла в масляной сточно-циркуляционной цистерне, по признакам обводнения смазочного масла ГД.

Причиной аварийного случая послужило коррозионное разъедание крепления датчика низкого уровня масла и выдавливание его из сточно-циркуляционной цистерны ГД в коффердам, вследствие чего произошло обводнение циркуляционного масла и вынужденная остановка дизеля.

Предпосылкой АС стало нарушение ОНТ [7] экипажем на всех уровнях У6, Э6, В6.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-УРОВНЕВАЯ ОЦЕНКА ОТКАЗОВ СТС

Анализ отказов СТС в дальневосточном регионе за 2015 г. показывает, что 86,7% всех случаев связан с дисфункцией ЭЭ. На рис. 1 приведено функционально-уровневое распределение причин АС по трем категориям: функции; уровни; нарушения ОНТ. Цифры 1, 2 и 3 соответствуют рейтингу причин в каждой из категорий. Влияние на отказ функций 6/5/3 распределяется как 86,3/10,3/3,4%; уровней управления/эксплуатация/вспомогательный – 89,7/6,9/3,4%; нарушения ПТЭ/КТМ/Устава – 89,7/6,9/3,4%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Анализ отказов СТС подтверждает, что большинство АС происходит вследствие дисфункции эргатического элемента на разных уровнях. К созданию предаварийной ситуации приводит деятельность одного или нескольких ЭЭ на одном или нескольких уровнях ответственности. В отношении отказов СТС выявлено доминирование функции 6 на уровне управления с нарушениями правил технической эксплуатации. Таким образом, представляется, что функционально-уровневый подход имеет право на существование и перспективы в деле обеспечения безопасности мореплавания.

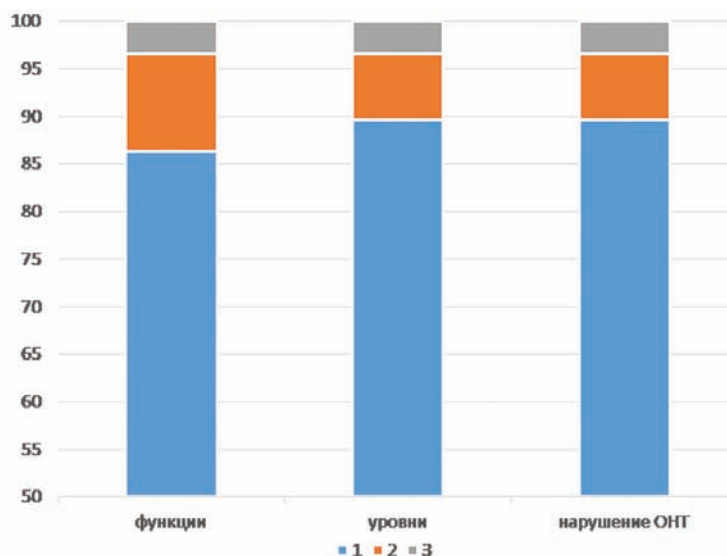


Рис. 1. Функционально-уровневое распределение предпосылок отказов

ЛИТЕРАТУРА

1. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ – 78) с поправками 2010 г.
2. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации от 30.04.1999 № 81-ФЗ.
3. Положение о расследовании аварий или инцидентов на море (ПРАИМ–2013), – СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2014. – 48 с.
4. Анализ и состояние аварийности: Сведения об аварийности с судами на море и внутренних водных путях/Госморречнадзор. – [Электронный ресурс]: URL: <http://sea.rostransnadzor.ru/funktsii/rassledovanie-transportny-h-proisshes/analiz-i-sostoyanie-avarijnost> (дата обращения: 18.01.2020).
5. Положение о технической эксплуатации судов рыбной промышленности, утв. приказом Госкомрыболовства РФ № 107 от 05.05.1999.
6. РД 31.20.01–97. Правила технической эксплуатации морских судов. Основное руководство. Утв. Распоряжением Минтранса РФ от 08.04.1997 № МФ-34/672
7. РД 31.21.30–97. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. утв. Минтрансом РФ 07.04.1997.
8. Устав службы на судах рыбопромыслового флота Российской Федерации, утвержденный Государственным комитетом Российской Федерации по рыболовству от 30.08.1995 г. № 140.
9. Соболенко А. Н. Совершенствование мероприятий по обеспечению безаварийной работы судовых энергетических установок. – [Электронный ресурс]: Международная научная конференция, г. Владивосток, 19–23 сентября 2016 г. /Дальневост. федерал. ун-т., отв. ред. А.Т. Беккер, В. И. Петухов. – Электронные данные. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2016. – Режим доступа: <https://www.dvfu.ru/science/publishing-activities/catalogue-of-books-fefu/>. – загл. с экр.
10. Соболенко А. Н. Характерные аварийные отказы судовых дизелей в эксплуатации по причине человеческого фактора // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – Т. 1. – № 3 (33). – С. 173–179.
11. Глазюк Д. К., Соболенко А. Н. Оценка надежности судовой энергетической установки как сложной эргатической системы // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – Т. 1. – № 3 (33). – С. 204–208.
12. Турищев И. П., Гомзяков М. В., Москаленко О. В. Анализ аварийности морских транспортных и рыбопромысловых судов в Азиатско-Тихоокеанском регионе в зоне ответственности Дальневосточного управления государственного морского надзора за период с 2014 по 2015 гг. – Сб. ст. науч.-практ. семинара «Актуальные вопросы морской отрасли–2016. – Владивосток: Дальневосточный институт коммуникаций, 2016. – 110 с.
13. Кукуи Фирмин Дживо. Модель и механизм функционирования судовых эргатических систем управления при целенаправленных структурных изменениях // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – 2019. – № 56/57. – С. 123–133.
14. Гомзяков М. В. Аварийность на море: вес и цена человеческого фактора // Морской вестник. – 2019. – № 3 (71). – С. 102–104.
15. Соболенко А. Н., Турищев И. П., Гомзяков М. В., Москаленко О. В. Анализ технических отказов на промысловых судах в дальневосточном регионе // Вестник Астрахан. гос. техн. ун – та. – Сер.: Морская техника и технология. – 2019. – № 3. – С. 48–55.

Проектирование современных автоматизированных систем судовождения (АСС) представляет собой сложную научно-техническую проблему в силу их технического разнообразия, широкого использования микропроцессорных сетей, особенностей движения объектов управления (судов) в среде, возмущение которой носит интенсивный случайный характер, а также в связи с особыми требованиями к надежности [1, 2].

Известно, что движение судна по поверхности или в толще водной среды обладает рядом существенных особенностей, которые в значительной мере затрудняют построение системы автоматического управления его движением. К этим особенностям относятся:

- нестационарность судна как объекта управления;
- нелинейность уравнений динамики;
- многомерность и многосвязность;
- структурно-параметрическая неопределенность;
- наличие внешних возмущений.

Нестационарность судна выражается в изменении с течением времени его параметров, связанных, например, с загрузкой судна, изменением характеристик обтекаемости поверхности судна (в частности, при обрастании корпуса) и другими факторами.

Нелинейность уравнений динамики судна является следствием более общих уравнений движения твердого тела в пространстве, например, уравнений Лагранжа 2-го рода [3]. Кроме того, нелинейность моделей судна в существенной мере связана с влиянием внешней среды. Известно, что силы и моменты вязкого сопротивления представляют собой сложные нелинейные функции компонент вектора линейной и угловой скоростей судна. Определение таких функциональных зависимостей, как правило, выполняется на основе дорогостоящих экспериментальных исследований и требует значительных временных ресурсов.

Многомерность и многосвязность судна как объекта управления заключается в наличии нескольких взаимосвязанных каналов целенаправленного воздействия на его поведение. Так, например, при управлении курсом судна требуется одновременно обеспечить малый крен (стабилизировать относительно нуля).

Структурно-параметрическая неопределенность динамики судна связана с отсутствием достоверных данных о параметрах объекта и невозможностью получения абсолютно адекватных уравнений движения судна. Примером параметрической неопределенности могут быть присоединенные массы и моменты инерции судна, которые заранее не-

возможно вычислить. Функциональная неопределенность связана с неточным знанием аналитического вида зависимостей, входящих в уравнения движения судна.

Наличие внешних возмущений – ветра, волн, течений – заметно снижает качество процессов управления судном и, следовательно, ухудшает безопасность плавания, надежность эксплуатации и другие важные характеристики судна.

Вполне очевидно, что разработка и эффективное использование на судах сложных многомашинных систем, оснащенных радиотехническими информационными системами, невозможно без апробирования и отработки основных решений на этапе испытаний. Наиболее эффективным средством системных исследований судовых систем, позволяющим резко сократить объем отработки в натуральных условиях и значительно сэкономить материальные ресурсы, время научных проработок, отладки и внедрения, является полунатурное моделирование (ПНМ) на динамическом моделирующем комплексе (ДМК) [4, 5].

При испытаниях АСС, несущих значительный объем разнотипной информации, ПНМ позволяет комплексировать реальную аппаратуру судовой системы, провести ее отладку в условиях, близких к реальным, проверить функционирование системы на отдельных этапах исследований, реализовать в лабораторных условиях разнообразную навигационную обстановку. Предельными случаями являются варианты получения информации о системе в условиях, которые невозможно создать даже при натуральных испытаниях, а также в аварийных ситуациях.

Качество и эффективность создаваемых судовых комплексов во многом зависит от правильности постановки и решения задач испытаний на ДМК. Одновременно непрерывно возрастают требования к адекватности ПНМ, повышение точности и надежности исследований при сокращении сроков испытаний перспективных судовых систем.

ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СУДОВОЖДЕНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКОМ МОДЕЛИРУЮЩЕМ КОМПЛЕКСЕ

А.Г. Юрескул, канд. техн. наук, начальник НИЛ,

Ю.А. Ямщиков, начальник НКЦ,

Ю.В. Романова, специалист 1-й категории,

А.Н. Попадьян, канд. техн. наук, начальник НИЛ,

АО «Концерн «Гранит-Электрон»,

А.В. Анисимов, канд. техн. наук, доцент ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова,
контакт. тел. (812) 445 0829

Многообразие типов судов обуславливает различную комплектацию АСС. На рис. 1 приведена схема унифицированной АСС. Отличительные свойства подобных систем – наличие большого числа взаимосвязанных элементов и подсистем; составляющие элементы АСС в подавляющем большинстве случаев являются многофункциональными; АСС характеризуется наличием общей цели и назначения, определяющих единство сложности и организованности независимо от разнообразия ее элементов; гибкая структура АСС обеспечивает многорежимный характер функционирования, возможность структурной и алгоритмической адаптации; АСС взаимодействует с внешней средой, которая в общем препятствует достижению цели; структура и управление в АСС носит иерархический характер с сочетанием централизованного управления и контроля с автономностью ее частей.

Высокоразвитая информационная структура, большие потоки информации, аппаратная и алгоритмическая сложность АСС сами по себе порождают сложность ее анализа на всех этапах разработки и эксплуатации. Исследования осложняются еще тем, что проектируемые АСС предназначаются для работы в еще более сложных системах, например в глобальной морской системе обеспечения безопасности мореплавания, и находятся в тесном взаимодействии с другими элементами этих систем влияние которых необходимо учитывать.

На различных стадиях проектирования АСС моделирование ведется с конкретными целями, эффективное достижение которых зависит от правильного решения ряда задач по выбору и обоснованию моделей исследуемых процессов и их размещению на необходимых технических средствах.

В соответствии со сложившейся практикой в судостроении обычно применяют физическое, математическое и полунатурное моделирование. ПНМ позволяет объединить достоинства всех методов моделирования и получить новые качества отработки АСС методом

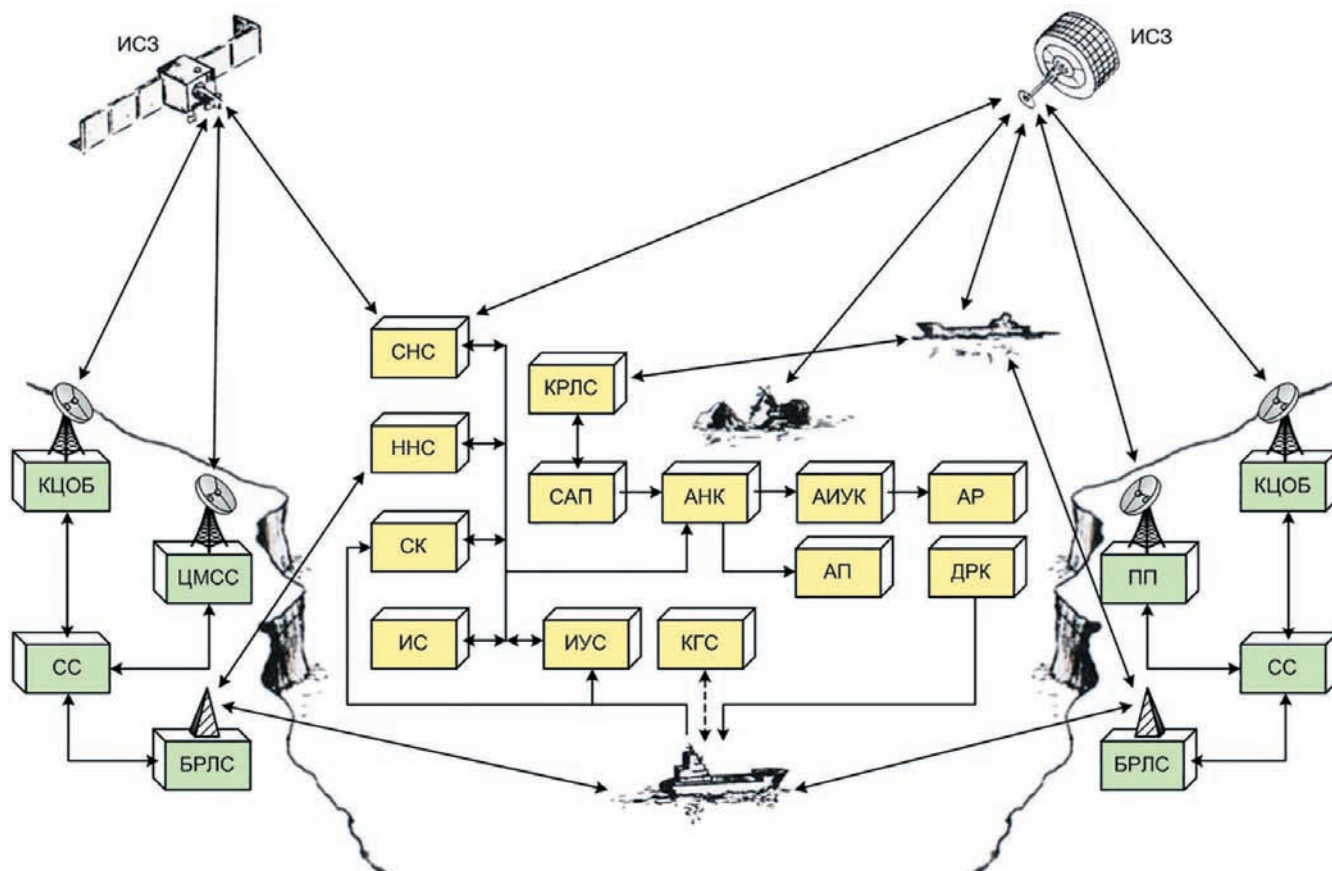


Рис. 1. Автоматизированная система судовождения в составе глобальной системы обеспечения безопасности плавания
 ИСЗ – искусственный спутник Земли; КЦОБ – координационный центр обеспечения безопасности; ЦМСС – центр морской спутниковой связи; СС – сеть связи; БРЛС – береговой комплекс РЛС; СНС – спутниковая навигационная система; ННС – наземная навигационная система; СК – система курсоуказания; ИС – измерители скорости; КРЛС – комплекс радиолокационных станций; САП – система автоматической прокладки курсов; ИУС – измерители угловых скоростей; АНК – автоматизированный навигационный комплекс; КГС – комплекс гидроакустических станций; АИУК – автоматизированный информационно-управляющий комплекс; АП – автоматический прокладчик курсов; АР – авторулевой; ДРК – двигатель-рулевой комплекс; ПП – пункт приема информации о навигационной и гидрометеобстановке

декомпозиции процесса функционирования исследуемой системы на соответствующие подпроцессы. При этом для одних используются математические модели (модель движения судна, модель взволнованной морской поверхности и т. д.), для других – физические модели (имитаторов радиосигналов, имитатор нагрузок на рулевое устройство) и, что самое главное, для остальных используется реальная аппаратура АСС. Таким образом, при ПНМ проводится исследование АСС, представленной ее реальной аппаратурой, в режимах, имитирующих условия ее реальной эксплуатации с организацией ее динамического функционирования и информационного обмена с моделью объекта управления и моделью внешней среды в замкнутом контуре управления в реальном масштабе времени.

Рассмотрим процесс испытаний типовой АСС, охватывающий многие важные в практическом отношении случаи. Порядок структуризации системы соответствует принятому на практике набору уровней автоматического управления в судовой системе [6]: уровень автоматического управления курсом судна, уровень удержания судна на заданной траектории, уровень формиро-

вания стратегии плавания с координатной работой всех технических средств, уровень стратегии управления судном с помощью внешних АСУ (например, порта). В процессе испытаний строится структура модели каждого уровня, которые войдут в качестве компонент в состав ДМК.

Приведенный на рис. 2 ДМК является универсальным в плане возможности перенастройки по заданию исследователей на определенную задачу функционирования как отдельного уровня, так и системы в целом. С помощью подобного ДМК удалось охватить целую совокупность задач испытаний, включая этапы связанные с разработкой и отладкой алгоритмического и программного обеспечения судового оборудования, комплексов и локальных систем управления. Одновременно с этим ДМК позволяет оценивать качество и эффективность вариантов практических решений, качество функционирования входящих в судовую систему модулей.

На первом этапе испытаний исследуются характеристики подсистемы управления курсом с помощью авторулевого. Структурная схема ДМК для испытаний авторулевого приведена на рис. 3.

В составе ДМК используется реальная аппаратура судовой системы управления (ПУ, СВК, АР, ИМ); имитатор усилий, действующих на руль (ИУ); УВК, на котором реализована модель судна и окружающей среды; ЦПУ, который осуществляет управление ходом исследований, накопление информации и ее регистрацию, и визуализацию с помощью АРиО; УС осуществляет стыковку реальной аппаратуры с техническими средствами ДМК.

В управляющей ЭВМ авторулевого вырабатывается сигнал управления исполнительными механизмами судна

$$u_a = k_n \varphi + k_d \dot{\varphi} + k_i \int \varphi dt + u_{yn},$$

где φ – курс судна; k_n, k_d, k_i – коэффициенты усиления соответствующих составляющих вектора состояния; u_{yn} – управляющий сигнал из вычислительного комплекса судна. Перемещение исполнительного органа ИМ пропорционально перекладке руля δ .

После стыковки, автономной и комплексной отладки, в ходе которых определялись характеристики оборудования и уточнялись исходные модели, проводились исследования авторулевого с целью определения его технико-

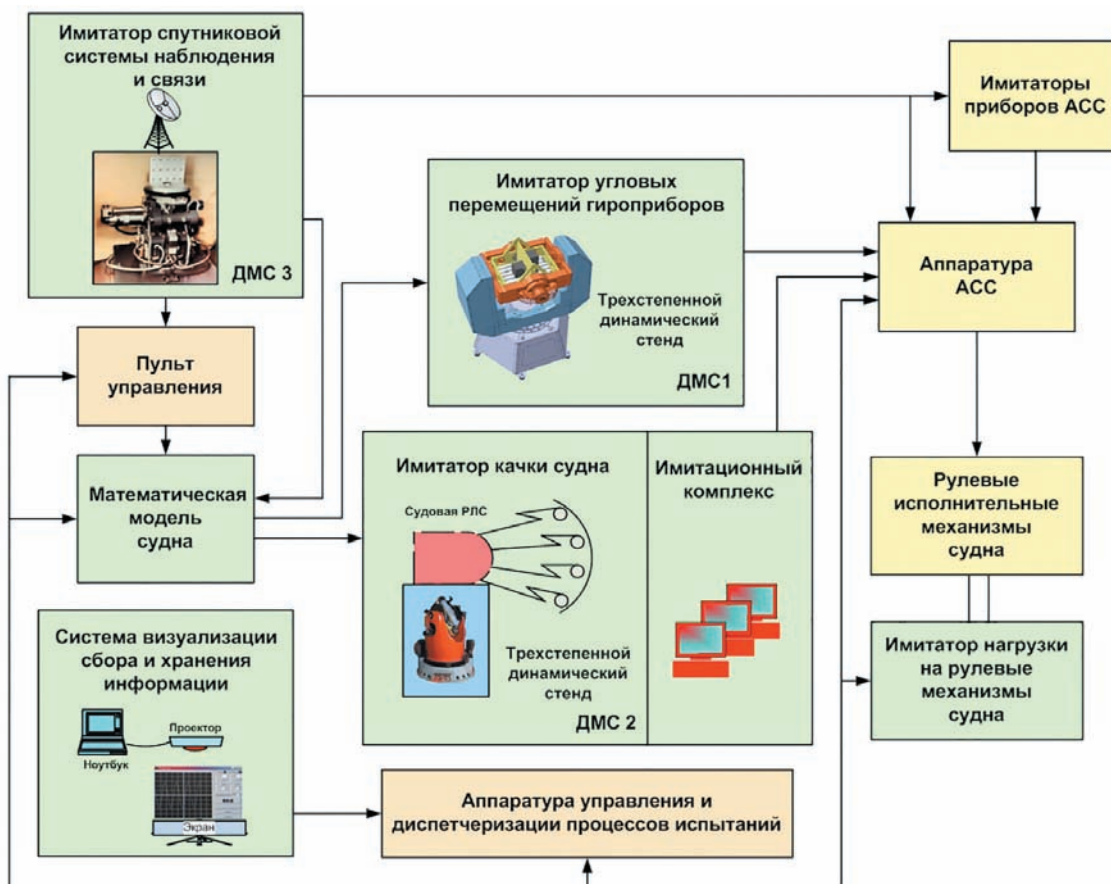


Рис. 2. Схема динамического моделирующего комплекса с аппаратурой автоматизированной системы судовождения

экономических показателей. Наиболее важным технико-экономическим показателем является эксплуатационная скорость, т.е. средняя скорость движения судна по линии заданного пути при постоянной мощности судовой силовой установки. На величину эксплуатационной скорости судна оказывают непосредственное влияние такие факторы, как точность удержания судна на курсе, величина и период рысканья, а также амплитуда и частота углов перекадки руля. На рис. 4 приведены полученные экспериментальные зави-

симости потери скорости от амплитуды рысканья судна φ и амплитуды перекадки руля δ .

Эффективность работы системы автоматического управления судном по курсу находится в прямой зависимости от того, насколько устанавливаемое значение регулируемых параметров авторулевого близки к оптимальным. В то же время судоводители не имеют четких рекомендаций по настройке авторулевого в различных условиях плавания и состояния погоды и не могут объективно судить о качестве работы системы из-за

отсутствия практически пригодных критериев оценки качества [1].

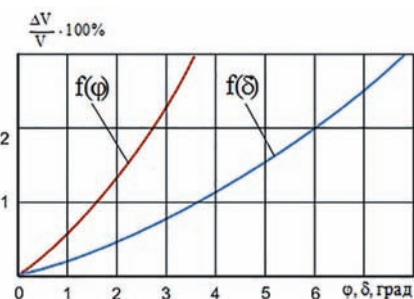


Рис. 4. Экспериментальные зависимости потери скорости от амплитуды рысканья судна и амплитуды перекадки руля

Как известно, для настройки авторулевого в процессе эксплуатации предусмотрена регулировка трех параметров, определяющих значения коэффициентов k_n , k_d , k_i . Практика судовождения выработала общие рекомендации по настройке авторулевого. ПНМ позволяет на этапе испытаний проанализировать влияние настраиваемых параметров на качественные показатели системы, и путем применения поисковых процедур оптимизировать их значение.

В качестве примера, на рис. 5 приведены кривые, характеризующие зависимость углов перекадки руля и углов рысканья от установившихся значений настраиваемых параметров при работе системы в режиме стабилизации.

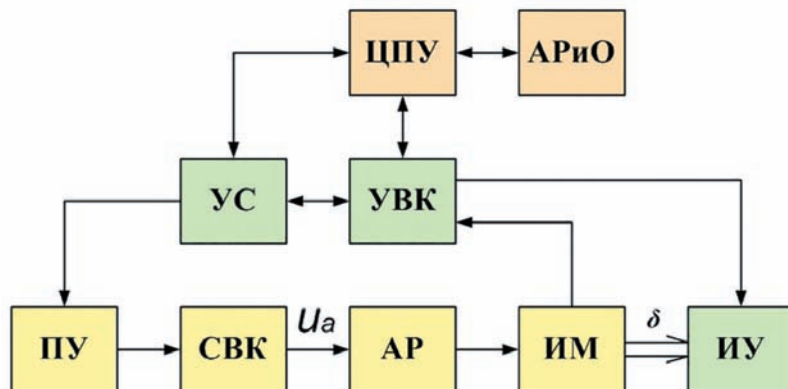


Рис. 3. Структурная схема динамического моделирующего комплекса для испытаний авторулевого

ПУ – пульт управления; СВК – специализированный вычислитель комплекса управления судном; УС – устройства сопряжения; АР – авторулевой; УВК – управляющий вычислительный комплекс; ЦПУ – центральный пульт управления; ИМ – исполнительный механизм; ИУ – имитатор усилий; АРиО – аппаратура регистрации и отображения

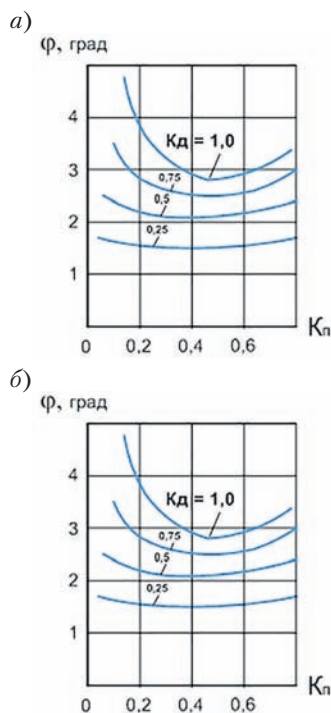


Рис. 5. Зависимости углов пере-
кладки руля и углов рысканья от
величины настраиваемых пара-
метров авторулевого

Таким образом, ПНМ позволяет путем многократных целенаправленных экспериментов получить зависимости качественных показателей системы управления курсом от установочных значений параметров авторулевого в различных условиях работы. Используя эти материалы, можно выбрать параметры, близкие к оптимальным значениям, что оказывает большую помощь практикам-судоводителям, и позволяет осуществлять программную самонастройку системы по параметрам объекта (судна).

Наряду с этими задачами рассмотренный ДМК может использоваться для исследования системы удержания судна на заданной траектории. При этом в состав ДМК вводятся дополнительно корабельная ЭВМ, информация в которую поступает с реальных измерительных устройств или с имитаторов. В зависимости от исследуемой системы в ПНМ могут включаться различные виды лагов и гироскопических датчиков (см. рис. 2). В последнем случае необходимо введение в состав ДМК имитаторов корпуса судна.

При исследовании системы этого уровня существенное значение имеет надлежащее выполнение судном поворотов: с определенным радиусом, без существенного падения линейной скорости, в кратчайший срок. Поворачивая с одного курса на другой, необходимо выполнять следующие требования: на новый курс судно должно приходить с заданной точностью, в процессе поворота недопустим выход судна за пределы судовой части, по возможности в процессе изменения курса не следует до-

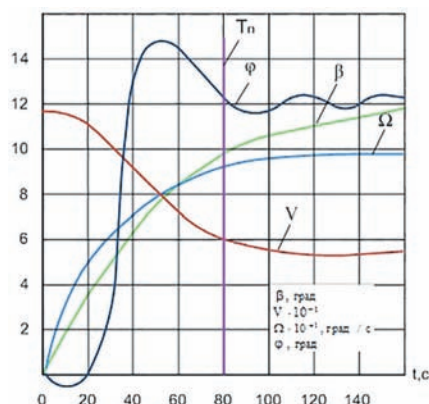


Рис. 6. Изменения параметров дви-
жения судна при выходе его на цир-
куляцию

пускать существенного падения скорости хода, поворот должен выполняться малым числом переключений руля.

В результате исследований были построены кривые изменения параметров движения судна при выходе его на циркуляцию (рис. 6).

Анализируя эти графики, можно сделать вывод, что скорость поворота и угол дрейфа изменяются примерно по экспоненциальному закону и устанавливаются через промежутки времени T_n . Через этот же период устанавливается после падения скорость судна. Изменения угла крена носит колебательный характер. Аналогичные кривые могут быть получены для различных значений настраиваемых параметров авторулевого и версии программы судовой навигационной ЭВМ. Из анализа полученных результатов определяются оптимальные при заданном критерии значения настраиваемых параметров.

В случае использования в системе управления судном адаптивных авторулевых структура ДМК и порядок исследований остается такими же.

Основной задачей четвертого уровня автоматизации управления судном является формирование оптимальной стратегии плавания с учетом гидрометеорологических условий, необходимости расхождения со встречными объектами при наличии узкостей, фарватера и т.п. В состав ДМК в этом случае включаются модули судовых информационных систем – радиотехнических, лазерных или комбинированных, работающих под управлением судовой ЭВМ (см. рис. 2).

В этом режиме на ДМК исследуются следующие задачи: счисления пути судна, определение его координат, удержание судна на курсе с заданной точностью, движение по заданной программе, определение параметров движения встречных судов, выбор маневра для безопасного расхождения и пр. Объектом исследования являются как электромагнитная и оптическая обстановка, создаваемая имитаторами, так и воздействие совокупности помех на функциониро-

вание судового оборудования. Среда процесса ПНМ дополняется моделями морской обстановки, среды, встречных судов и летательных аппаратов, их взаимодействием с судовыми информационными системами.

Полунатурное моделирование, являющееся мощнейшим средством исследования создаваемых систем, позволяет резко сократить объем натурных испытаний АСС, заменяя их «плаванием» на моделирующем комплексе, что приводит к значительной экономии финансовых, экономических ресурсов и времени научно-технического проектирования. Натурные испытания, позволяют сделать выводы о функционировании системы в ограниченных условиях эксплуатации и в лучшем случае дать материал лишь для проверки той или иной гипотезы или некоторой модели, заложенной в создаваемую систему, так как они позволяют получить ограниченный объем информации о прошлом этой системы. ПНМ допускает значительно более широкие исследования, результаты которых дают информацию и для прогнозирования поведения системы в реальных условиях (в том числе при натурных испытаниях), и о характере ее фазовых траекторий.

Возможность решения задач исключительной сложности позволяет получать результаты, являющиеся важнейшим источником информации, которую практически невозможно получить никакими другими средствами. Комплекс полунатурного моделирования, объединяющий реальную аппаратуру с алгоритмически-программными, вычислительными, информационными, имитационными, энергетическими и т.д. средствами, организованными в ДМК, позволяет решать широкий круг задач при создании новых АСС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березин С.Я. Системы автоматического управления движением судна по курсу. – Л.: Судостроение, 1990. – 256 с.
2. Лукомский Ю.А., Пешехонов В.Г., Скороходов Д.А. Навигация и управление движением судов. – СПб.: Элмор, 2002. – 360 с.
3. Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами. – Л.: Судостроение, 1988. – 27 с.
4. Каманин В.В., Симановский И.В., Юрескул А.Г. Пути повышения точности полунатурного моделирования при отработке сложных систем управления // Морской вестник. – 2015 – №4 (56). – С.93–94.
5. Кондратьев Д.А., Юрескул А.Г. Технология отработки систем навигации и управления с использованием программно-аппаратных средств комплексов полунатурного моделирования // Морской вестник. – 2018. – №3 (67). – С.103–105.
6. Родионов А.И., Сазонов А.Е. Автоматизация судовождения. Учебник для вузов мор. транспорта. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 216 с. ■

В настоящее время управление автономными необитаемыми подводными аппаратами (АНПА) по-прежнему представляет собой серьезную проблему из-за их сложной нелинейной динамики, параметрических неопределенностей (присоединенные массы, гидродинамические коэффициенты) и непредсказуемых внешних воздействий (изменяющиеся подводные течения). Разработчикам приходится решать сложные задачи управления движением, организации динамического позиционирования и подводной навигации. Необходимость оперативного силового воздействия на АНПА предъявляет высокие требования к его бортовой вычислительной системе.

При управлении движением в качестве альтернативы классическому ПИД-регулятору признается рациональной стратегией управления с прогнозирующими моделями (Model Predictive Control), которая в настоящее время активно применяется при синтезе систем автоматического управления (САУ) различными техническими объектами [1,2], а также подводными аппаратами [3,4]. Суть данного подхода – в формировании текущих управляющих воздействий на основе анализа предсказанной реакции АНПА на различные последовательности их изменений. Это позволяет повышать адаптивные и робастные свойства разрабатываемых САУ.

1. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Для построения САУ с прогнозирующей моделью рационально использовать дискретную математическую модель динамики АНПА в следующем виде:

$$\begin{aligned} x[i+1] &= f(x[i], u[i]) + w[i], \quad i = 0, 1, 2, \dots \\ y[i] &= Hx[i] + v[i], \end{aligned} \quad (1)$$

где векторы $x[i] \in E^n$, $u[i] \in E^m$, $y[i] \in E^r$ представляют собой текущее состояние объекта, управляющие воздействия и вектор наблюдений соответственно, i – текущий такт работы системы, f – известная нелинейная вектор-функция, а H – матрица измерений. Такая модель носит случайный характер, так как невозможно заранее определить величины внешних возмущений $w[i]$ и ошибок измерений $v[i]$.

На основе (1), исключив неизвестные случайные компоненты $w[i]$ и $v[i]$, выбирается прогнозирующая модель следующего вида:

$$\begin{aligned} x[i+1] &= f(x[i], u[i]), \quad i = 0, 1, 2, \dots \\ y[i] &= Hx[i]. \end{aligned} \quad (2)$$

Модель (2) инициализируется на начальном такте текущим состоянием объекта управления и позволяет приближенно предсказать его динамику. Конечная последовательность векторов $x[i+j]$, $j = 1, \dots, P$ – вычисляемая согласно системе (2), называется прогнозом движения объекта на горизонте предсказания P .

Для количественного оценивания качества управления должен конкретизироваться следующий функционал [1]:

$$\begin{aligned} J_k &= J_k(\bar{x}, \bar{u}); \\ \bar{x} &= (x[i+1] \ x[i+2] \ \dots \ x[i+P]) \in E^{nP}; \\ \bar{u} &= (u[i] \ u[i+1] \ \dots \ u[i+P-1]) \in E^{mP}. \end{aligned}$$

Качество управления движением АНПА зависит от способа формирования управляющих воздействий на горизонте прогноза и производительности бортовой вычислительной системы. Существенное влияние могут также оказывать выбранное представление функционала (3), учитываемые ограничения на управляющие воздействия и вектор состояния, вычислительная сложность прогнозирующей модели. Для управления на горизонте прогноза используется тра-

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ

А.Н. Борисов, аспирант,
Ю.Л. Сиек, д-р техн. наук, заведующий кафедрой, СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (516) 744 559

диционный подход, который предполагает формирование конечной программной последовательности управляющих воздействий.

Рассмотрим решение задачи оптимального управления на основе прогнозирующей модели (2). Качество процесса управления определяется функционалом (3). Поведение системы (2) на тактах $i = 1, 2, \dots, P$, однозначно зависит от выбора вектора $\bar{u}$. Учитывая, что имеется функциональная зависимость $\bar{x} = f(\bar{u})$, можно считать, что $J_k = J_k(\bar{x}, \bar{u}) = J_k(\bar{u})$. Таким образом, задача оптимизации с ограничениями формулируется следующим образом:

$$J_k = J_k(\bar{u}) \rightarrow \min_{\bar{u} \in \Omega \subset E^{mP}}, \quad (4)$$

где $\Omega = \{\bar{u} \in E^{mP} : u[i+j-1] \in U, j = 1, 2, \dots, P\}$ – допустимое множество конечных последовательностей m -мерных векторов. $J_k(\bar{u})$ является функцией mP аргументов.

Следует отметить, что зачастую функционал качества управления не может быть вычислен напрямую без интегрирования исходной системы уравнений, что предъявляет высокие требования к производительности бортовой вычислительной системы.

Таким образом, схема управления для конкретной задачи оптимизации (4) с учетом шага дискретности системы h принимает следующий вид:

1. Производится измерение вектора состояния $y[i]$.

2. Решается оптимизационная задача (4) для прогнозирующей модели (2) с начальными условиями $\bar{x} = x[i]$. Вычисляется экстремум функционала $J_k(u[i], u[i+1], \dots, u[i+P-1])$ на допустимом множестве значений Ω с учетом ограничений на управляющие воздействия. Бортовой системой управления должно строго гарантироваться условие выполнения данной задачи в рамках одного такта h .

$$J_k(u[i], u[i+1], \dots, u[i+P-1]) \rightarrow \min_{\bar{u} \in \Omega \subset E^{mP}} \quad (5)$$

3. Из сформированной оптимальной последовательности $u^*[i], u^*[i+1], \dots, u^*[i+P-1]$ в качестве управляющего воз-

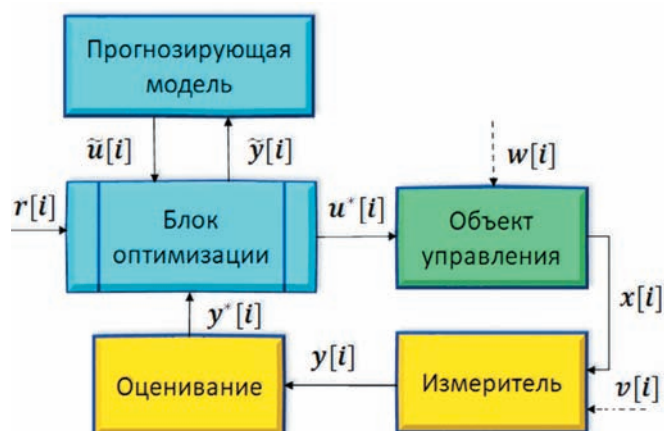


Рис. 1. Структура системы управления

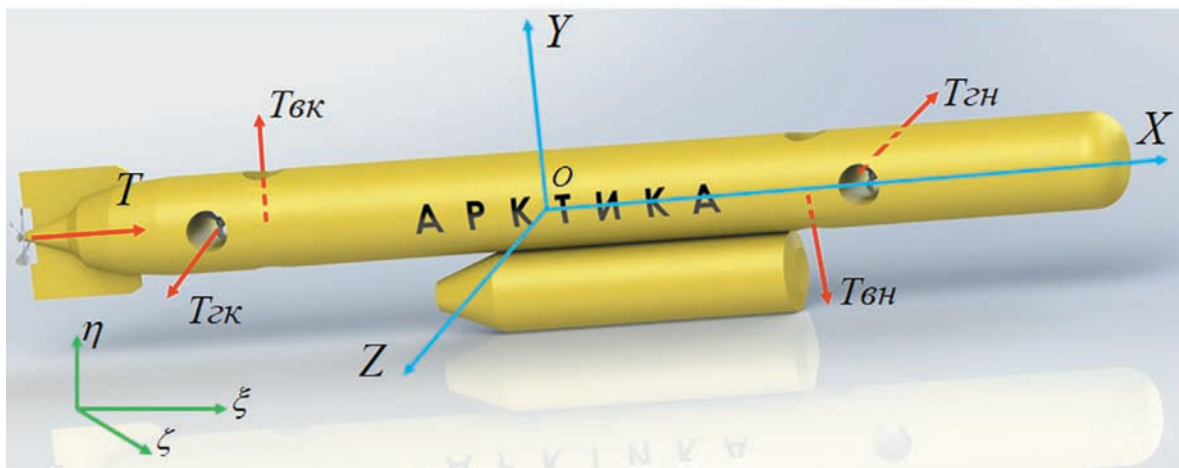


Рис. 2. Модель АНПА «Арктика»

действия на следующем такте работы системы используется первый вектор.

4. Для следующего такта операции 1–3 повторяются.

Структура САУ с прогнозирующей моделью представлена на рис. 1.

Задающий сигнал $r[i]$ и текущая оценка $y^*[i]$ подаются на вход блока оптимизации. Этот блок генерирует последовательности управляющих воздействий $\hat{u}[i]$, подаваемых на прогнозирующую модель объекта управления, и получает прогноз поведения объекта на P тактов вперед. Значение функционала $J_k(\hat{y}, \hat{u})$ вычисляется для каждой последовательности. Найденное оптимальное значение $u^*[i]$ является входом объекта управления, на который также действуют внешние возмущения $w[i]$. Состояние объекта $x[i]$ изменяется, производятся измерения $y[i]$ с неизвестными шумами $v[i]$, и состояние объекта уточняется наблюдателем.

2. МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

В качестве объекта управления выбран АНПА «Арктика», разработанный в СПбГМТУ. Его движительно-рулевой комплекс состоит из 5 гребных винтов, один из которых расположен в кормовой части аппарата и 4 подруливающих винтов, располагающихся в вертикальных и горизонтальных шахтах. Модель АНПА, а также используемые системы координат и управляющие тяги, показаны на рис. 2.

Обобщенная модель движения может быть получена из уравнений Ньютона-Эйлера для твердых тел в жидкости [5] и представлена в виде:

$$M\dot{q} + C(q)\dot{q} + D(q)\dot{q} + g(q) = \tau,$$

где $M = M_{RB} + M_A$ – матрица инерции твердого тела и присоединенных масс жидкости; $C = C_{RB} + C_A$ – обобщенная матрица кориолисовых и центробежных сил; $D(q)$ – матрица демпфирующих коэффициентов вязкой жидкости; $g(q)$ – вектор сил и моментов гравитации и плавучести; τ – вектор управляющих сил и моментов; $q^T = [V_x, V_y, V_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z]$ – вектор обобщенных скоростей. Методики расчета матриц и векторов изложены в работах [6, 7].

Для большинства подводных аппаратов пространственная траектория движения представляет собой совокупность участков движения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Для анализа управляемого движения при маневрировании в этих плоскостях рационально воспользоваться упрощенными формами уравнений, которые записываются с учетом кинематических условий движения и нулевого крена. В качестве примера рассматривается управляемое движение АНПА в горизонтальной плоскости. Для этого случая система уравнений в пространстве состояний может быть представлена в виде

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} V_x \\ V_z \\ \omega_y \\ x_0 \\ z_0 \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (M_T + M_J)^{-1} (-C_T(q)\dot{q} - C_J(q)\dot{q} - D(q)\dot{q} - g(q) + T_y) & 0_{3 \times 3} \\ \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_z \\ \omega_y \\ x_0 \\ z_0 \\ \varphi \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где x_0, z_0 – координаты ЦТ аппарата, φ – угол рыскания.

3. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БОРТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНПА

Согласно структурной схеме на рисунке 1 для вычисления управляющих воздействий на каждом шаге алгоритма, необходимо решать нелинейную оптимизационную задачу. Для обеспечения режима реального времени вычисления должны производиться за интервал времени, определяемый на основе теоремы Котельникова. Это требование является существенным препятствием для внедрения прогнозирующих моделей в управление динамическими объектами с малыми постоянными времени [1].

Для сложных динамических объектов с несколькими управляющими каналами при больших значениях горизонта прогноза остро встает вопрос о возможных способах повышения производительности вычислений. Известен ряд подходов в этом направлении. В первую очередь к ним относят: снижение размерности оптимизационной задачи, разработку эффективных алгоритмов ее решения, применение параллельных бортовых вычислительных систем.

Так, например, способы понижения размерности в системах управления с прогнозирующими моделями подробно рассмотрены в [1]. Основной идеей последнего подхода является разбиение задачи поиска оптимального управления на отдельные подзадачи и их параллельное выполнение в бортовой вычислительной системе. Таким образом, возможно уменьшение времени работы алгоритма за счет одновременного исполнения на нескольких вычислительных устройствах.

Рассмотрим параллельную формулировку задачи управления с прогнозирующей моделью. Пусть задача оптимизации допускает одновременную проверку M приближений. Тогда $\Theta = \{\bar{u}_k | k = 0, 1, \dots, M-1\}$ – множество из M текущих приближений к решению оптимизационной задачи. Каждому значению $\bar{u}_k$ из множества Θ соответствует определенное значение функционала качества управления $J_k(\bar{u}_k)$. Количество параллельно решаемых задач зависит от аппаратных возможностей вычислительной системы и обычно определяется числом уникальных вычислительных узлов (например количество ядер в системах с общей

памятью или количеством микропроцессоров в системах с распределенной памятью).

Таким образом, на каждом шаге работы алгоритма решаются M оптимизационных задач, которые могут отличаться начальными приближениями, коэффициентами сходимости и другими параметрами алгоритмов. За решение задачи принимается значение:

$$\bar{u}^* = \arg \min_{\bar{u} \in \Theta} (J_k(\bar{u}_k) | \bar{u}_k \in \Theta).$$

Стоит отметить, что такая формулировка требует затрат на улучшение аппаратной составляющей объекта управления и влечет увеличение объема вычислений. Кроме того, это повышает сложность разработки программного обеспечения.

Такой подход, применяемый к САУ, структура которой представлена на рис. 1, может быть реализован одновременным использованием нескольких прогнозирующих моделей объекта управления, которые работают параллельно и независимо друг от друга, однако допускают обмен информацией.

Для решения задачи поиска $\bar{u}^*$ предлагается использовать комплексный алгоритм условной оптимизации Бокса, подробно рассмотренный в [8, 9] и предназначенный для поиска глобального минимума многоэкстремальных функций. Этот алгоритм допускает параллельную реализацию, и его вычислительная схема согласуется с формулировкой задачи поиска оптимального управления на основе прогнозирующих моделей.

4. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ

Структурная схема алгоритма Бокса представлена на рис. 3. Как показано в работе [8], большая часть процессорного времени расходуется на многократное вычисление целевой функции (т. е. решение системы дифференциальных уравнений на горизонте прогноза) в процессе улучшения точек комплекса. В связи с этим авторами работы предлагается одновременно выполнять процедуру улучшения худших точек комплекса на параллельной вычислительной системе из N узлов (самостоятельных вычислительных элементов, имеющих собственный поток исполнения команд). При этом первый узел выполняет также инициализацию начальных данных, проверку сходимости и синхронизацию остальных.

Реализованный таким способом параллельный алгоритм оптимизации обеспечивает поиск глобального минимума целевой функции за счет ее одновременного исследования в нескольких областях пространства возможных управляющих воздействий. Кроме того, поскольку процесс поиска реализуется одновременно на нескольких вычислительных узлах, затраченное время может уменьшиться.

5. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

При управлении движением АНПА на основе прогнозирующей модели функционал качества управления (3) на горизонте прогноза выбран в виде:

$$J_k = \sum_{j=1}^p e(i+j)^2 + \rho \sum_{j=1}^p (u(i+j) - u(i+j-1))^2, \quad (6)$$

где $e(i)$ – ошибка выхода системы, ρ – вклад стоимости изменения управляющего сигнала в итоговый функционал J_k .

Такая форма позволяет минимизировать не только ошибку выхода системы, но и резкие изменения управляющего воздействия на аппарат.

Согласно таксономии Флинна [10], рассматриваемый алгоритм обладает SIMD параллелизмом, так что он может быть реализован в SMP архитектуре. Компьютерное моделирование проводилось на вычислительной системе с общей памятью. Программная реализация написана на языке



Рис. 3. Структурная схема алгоритма оптимизации

С++ с использованием технологии OpenMP. Основная цель эксперимента – сравнение усредненного по множеству реализаций времени выполнения алгоритма на различном количестве вычислительных потоков при управляемом движении АНПА. Кроме того, рассчитывался коэффициент ускорения – отношение среднего времени выполнения на 1 вычислительном узле к времени исполнения на N узлах. Результаты моделирования показаны на рис. 4.

Целью САУ являлся проход АНПА по заданной последовательности контрольных точек (обозначены треугольниками) с одновременным обходом цилиндрических препятствий (обозначены красным). Пример траектории можно видеть на рис. 4.

При задействовании пяти вычислительных потоков максимально возможное ускорение достигло 3,63. Однако при дальнейшем увеличении количества потоков наблюдался спад коэффициента ускорения. Это связано с возрастающими задержками при обращении к общим участкам памяти, а также наличием в алгоритме участков, которые невозможно распараллелить.

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрена система управления автономным необитаемым подводным аппаратом с нелинейной прогнозирующей моделью. Приведены принципы построения таких систем. Продемонстрирована необходимость решения сложной оптимизационной задачи в реальном масштабе времени. Предложен способ повышения производительности на основе распараллеливания алгоритма оптимизации.

Результаты имитационного моделирования продемонстрировали рациональность применения параллельных вычислительных технологий при построении САУ АНПА с прогнозирующей моделью.

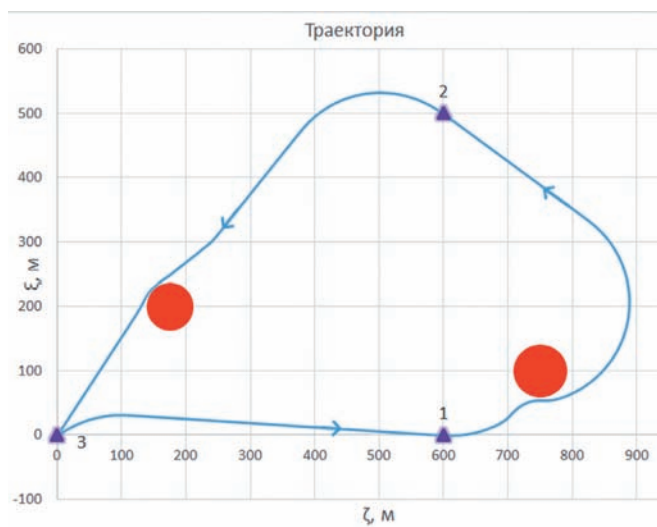
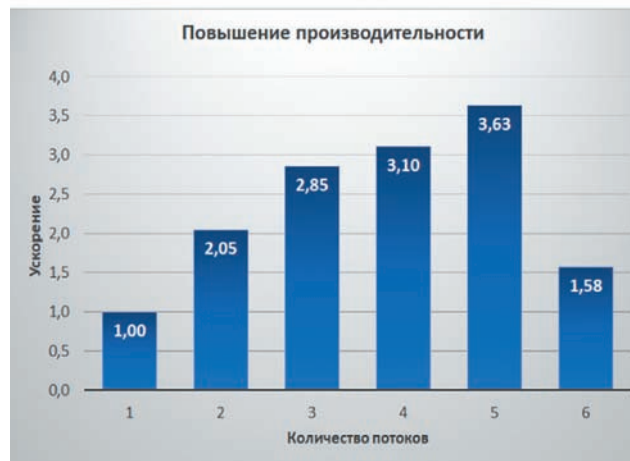


Рис. 4. Результаты моделирования

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку других параллельных алгоритмов оптимизации, а также использование других классов прогнозирующих моделей, имеющих развитый внутренний параллелизм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сотникова М. В. Вопросы устойчивости движений в системах управления с прогнозирующими моделями // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8. – № 1. – С. 72–79.
2. Орловский И. А. Использование нейроконтроллера с прогнозированием для управления электромеханическим объектом // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика. – 2013. – № 1 (14). – С. 200–205.
3. Bu diyono Agus Model predictive control for autonomous underwater vehicle // Indian J. of Geo-Marine Sciences. – 2011. – Vol. 40(2). – P. 191–199.
4. Jianan Xu*, Mingjun Zhang and Yujia Wang. Neural networks modeling and generalised predictive control for an autonomous underwater vehicle // J. Modelling, Identification and Control. – 2010. – Vol. 11. – №1/2. – P. 79–86.
5. Thor I. Fossen Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. – John Wiley & Sons Ltd, 2011. – 582 p.
6. Никущенко Д. В., Надымов Е. Н., Шушков Р. А. Расчет гидродинамических характеристик подводных аппаратов с выступающими частями, рулями и стабилизаторами // Вестник СПбГУ. – Сер.: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2010. – № 4. – С. 63–73.
7. Кешков Д. И., Никущенко Д. В. Численное определение вращательных составляющих гидродинамических сил, действующих на корпус подводного аппарата с выступающими частями // Морской вестник. – 2012. – № S1(9). – С. 50–51.
8. Савин А. Н. Параллельный вариант алгоритма условной оптимизации комплексным методом Бокса // Изв. Саратовского университета. – Сер.: Математика. Механика. Информатика. – 2012. – Т. 12. – Вып. 3. – С. 109–117.
9. Borisov A. N., Siek J. L. A parallel optimization algorithm for predictive control of marine vessel // The International Conference «Information Technologies in Business and Industry», 18–20 Febr. 2019, Novosibirsk // J. of Physics: Conference Series, 1333, № 042004 (Article number 13334004) – <https://iopscience.iop.org/volume/1742-6596/1333>
10. Rauber Thomas, Rüniger Gudula. Parallel Programming for Multicore and Cluster Systems. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. – 2013. – 522 p. ■



В настоящее время для обеспечения различных видов связи на кораблях ВМФ используется большое количество типов оконечной аппаратуры. Вместе с тем в связи с совершенствованием микроэлектронной и микропроцессорной элементной базы, появлением новых средств получения и обработки информации оказались возможны разработка и внедрение новых устройств и систем связи, существенно превосходящих по своим тактико-техническим параметрам существующие. Разработан инновационный продукт с гибкой аппаратно-программной системой на основе унифицированных функциональных, схмотехнических, конструктивных и программных модулей, обеспечивающих реализацию различных услуг связи и удовлетворяющих потребности современного флота.

Разработана линейка multifunctional subscriber terminals (MFAT), обеспечивающих в составе существующих и перспективных комплексов связи надводных кораблей как традиционные (речевую, буквопечатающую, слуховую телеграфную радиосвязь), так и новые востребованные (пакетную телефонную связь, обмен электронной корреспонденцией, видеотелефонную связь) услуги связи.

АППАРАТНАЯ АРХИТЕКТУРА МФАТ

Аппаратная архитектура всех изделий МФАТ (рис. 1) основана на использовании универсальных модулей. Вне зависимости от типа, каждое изделие состоит из двух основных компонентов: модуля вычислительного и модуля сопряжения интерфейсов. При этом все специфичные для конкретного типа МФАТ компоненты (см. рис. 1) сосредоточены в модуле сопряжения интерфейсов, а также в дополнительных устройствах, требуемых для обеспечения функционирования МФАТ.

Модуль вычислительный (МВ) представляет собой аппаратный модуль, построенный на базе процессора Freescale i.MX 6, и подключается к модулю сопряжения интерфейсов с помощью универсального разъема. МВ включает в свой состав:

- оперативную память объемом 2 Гбайт;
- основное постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) объемом памяти 32 Гбайт, подключаемое по интерфейсу eMMC и содержащее основной загрузчик, прошивку и резервную конфигурацию;
- резервное ПЗУ объемом 16 Мбайт, подключаемое по интерфейсу SPI и содержащее резервную программу загрузки основной прошивки терминала, используется в случае выхода из строя основного загрузчика;
- дополнительный Ethernet контрол-

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АБОНЕНТСКИЕ ТЕРМИНАЛЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА СВЯЗИ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

Е.А. Рылов, ген. директор,

В.В. Николаев, канд. техн. наук, проф., председатель Совета директоров,

О.Д. Руптанова, аспирант, инженер,

А.В. Сорокин, аспирант, начальник отдела внедрения аппаратных платформ, АО «ПКБ «РИО»,

Р.В. Николаев, магистрант СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, контакт. тел. (812) 313 6181

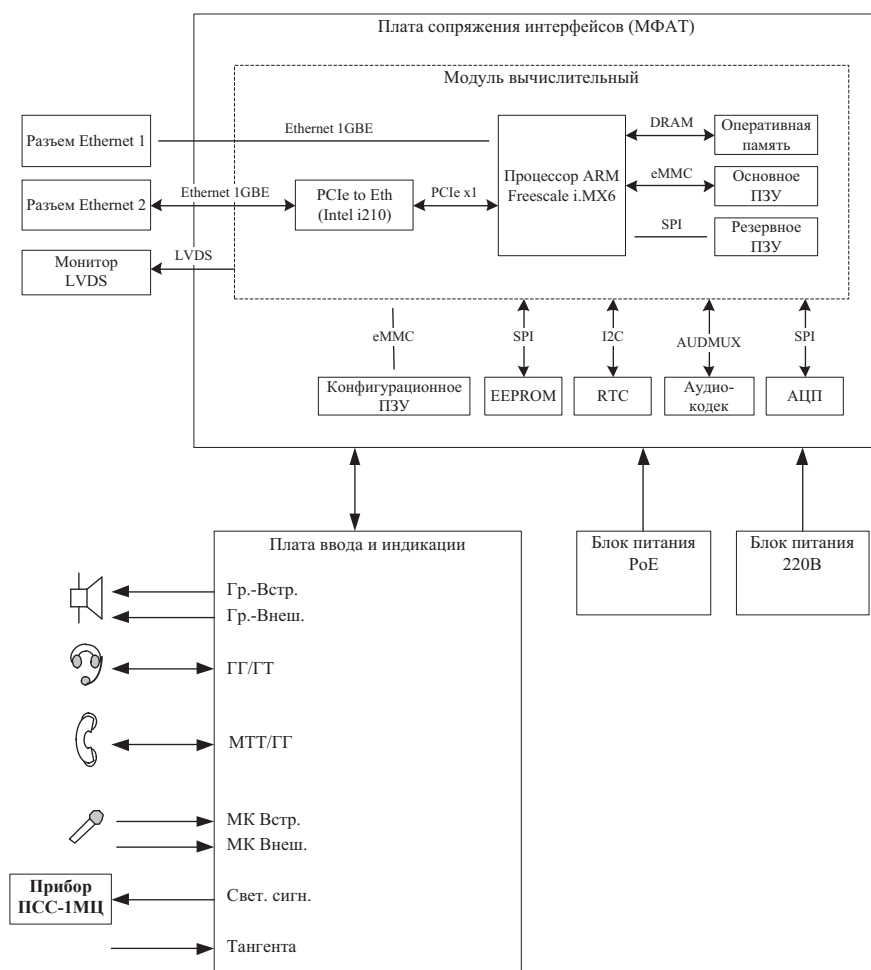


Рис. 1. Аппаратная архитектура МФАТ

лер на основе микросхемы Intel i210; – LVDS-интерфейс для работы с дисплеем.

Плата сопряжения интерфейсов – аппаратный модуль, реализует функциональные возможности МФАТ, служит «площадкой» для подключения к нему вычислительного модуля и включает в себя следующие компоненты:

- конфигурационное ПЗУ объемом памяти 32 Гбайт, подключается по интерфейсу eMMC и содержит параметры работы загрузчика, специфичные для устройства, конфигурацию устройства, резервную копию прошивки и системный журнал работы;

- EEPROM микросхему, содержит MAC-адреса всех сетевых интерфейсов и серийный номер устройства;
- RTC – часы реального времени;
- аудиокодек MAX98089, обеспечивающий возможность одновременного использования до четырех аудиовходов и трех аудиовыходов;
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

Универсальный блок питания (см. рис. 1) напряжением 48 В и мощностью 25 Вт разработан на основе технологии PoE, позволяет передавать устройству электрическую энергию совместно с данными через стандартную витую пару. Блок питания PoE также

обеспечивает преобразование постоянного напряжения 48 В в напряжение 5 В.

Плата ввода и индикации обеспечивает ввод/вывод информации, индикацию и управление подсветкой терминала. К плате и индикации подключаются различные громкоговорители, микрофонные трубки, встроенные и внешние микрофоны (в зависимости от типа МФАТ). В отличие от МВ, МСИ и блока питания PoE, плата ввода и индикации не является унифицированной составляющей МФАТ и используется как самостоятельное устройство.

ПРОГРАММНАЯ АРХИТЕКТУРА МФАТ

Программная архитектура МФАТ основана на использовании встроенного программного обеспечения (ПО), которое делится на две составляющие: общесистемное ПО и прикладное ПО.

Общесистемное ПО обеспечивает выполнение функций, не зависящих от функционального назначения МФАТ, т. е. функций общих для всех типов МФАТ. Например, функции управления устройством, функции диагностирования и оповещения об отказах, функции ведения системного журнала и т. п. Структура общесистемного ПО представлена на рис. 2.

Прикладное ПО реализует функции, специфичные для каждого конкретного типа МФАТ, например, функции телефонии для МФАТ Т, функции ГГС для МФАТ К-5 и т. д. Состоит из двух основных компонентов: логики реализуемого приложения и библиотеки FreeSWITCH, включающей логику организации вызовов, взаимодействие с аудиовидео устройствами, организацию конференц-связи. Структурная схема прикладного ПО для типового МФАТ представлена на рис. 3.

Взаимодействие изделий МФАТ со смежными и внешними системами обеспечивается посредством двух сетевых интерфейсов Ethernet 1000BASE-T, каждый из которых обеспечивает скорость соединения до 1 Гбит в секунду. Эти сетевые интерфейсы работают в следующих режимах:

- два независимых сетевых интерфейса, подключенных к разным сетям (без распределения нагрузки);
- один логический сетевой интерфейс, объединяющий два физических. В результате этого обеспечивается повышенный уровень надежности за счет резервирования и увеличение скорости передачи;
- распределение потока данных между двумя независимыми сетевыми интерфейсами, подключенными к одной сети.

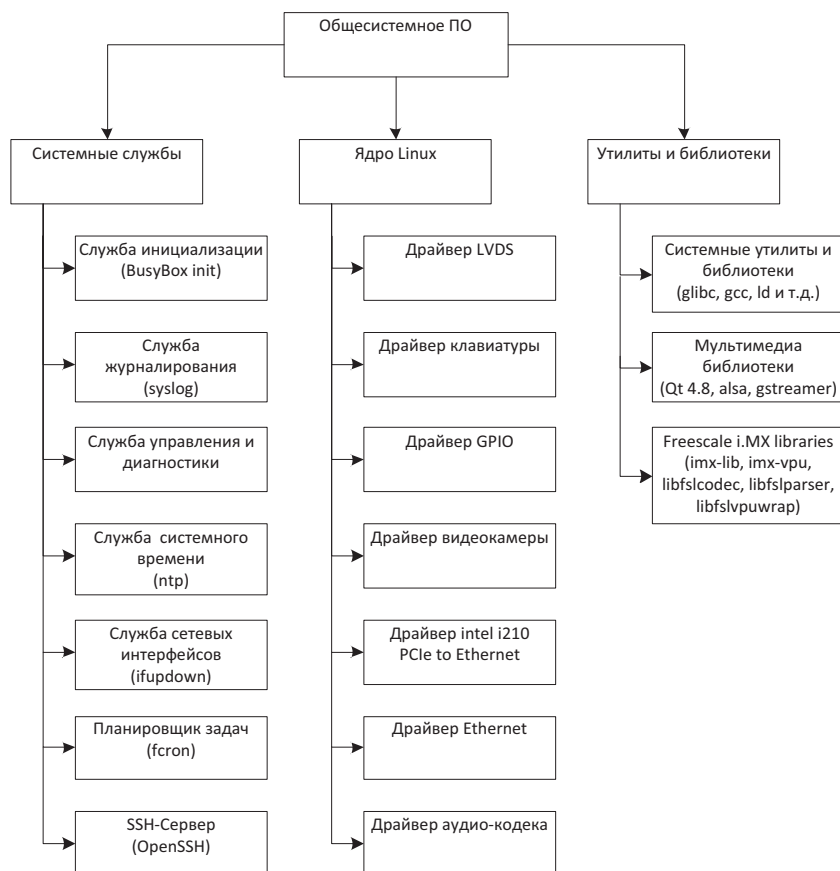


Рис. 2. Структура общесистемного ПО

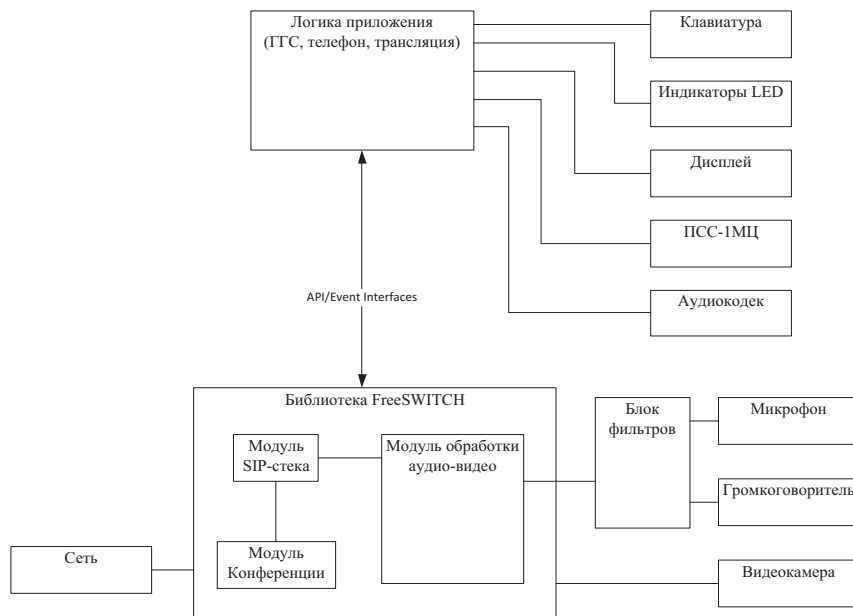


Рис. 3. Структура прикладного ПО

СОСТАВ ФУНКЦИЙ, КОМПЛЕКСОВ ЗАДАЧ, РЕАЛИЗУЕМЫХ ИЗДЕЛИЯМИ МФАТ

Для выполнения различных задач на кораблях ВМФ было принято решение создать несколько типов МФАТ.

МФАТ К-5 (рис. 4) предназначен для установления и поддержания громкоговорящей связи от одного до пяти абонентов с возможностью увеличения количества абонентов до 45 при использовании дополнительных модулей быстрого вызова. МФАТ К-5 имеет возможность

подключения микрофонной, микрофонной и ларингофонной гарнитуры для ведения связи с возможностью ручного отключения громкоговорителя, ретрансляцию переговоров с возможностью прослушивания, передачу видеоизображения с терминала, воспроизведение широкоэмитерных передач и установление циркулярной связи или режима конференции. МФАТ К-5 оборудован световой сигнализацией входящего, исходящего и двухстороннего соединения, а также сигнализацией занятости.



Рис. 4. Внешний вид МФАТ К-5

МФАТ К-5 обеспечивает поддержку следующих протоколов:

- RTP для передачи аудио/видеопотока;
- SIP для передачи команд управления между терминалами и взаимодействия с подсистемой записи и подсистемой трансляции;
- SNMP v2 (v3) для взаимодействия с сервером конфигурации, предназначенным для автоматической загрузки в терминалы необходимых конфигураций;
- FTP/TFTP для загрузки конфигурации терминалов с сервера конфигурации.

МФАТ Т предназначены для осуществления внутрикорабельной и внешней телефонной связи (в открытом и закрытом режимах), передачи и приема текстовых сообщений, приема команд и широкоэмитальных передач, набор номера с помощью номеронабирателя, организации связи с использованием дополнительных видов обслуживания – ДВО (различные виды переадресации, повтор вызова, запрет вызова, использование черного списка, организация конференции и др.). Доступ терминала к ДВО определяется соответствующими настройками цифровой абонентской телефонной станции, к которой подключен терминал.

Универсальный считыватель обеспечивает возможность защиты терминала от несанкционированного доступа. Для работы с терминалом к считывателю прикладывают аутентифицирующий носитель пользователя. Изделия МФАТ Т также подразделяются на три типа: МФАТ Т-1 (рис. 5), МФАТ Т-2 (рис. 6), МФАТ Т-3 (рис. 7).

МФАТ Т-1 оснащен монохромным дисплеем, а МФАТ Т-2 и МФАТ Т-3 оснащены сенсорным цветным дисплеем, предназначенным для отображения пользовательского интерфейса, который оптимизирован для работы даже с начинающим пользователем.

Благодаря наличию видеокамеры и дисплея с широкой диагональю, МФАТ Т-3 имеет возможность приема и передачи видеоизображения, что позволяет вести видеоконференцию в режиме реального времени.

МФАТ Т поддерживают следующие протоколы:

- SIP для организации, модификации и завершения сеансов связи;
- SNMP v2 (v3) для взаимодействия с сервером конфигурации;
- SSH, FTP протокол прикладного уровня для загрузки конфигурации;
- RTP для передачи аудио/видеопотоков в реальном времени;
- HTTP для загрузки обновлений телефонной книги;
- NTP для синхронизации системных часов;
- DHCP для получения IP-адреса и других параметров, необходимых для работы в сети.



Рис. 5. Внешний вид МФАТ Т-1



Рис. 6. Внешний вид МФАТ Т-2



Рис. 7. Внешний вид МФАТ Т-3

МФАТ СЗ (рис. 8) предназначен для преобразования до четырех входящих аналоговых аудиопотоков с микрофона или линейного входа (в зависимости от конфигурации) в поток RTP и передачу по протоколу SIP в систему записи переговоров. МФАТ СЗ позволяет вести запись переговоров в режиме реального времени. Существует возможность комбинирования подключения микрофонов и/или линейных входов с дистанционным управлением включением каждого из них. В отличие от своих предшественников, в его составе отсутствуют громкоговоритель и дисплей.

МФАТ СЗ обеспечивает поддержку следующих протоколов:

- SIP:
 - для передачи в сервер конфигурации аудиопотоков, преобразованных в поток RTP;
 - для взаимодействия с системой записи;
 - для формирования сообщений в систему записи с параметрами, определяющими номер интерфейса, по которому поступает аудиопоток (микрофон или линейный вход в зависимости от конфигурации), и параметра сигналов дистанционного управления;
- SNMP v2 (v3) для взаимодействия с сервером конфигурации при автоматической загрузке в терминал необходимых конфигураций;
- SSH, FTP для загрузки конфигураций с сервера конфигурации;
- RTP для передачи аудио/видеопотоков в реальном времени;
- NTP для синхронизации системных часов.



Рис. 8. Внешний вид МФАТ СЗ

Разработанные и внедренные автоматизированные новейшие изделия МФАТ, устанавливаемые на рабочих местах операторов, благодаря эффективному построению, использованию современных процессоров и микроэлектронной компонентной базы, позволяют существенно расширить функциональные возможности, а также уменьшить общую массу и объем существующих средств связи, что положительным образом сказывается на поддержании комплексов связи надводных кораблей ВМФ РФ на высоком качественном уровне и степени боевой готовности. ■

Усложнение и расширение видов взаимодействия человека и Мирового океана требует появления новых, современных и эффективных инструментов исследований. Таким инструментом при проведении аварийно-спасательных, обзорно-поисковых, научно-исследовательских и других видов работ в открытом море в последнее время все чаще становятся подводные аппараты. Все многообразие подводных аппаратов можно разделить на две группы – обитаемые подводные аппараты (ОПА) и необитаемые подводные аппараты (НПА). В свою очередь НПА классифицируют по различным признакам, что, в частности, нашло отражение в ГОСТ Р 56960–2016, согласно которому выделяют телеуправляемые НПА (ТНПА), автономные НПА (АНПА), донные НПА, дрейфующие НПА и некоторые другие [1].

Опыт эксплуатации как НПА, так и глубоководных ОПА, показывает необходимость размещения основных и/или вспомогательных средств управления подводными аппаратами (ПА) непосредственно на судне-носителе. Такими средствами, помимо систем управления движения, как в случае с ТНПА, могут быть в общем случае системы сбора, анализа и хранения информации, поступающей от ПА; системы, обеспечивающие связь судна-носителя и ПА в его надводном и подводном положении, и др. [2].

Так как цикл эксплуатации ПА не обязательно связан с конкретным судном-носителем, перед разработчиками и эксплуатантами ПА встают проблемы размещения надводных средств управления на судне-носителе путем, требующим минимальных доработок самого судна или вообще без таковых и обеспечивающим управление всеми (большинством) операциями из одного места, также возникает задача такой организации рабочих мест операторов, чтобы они могли длительно управлять подводно-техническими работами в любых гидрометеорологических условиях.

МОБИЛЬНЫЙ ПОСТ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ РАБОТАМИ

К.А. Смирнов, канд. техн. наук, ген. директор,
А.Д. Измайлов, вед. инженер-конструктор,
Р.А. Андреюк, зам. директора департамента,
Д.С. Бабкин, начальник отдела гидроакустики,
АО «Морские навигационные системы»,
контакт. тел. (812) 320 3840

АО «Морские навигационные системы» уже более 10 лет занимается разработкой и созданием радиоэлектронных средств для оснащения ПА различных классов и назначений, в том числе имеет опыт создания оборудования для управления подводно-техническими работами, который показал, что для их эффективного управления в одном месте должны быть сконцентрированы следующие технические средства:

- аппаратура гидроакустической связи для обмена телеметрическими сообщениями, а при работе с ОПА и режимами телефонии (ТЛФ);
- аппаратура позиционирования ПА для определения координат его местоположения;
- средства отображения на электронном планшете или электронной карте местоположения ПА, а также специальное программное обеспечение для коррекции местоположения ПА, документирования информации;
- навигационные средства (ГЛО-НАСС-приемник и курсоуказатель) для решения информационных задач без привязки к навигационной аппаратуре судна-носителя;
- средства радиосвязи УКВ-диапазона для координации палубных работ при спуско-подъемных операциях.

Не лишней будет и возможность подключения к корабельной АТС.

Мобильность такого поста требует применения в его конструкции стандартных транспортных технологий и

автономных, т. е. не зависящих от судна-носителя, средств жизнеобеспечения (отопление, вентиляция, кондиционирование, освещение и аварийные средства спасения). Кроме того, необходимо обеспечить возможность выполнения спуско-подъемных операций гидроакустической аппаратуры связи и позиционирования также без привязки к средствам судна-носителя.

Для оптимального решения данных вопросов АО «МНС» разработаны и изготавливаются функционально и конструктивно законченные самостоятельные изделия, которые можно обобщенно назвать «мобильным постом управления подводно-техническими работами» (МПУ ПТР).

На рис. 1 представлен типовой МПУ ПТР. Его главная особенность – размещение всех необходимых средств связи, управления и обработки данных в грузовом контейнере (обычно 20-футовом, типа 1СС по ГОСТ Р 53350–2009) [3], в котором также предусмотрены рабочие места для операторов управления работами с ПА с соблюдением всех необходимых норм. Использование стандартизированной единицы транспортного оборудования (контейнера) в качестве основы для поста управления обеспечивает его транспортабельность автомобильным, железнодорожным, морским и воздушным транспортом, а также перегрузку с одного транспортного средства на другое. Также при разворачивании МПУ ПТР на судне-носителе помимо



Рис. 1. Внешний вид типового МПУ ПТР

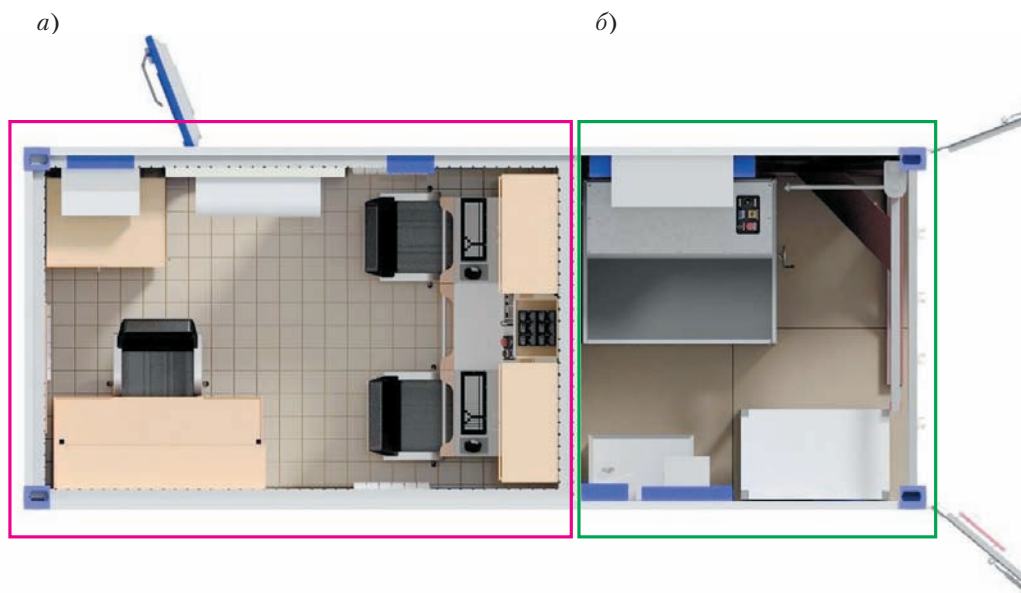


Рис. 2. Внутреннее устройство МПУ ПТР: а – основное помещение; б – агрегатное помещение

строповки контейнера с использованием талрепов возможна фиксация положения контейнера при помощи стандартных стопоров (например, стопоров с поворотной головкой или твистлоков).

Внутреннее пространство МПУ ПТР (рис. 2) разделено на два помещения: основное и агрегатное. Доступ в агрегатное помещение осуществляется через стандартные торцевые двери. Внутри размещена электрическая лебедка с грузонесущим кабелем для спуска и подъема необходимых устройств, например, антенны звукоподводной связи и позиционирования.

Операции по спуску и подъему могут проводиться с применением мобильной кран-балки, место для хранения которой также предусмотрено в агрегатном помещении. При проведении спуско-подъемных работ грузонесущий кабель лебедки может выводиться из МПУ ПТР и через торцевые двери, и через специальные люки на боковых

стенках агрегатного помещения. Так как не на каждом судне-носителе можно разместить МПУ ПТР таким образом, чтобы торцевые двери находились вблизи борта судна, конструкция кран-балки выполнена такой, что ее можно использовать не только непосредственно из МПУ, но и вынеся из транспортного контейнера и разместив у борта, а сам контейнер расположить в другом доступном месте. Для упрощения и унификации способов крепления к палубе в конструкции кран-балки предусмотрены контейнерные угловые фитинги, позволяющие применить твистлоки в качестве средств фиксации. Благодаря наличию механизированных спуско-подъемных средств в МПУ ПТР можно облегчить рутинные рабочие операции, снизить опасность их проведения, уменьшить количество спуско-подъемных операций, требующих привлечения штата судна-носителя. Длина кабель-троса лебедки до 200–300 м и ком-

плектация МПУ ПТР промежуточными направляющими роликами позволяет проложить трассу кабель-троса любым удобным способом.

Помимо средств, обеспечивающих спуско-подъемные операции, в агрегатном помещении (рис. 4) предусмотрен стеллаж для ящиков с запасным и вспомогательным оборудованием, а также трансформатор первичной сети и главный распределительный щит. Электропитание МПУ ПТР осуществляется от судовой сети – трехфазной сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380 В по схеме «треугольник» без нейтрального провода. Для обеспечения гальванической развязки, формирования нейтрального провода, необходимого для создания однофазных сетей напряжением 220 В, установлен силовой трансформатор.

Подвод кабелей питания возможен через специальные вводы, расположенные в нише агрегатного помещения, за-

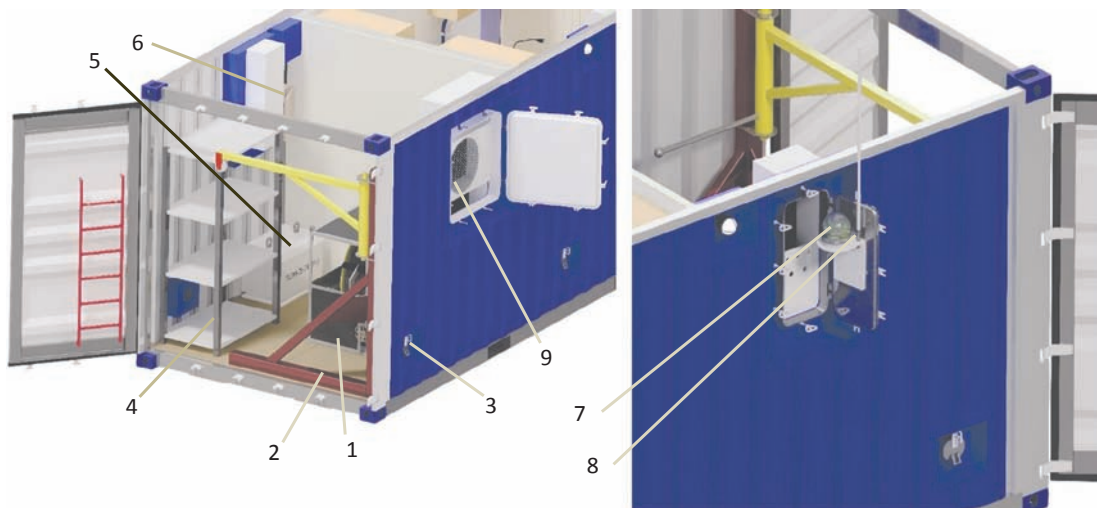


Рис. 3. Агрегатное помещение МПУ ПТР

1 – лебедка с грузонесущим кабелем; 2 – кран-балка; 3 – люк для вывода грузонесущего кабеля; 4 – стеллаж; 5 – трансформатор; 6 – распределительный щит; 7 – спутниковая навигационная система; 8 – антенна радиосвязи; 9 – внешний блок сплит-системы

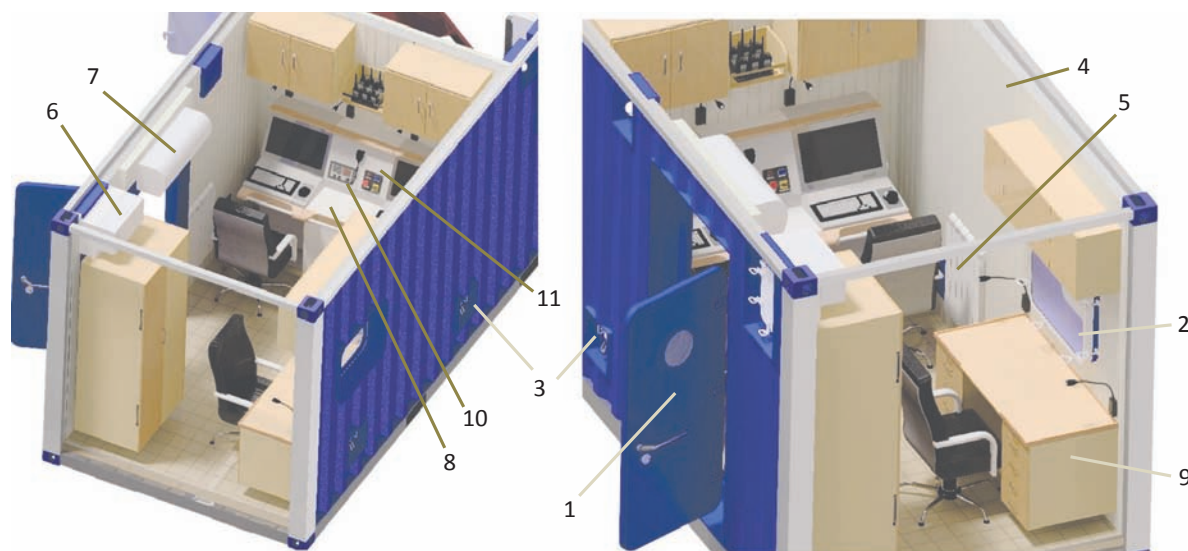


Рис. 4. Основное помещение МПУ ПТР

1 – герметичная судовая дверь; 2 – иллюминатор; 3 – вентиляционный люк; 4 – сэндвич-панель; 5 – радиатор отопления; 6 – приточно-вытяжная вентиляция; 7 – внутренний блок сплит-системы; 8 – пульт операторов; 9 – стол руководителя; 10 – стационарная радиостанция; 11 – пульт дистанционного управления лебедкой

крываемой глухой крышкой. При развертывании МПУ ПТР на судне-носителе крышка раскрепляется по штормовому, а на ее внутренней стороне имеются кронштейны для размещения спутниковой навигационной системы и антенны радиосвязи. Напротив ниши с вводами электропитания расположена ниша с наружным блоком сплит-системы.

Доступ в основное помещение (рис. 4) организован через герметичную судовую дверь. На противоположной стороне предусмотрен иллюминатор для естественного освещения, который может использоваться и как аварийный выход. На боковых стенках основного помещения размещены небольшие вентиляционные люки, которые при необходимости можно использовать для подведения вспомогательных сигнальных кабелей.

Теплоизоляцию основного помещения контейнера подбирают, исходя из условий, в которых планируют эксплуатировать МПУ ПТР, и самого широкого диапазона температур, поэтому выполняют из сэндвич-панелей с полиуретановым утеплителем, имеющим необходимые показатели безопасности. Для обеспечения нормальных климатических условий внутри основного помещения предусмотрены обогреватели возле каждого рабочего места с индивидуальной регулировкой, приточно-вытяжная вентиляция вблизи входной двери с воздухозаборником и сплит-система.

В основном помещении расположены три рабочих места – для двух операторов и руководителя работ. Автоматизированные рабочие места операторов оборудованы мониторами с диагональю 24", встроенными клавиатурами и манипуляторами. Нижняя часть центральной стойки пульта может быть использована

для размещения стандартного оборудования радиоэлектронных средств серии 19", а также источника бесперебойного питания, сетевого накопителя данных и ПЭВМ для обеспечения рабочих мест операторов. В верхней части центральной стойки пульта установлены прибор стационарной радиосвязи и пульт дистанционного управления лебедкой.

Пульт сформирован для двух операторов, один из которых решает задачи гидроакустической связи, а другой – навигационные задачи ПА. Третье место предусмотрено для руководителя работ или наблюдателя.

Конфигурация пульта может уточняться в зависимости от специфики ПА и его оборудования. Так, например, если МПУ обеспечивает управление ТНПА с телевизионной системой и гидролокаторами, технологический задел позволяет дополнительно разместить до трех мониторов для отображения телевизионной и гидролокационной информации.

В зависимости от типа эксплуатируемого ПА набор используемых в МПУ ПТР средств управления может отличаться, однако основные средства соответствуют вышеописанным для типового МПУ ПТР.

Внутри основного помещения предусмотрены шкафы для одежды, документации, дополнительного оборудования и спасательных средств личного состава.

Для организации спуско-подъемных и иных видов работ на близких дистанциях предусмотрен комплект портативных УКВ раций. Навигационное обеспечение осуществляется встроенным курсоуказателем и приемником спутниковой навигационной системы.

Таким образом, разработанный АО «МНС» мобильный пост управления подводно-техническими работами со-

четает в себе ключевые элементы управления работами, связанными с эксплуатацией подводных аппаратов, и их сопровождения и выполняет следующие функции:

- обеспечение гидроакустической, проводной и радиосвязи;
- навигационное обеспечение работ;
- первичная постобработка данных;
- поддержание нормальных климатических условий для работы личного состава управления работами с ПА и комфортных условий для работы операторов;
- обеспечение безопасности личного состава поста управления;
- преобразование, распределение и защита потребителей электропитания;
- мобильность и автономность МПУ ПТР.

МПУ ПТР расширяет географию применения подводного аппарата и снижает эксплуатационные расходы, так как средства управления не привязываются к конкретному судну-носителю, а созданные комфортные рабочие места способствуют успешному выполнению задач, поставленных перед его командой.

Опыт АО «Морские навигационные системы» по созданию МПУ ПТР может быть использован при разработке и производстве любых комплексов подводных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 56960–2016. Аппараты необитаемые подводные. Классификация.
2. Тарасенко А.А. и др. Зарубежные самоходные необитаемые морские аппараты – СПб.: Изд.АО «СПМБМ «Малахит», 2016. – 300 с.
3. ГОСТ Р 53350–2009 (ИСО 668:1995). Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. ■

Стремительное развитие технических средств дистанционного и автоматического управления судовыми системами и судами в целом создает новые возможности для повышения эффективности морского транспорта. Международная морская организация (ММО) начиная с 2018 г. ведет плановую работу по оценке международной нормативной базы (Regulatory Scoping Exercise – RSE) на предмет применимости требований, существующих Конвенций и Кодексов к морским автономным надводным судам (МАНС) и выявления сфер развития требований к таким судам. При этом констатируется, что основная проблема внедрения новых технологий состоит не в том, чтобы убедиться в их работоспособности, а в уверенности, что их внедрение обеспечит безопасную эксплуатацию МАНС. Необходимость сосредоточиться на выявлении и снижении рисков, связанных с новыми вводимыми операциями, функциональными возможностями и системами, объясняется тем, что новые концепции эксплуатации судов, основанные на автономном и дистанционном управлении, связаны с незрелостью и большой сложностью. Одним из вопросов, которые возникают у разработчиков систем для МАНС в процессе оценки риска их применения, – это возможность использования методических рекомендаций ММО при формальной оценке безопасности. Далее приводится обоснование ответа на этот вопрос.

ЦЕЛИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ФОРМАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Наука о риске в современном представлении сформировалась в последней четверти XX в. благодаря, прежде всего, практическим потребностям обеспечения безопасности в техносфере, в частности, ядерной энергетике, других потенциально опасных отраслях промышленности и на транспорте. В морской отрасли усилиями ММО был предложен процесс Формальной оценки безопасности (Formal Safety Assessment – FSA) как один из способов обеспечения принятия мер до возникновения бедствия. Он был представлен в качестве «рационального и систематического процесса оценки рисков, связанных с судоходной деятельностью, оценки затрат и пользы от решений ММО в интересах снижения этих рисков».

Формальная оценка безопасности, которая первоначально была разработана частично, по крайней мере, в ответ на катастрофу 1988 г., когда морская платформа «Piper Alpha» взорвалась в Северном море и 167 человек

О ПРИМЕНИМОСТИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ МОРСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ РИСКА СИСТЕМ ДЛЯ МОРСКИХ АВТОНОМНЫХ НАДВОДНЫХ СУДОВ

В.В.Ефимов, канд. техн. наук, доцент,
директор по продвижению АО «Кронштадт Технологии»,
контакт. тел. (812) 449 9090, доб. 387-01, +7 (911) 988 4255,
Viktor.Efimov@krontech.ru

погибли, теперь применяется к процессу принятия правил ММО. Методические рекомендации по формальной оценке безопасности для использования в процессе нормотворчества ММО были утверждены в 2002 году (MSC/Circ.1023/MEPC/Circ.392). В дальнейшем в рекомендации были внесены поправки MSC/Circ.1180-MEPC/Circ.474 и MSC-MEPC.2/Circ.5. В настоящее время действующими являются методические рекомендации от 9 апреля 2018 г. с поправками MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2 [1].

FSA представляет собой структурированную и систематизированную методологию, направленную на повышение безопасности на море, включая защиту жизни, здоровья, морской среды и имущества, опирающуюся на анализ рисков, оценку затрат и выгод. FSA может использоваться в качестве инструмента для оказания помощи при оценке новых правил безопасности на море и защиты морской среды. Также она применима для проведения сравнения между существующими и, возможно, улучшенными правилами с целью достижения баланса между различными техническими и эксплуатационными вопросами, включая человеческий фактор, и баланса между безопасностью на море или защитой морской среды и требуемыми затратами.

FSA включает пять этапов:

- 1) идентификация опасностей (формирование списка всех соответствующих сценариев аварий с потенциальными причинами и результатами);
- 2) оценка рисков (оценка факторов риска);
- 3) варианты управления рисками (разработка регуляторных мер по контролю и снижению выявленных рисков);
- 4) оценка экономической выгоды (определение экономической эффективности каждого варианта управления рисками);
- 5) разработка рекомендаций по принятию решений (в виде информации об опасностях, связанных с ними рисках и экономической эффективности альтернативных вариантов управления рисками).

По сути, эти этапы соответствуют действиям в ответ на следующие вопросы:

1. Что может пойти не так? – Составление списка всех соответствующих сценариев аварий с потенциальными причинами и исходами.
2. Насколько плохо и насколько вероятно? – Оценка тяжести последствий и возможности осуществления аварийных сценариев.
3. Можно ли улучшить ситуацию? – Разработка нормативных мер по контролю и снижению выявленных рисков.
4. Сколько это будет стоить и насколько лучше? – Определение экономической эффективности каждого варианта управления рисками.
5. Какие действия необходимо предпринять? – Предоставление информации об опасностях, связанных с ними рисках и экономической эффективности альтернативных вариантов управления рисками.

Пять этапов методологии FSA могут взаимодействовать друг с другом и повторяться в соответствии с практически условиями и потребностями. Рис. 1 представляет собой структурную схему методологии FSA, из которой видно, что шаг 5 взаимодействует с каждым из других шагов в выработке рекомендаций по принятию решений.

Международная морская организация считает, что применение FSA может быть особенно актуально для предложений по мерам регулирования, которые имеют далеко идущие последствия с точки зрения затрат для морской отрасли или административных, или законодательных ограничений, которые могут возникнуть. Это может быть достигнуто только за счет четкого обоснования предлагаемых мер регулирования и возможности сопоставления различных вариантов таких мер. Но именно это соответствует основной философии FSA, что и обеспечивает ее использование в качестве инструмента для облегчения прозрачного процесса принятия решений. Кроме того, Формальная оценка риска позволяет определить средства упреждающего действия, учитывающие



Рис. 1. Структурная схема методологии FSA

потенциальные опасности до возникновения серьезной аварии.

FSA представляет собой фундаментальное изменение от того, что ранее было в основном фрагментарным и реактивным регулирующим подходом, к тому, который является упреждающим, цельным и, прежде всего, основанным на оценке и управлении рисками. Прозрачность и обоснованность этого процесса поощряет большее соблюдение морской нормативной базы, что, в свою очередь, приводит к повышению безопасности на море и к охране окружающей среды.

Одной из областей, где FSA уже применяется, – это безопасность балкеров. В декабре 1998 г. Комитет по безопасности на море (КБМ), один из высших технических органов ММО, определил цели, сферу охвата и применение проекта:

- информировать ММО о будущих решениях, касающихся мер по повышению безопасности балкеров;
- применять методологию FSA к безопасности перевозок навалочных грузов;
- обеспечивать международное сотрудничество и соглашение.

Доклад по безопасности балкеров (Bulk Carrier Safety) был представлен Японией на заседании КБМ в 2002 г. (MSC 75/5/2) [2]. Исследования по процедуре FSA проводились с 1999 г. и содержали все пять этапов. В результате была оценена безопасность балкеров по сравнению с другими грузовыми судами и рекомендовано ММО обратить внимание на балкеры длиной менее 150 м. В частности, было предложено увеличить

требования к пределу коррозии на этапе разработки и усилить контроль над коррозией однобортных судов на этапе эксплуатации.

В 2007 г. Данией был представлен в КБМ доклад об исследовании в отношении безопасности контейнеровозов [3]. В нем также была использована процедура FSA. Семидесятипятистраничный доклад с приложениями содержал отчет о порядке выполнения, результаты каждого этапа и заканчивался оценкой таких показателей, как валовая и чистая стоимость предотвращения фатальных последствий для каждой из предложенных мер по управлению рисками. В результате были предложены тридцать две меры, из которых по наилучшему соотношению показателей были отобраны одиннадцать. В их числе – рекомендации по оснащению контейнеровозов системами ЭКНИС, АИС с интеграцией в РЛС, предложения по улучшению дизайна ходового мостика, требования по повышению эффективности водоотливных систем для грузовых отсеков, независимо от конструкции корпуса судна и пр.

Международная ассоциация классификационных обществ (МАКО) в 2010 г. представила Комитету по безопасности на море результаты выполненного исследования «Безопасность судов для перевозки генеральных грузов» (General Cargo Ships Safety) [4]. Это исследование выполнено строго по процедуре FSA и было принято к сведению КБМ со следующими результатами. В порядке возрастания затрат на реализацию были предложены: внедре-

ние контрольных листов для процедур технического обслуживания; тренировки по применению ЭКНИС для всех несущих ходовую вахту членов экипажа; тренировки на тренажерах по ситуационной осведомленности на якорной стоянке; улучшение подготовки к управлению судном в стесненных водах. Также рекомендовано оснащение судов интегрированными системами ЭКНИС, АИС, РЛС.

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ FSA

Несмотря на то, что процедура применения FSA является высокотехнической и достаточно сложной, она, с точки зрения ММО, открывает путь к разрешению дилеммы прошлого, в которой действия слишком часто откладывались, пока не происходило что-то, в результате чего предпринятые действия часто были больше обязаны общественному мнению и политическим соображениям, чем техническим достоинствам. В этой связи возникает закономерное желание использовать разработанную, одобренную и апробированную методологию FSA не только в процессе обоснования предлагаемых мер регулирования ММО, но и для других целей. Такая попытка, например, была предпринята в отношении оффшорных судов обеспечения [5]. Авторы исследования ограничили рассмотрением аварийных ситуаций, связанных со столкновениями/касаниями и пожарами/взрывами. При этом акцент был сделан на оценке превентивных мер четырех категорий, направленных на устранение причины,

случая, происшествия и его последствий. Оценка по критерию эффективности – стоимость была выполнена в относительных единицах. Это, во-первых, уже не соответствовало Методическим рекомендациям по FSA, во-вторых, не позволило дать конкретные рекомендации по применению мер управления рисками. Сделанная в работе попытка привязать превентивные меры к этапам жизненного цикла ограничилась лишь перечислением фаз эксплуатации оффшорных судов: действия в порту (причаливание, швартовка), действия возле морских платформ (маневрирование, швартовка, разгрузка), переход морем, другие операции (грузоподъем, буксировка), доковый ремонт. В целом работа, впрочем, как отмечают и ее авторы, имеет существенный недостаток – применение метода FSA было основано только на экспертных заключениях и исторических данных без использования каких-либо математических и/или статистических методов. Это существенно снижает возможность практического применения полученных результатов.

Еще одна попытка применить методологию FSA к одному из этапов жизненного цикла грузовых судов – этапу проектирования – была представлена

Республикой Кореей на 93-й сессии КБМ [6]. Основная идея работы состоит в соединении воедино трех методов: риск-ориентированного метода проектирования, метода функционального моделирования и метода временного моделирования проектов. В результате предложена «обобщенная модель оценки безопасности судна» (Ship Safety Assessment Model – SSAM). SSAM позиционируется авторами как своего рода конкретизированная обобщенная модель для безопасного проектирования, т.е. для деятельности по оценке безопасности на этапе проектирования судов. SSAM не создает модель для оценки риска, а просто описывает судно с точки зрения функциональной иерархии систем и подсистем на основе его предназначения.

За основу модели была принята методология функционального моделирования и графическая нотация IDEF0, предназначенная для формализации и описания бизнес-процессов. Отличительной особенностью IDEF0 является ее акцент на соподчиненность объектов. В IDEF0 рассматриваются логические отношения между работами, а не их временная последовательность. Для учета временных и иных конструктивных факторов, влияющих на оценку безопаснос-

ти, было предложено дополнить описания компонентов IDEF0 следующими характеристиками: взаимным расположением и иерархией систем и подсистем, ограничением на условия функционирования, временными задержками влияния подсистем и систем на судовые функции. Последнее поясняется тем, что единичный отказ подсистемы судна иногда не вызывает немедленного отказа в выполнении задачи или функциональной возможности. При этом существует некоторый запас времени, в течение которого могут быть предприняты меры по устранению либо самого отказа, либо его последствий.

Приведенный в работе пример применения такого подхода носит умозрительный характер, не подкреплён количественными оценками и не предлагает конкретных решений по управлению рисками. Несмотря на это, авторы претендуют на расширение области применения SSAM на все этапы жизненного цикла судна, вплоть до его окончания. На этапе применения предлагается осуществлять корректировку базы данных повреждений судна с целью уточнения SSAM и использования ее для поддержки принятия решений по обеспечению безопасности (рис. 2).

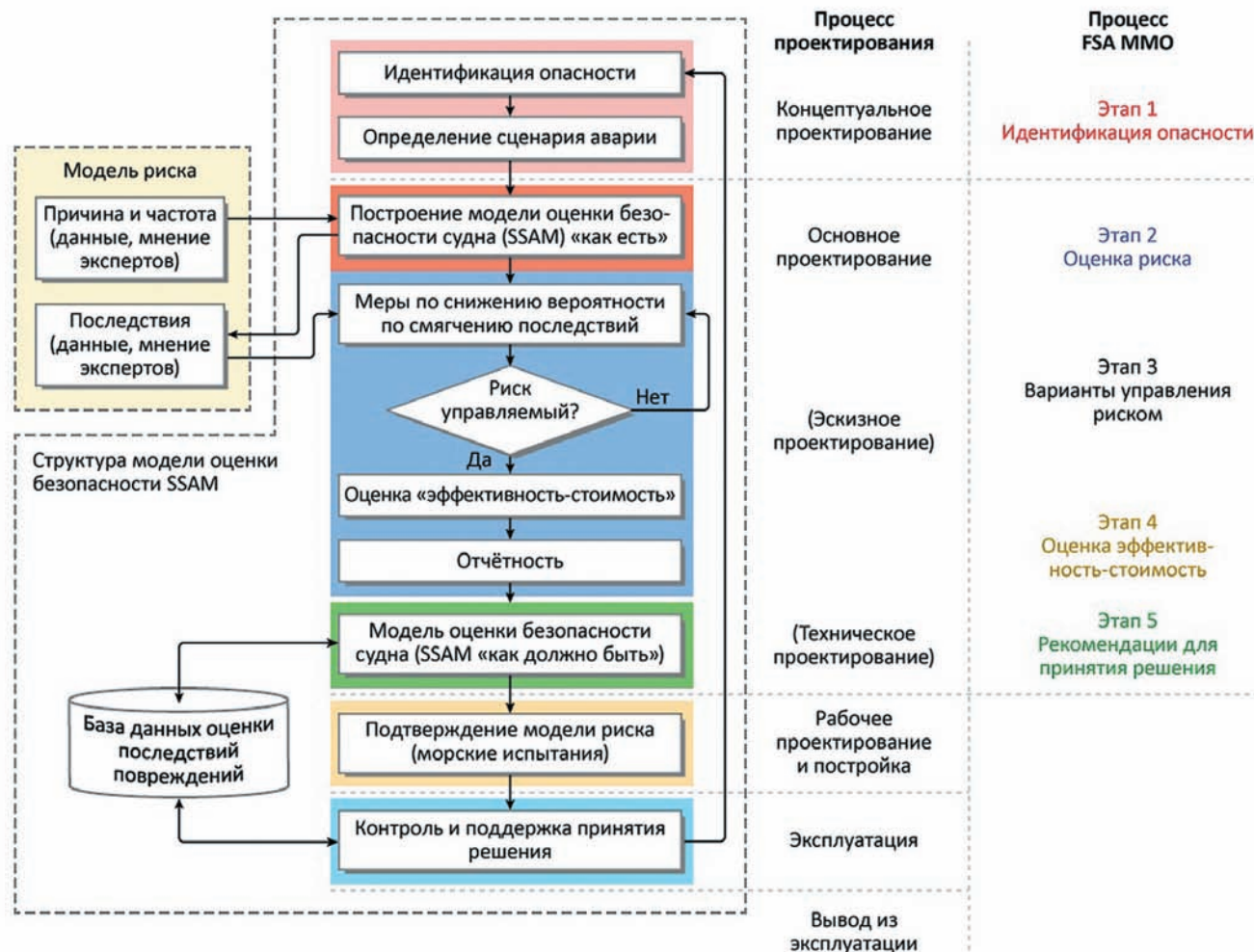


Рис. 2. Границы применения модели оценки безопасности SSAM

В целом предложенную модель следует считать примером использования FSA, требующим последующих обоснованных доказательств его эффективности. Пока же его можно принять только к сведению, что и было сделано Комитетом по безопасности на море.

Наиболее продуманными и последовательными следует признать Методические рекомендации по применению FSA к судам [7], изданные Китайским классификационным обществом (CCS) в 2015 г. Помимо основной области применения FSA – оценке безопасности для использования в процессе нормотворчества ММО, – разработанные рекомендации ориентированы на использование в процессе ревизии и разработки собственных правил и руководств CCS, а также для оценки технических проектов судов на безопасность и ущерб окружающей среде. Более того, авторы констатируют, что все или некоторые шаги методологии FSA могут применяться в зависимости от конкретных практических условий. Последнее представляет наибольший интерес с точки зрения возможности применения аналогичного подхода, т.е. применения FSA полностью или частично к оценке рисков автономных судов и соответствующих технологий.

В рекомендациях CCS подробно раскрыта последовательность действий на каждом этапе FSA, предваряемая описанием процесса подготовки к применению. Эта подготовка включает следующие работы:

1. Определение проблемы. Цель состоит в том, чтобы определить область анализа, глубину и объем исследований. Определение проблемы должно вытекать из опыта эксплуатации судов и текущих потребностей. К числу факторов, принимаемых к учету, предлагается отнести следующие:

- категория судна (например, тип, длина или диапазон валовой вместимости, новый или существующий, тип груза);
- судовые системы или функции (например, компоновка, деление на отсеки, тип движителя), функции оборудования и навыки экипажа;
- условия эксплуатации судов (например, операции в открытом море, в прибрежной зоне, на внутренних водных путях, зона обслуживания в порту и/или во время навигации);
- внешние воздействия на судно (например, службы управления движением судов, прогнозы погоды, отчетность, маршруты движения);
- категория аварии (например, столкновение, посадка на мель, взрыв, пожар);
- риски, связанные с такими последствиями, как травмы и/или гибель пассажиров и экипажа, воздействие

на окружающую среду, повреждение судна или портовых сооружений или коммерческое воздействие.

2. Подготовка данных и необходимой информации. Статистические данные о соответствующих авариях и инцидентах, а также данные о надежности системы и оборудования должны собираться по мере необходимости для включения накопленного опыта в исследование. Данных и информации должно быть как можно больше. Если их недостаточно, могут использоваться экспертные оценки, физические модели и численное моделирование. Решение о том, как подготовить данные и какие данные должны быть подготовлены, является важным звеном на этапе подготовки FSA и даже во всем процессе. При рассмотрении новой проблемы, для решения которой не хватает соответствующего опыта и статистических данных об авариях, можно рассмотреть данные и информацию других отраслей промышленности, которые можно было бы использовать в качестве справочных. Применительно к проблеме, связанной с накоплением опыта, может быть рассмотрен вопрос о получении соответствующей информации о неисправностях из статистических данных об авариях и инцидентах. В итоге подготовленные данные и необходимая информация могут включать:

- функциональные требования;
- общее описание судна;
- чертежи судна / системы;
- инструкции к оборудованию;
- бортовые эксплуатационные инструкции;
- описание задач;
- структурную схему выполнения операции;
- соответствующие данные об авариях, инцидентах и отказах.

3. Определение методов анализа риска: признаки опасности и уровни риска следует оценивать с использованием качественных или количественных методов в соответствии с объемом и характером анализируемой проблемы, имеющимися данными и информацией, а также требуемыми результатами. Анализ должен вообще быть как качественным, так и количественным, т.е. и с качественным описанием, и с количественными результатами, полученными с помощью математических методов.

4. Определение приемлемости идентифицированного риска. Она должна оцениваться в ходе FSA с тем, чтобы обеспечить основу для мер по снижению риска, поэтому критерии принятия риска должны быть четко определены. Следует отметить, что в настоящее время не существует общепринятого критерия принятия риска. Однако поскольку критерии принятия риска для FSA исследования определены и документи-

рованы, принятие решений на основе таких критериев можно проследить до последнего этапа.

При подготовке необходимой информации CCS рекомендует использовать несколько баз данных о морских происшествиях и авариях, называя IHS-Fairplay как наиболее употребительную. Также в рекомендациях приводятся названия других информационных источников с их краткой характеристикой (доступность, характер информации):

- Global Integrated Shipping Information System (GISIS) – общедоступна, статистика;
- Lloyd's Maritime Information Service (LMIS) – общедоступна, статистика;
- Marine Accident Reporting Scheme (MARS) – общедоступна, описания;
- Marine Accident Investigation Branch (MAIB) – общедоступна, описания, статистика частично;
- Marine Incident Investigation Unit (MIU) – общедоступна, описания;
- Marine Investigations Module (MINMOD) – закрыта, описания, статистика;
- Data Management International (DAMA) – общедоступна, описания, статистика частично;
- Safety and Improvement Reporting System (SAFIR) – закрыта, описания, статистика.

В дополнение к рекомендациям ММО в рекомендациях CCS пять шагов процесса FSA представлены в виде более понятного и последовательного алгоритма (рис. 3).

В остальной части методические рекомендации CCS следуют за рекомендациями ММО по применению методологии FSA. При этом не дается никаких подробных пояснений, например, методам оценки риска или их предпочтению для различных целей применения FSA. Только общие определения и пояснения. А в качестве примера в приложении приводятся выдержки из исследовательского проекта SAFEDOR, выполненного Данией в отношении оценки безопасности нефтеналивных танкеров по процедуре FSA. Исследования проводились для двухкорпусных танкеров дедвейтом более 60 000 т, таких классов, как PANAMAX, AFRAMAX, SUEZMAX, VLCC и ULCC. Интересно отметить, что в результате были отобраны по показателям снижения потенциальных потерь груза (Potential Loss of Cargo – PLC) и человеческих жизней (Potential Loss of Life – PLL) и предложены для дальнейшего принятия решения следующие меры для обеспечения безопасности этих судов:

- дублирование активного рулевого механизма;
- применение ЭКНИС;

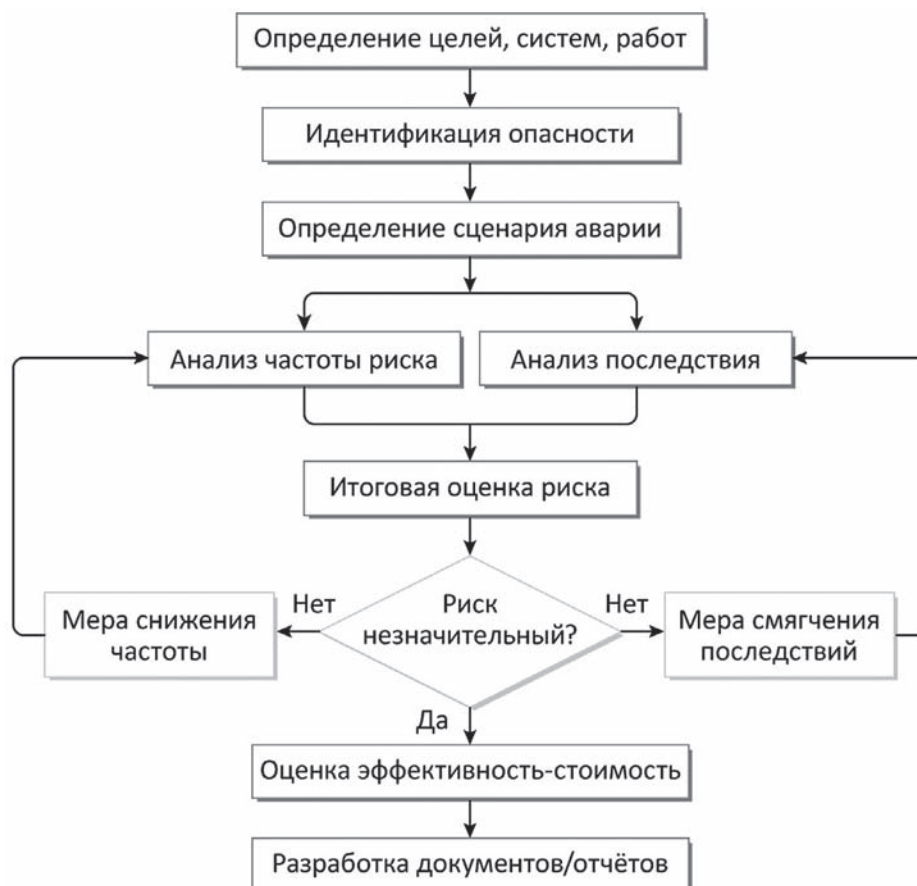


Рис. 3. Структурная схема алгоритма выполнения процесса FSA

– использование навигационного сонара.

Применение двухоболочечных топливopоводов низкого давления также рекомендовано, хотя по показателю валовой стоимости предотвращения фатальных последствий (Gross Cost of Averting Fatality – GCAV) эта мера вплотную приближается к порогу принятия – 3 млн долл., заданного в [1]. По тому же показателю не рекомендован, но признан вполне приемлемым второй аварийный выход из машинного отделения. Не рекомендованы полностью такие меры, как система помощи при швартовке с сенсорами дистанции и скорости сближения и система контроля прочности и усталости корпуса судна.

Выводы

Из анализа методологии FSA и приведенных примеров ее применения можно сделать следующие общие выводы:

1. Процесс, основанный на рекомендациях ММО по формальной оценке рисков, очень трудоемкий и достаточно длительный, требует привлечения большого числа экспертов и специалистов из разных областей знаний и практики. Это вряд ли под силу одному предприятию, например, конструкторскому бюро или предприятию-разработчику судового оборудования. Требуется дол-

госрочная совместная работа всех участников создания и эксплуатации судна в рамках единого проекта с единой общей целью.

2. Процедура FSA имеет четко определенную направленность – обеспечение нормотворчества ММО, оказания помощи в оценке новых правил безопасности на море и защиты морской среды. С этой целью она максимально формализована, вплоть до установки количественных критериев принятия мер по превентивному обеспечению безопасности судов. Попытки применить FSA для других целей, в частности, для оценкисконов на различных этапах жизненного цикла судов в интересах, например, обоснования технических решений на этапе проектирования, либо приводили к необходимости сужения области рассмотрения либо требовали существенного изменения и дополнения самой процедуры.

3. В основу первого этапа FSA – идентификации опасностей, определяющего обоснованность и направленность всех последующих действий – положено исследование исторических данных о морских авариях и происшествиях. С точки зрения ММО, опирающейся в нормотворчестве на мировой опыт морской деятельности, это обосновано и является обязательным. Трудность возникает в

случае недостатка таких исторических данных, например, для судов новых, ранее не существовавших назначений, появления новых технологий. Использование информации из других отраслей промышленности приветствуется, но требует дополнительного обоснования. Если и этого недостаточно, то требуется привлечение дополнительных экспертов, что приводит к сложностям, уже отмеченным в первом пункте выводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2. 9 April 2018.
2. Bulk Carrier Safety. Report on FSA Study on Bulk Carrier Safety. MSC 75/5/2. 12 February 2002
3. FSA – container vessels. Details of the Formal Safety Assessment. MSC 83/INF.8. 3 July 2007.
4. General Cargo Ships Safety/ IACS FSA Study – summary of results. MSC 88/INF.8. 20 September 2010.
5. Yasa A.M., Akyildiz H. Formal Safety Assessment of Offshore Support Vessels. – Istanbul Technical University, 2017.
6. Time basis Ship Safety Assessment Model for a novel ship design. MSC 93/INF.9. 11 March 2014.
7. Guidelines for Application of Formal Safety Assessment to Ships. China Classification Society. Beijing, 2015. ■

В основе обеспечения навигационной безопасности плавания (НБП) судна как элемента безопасности плавания (БП) судна в целом лежит знание координат его местоположения на заданный момент времени.

В современных условиях обсервованные координаты местав 95% случаев на судне получают при помощи глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Это оперативно, удобно и точно. Достигнуто это было благодаря тому, что огромные ресурсы предшествующих десятилетий были сконцентрированы на развитие ГНСС.

Обширный опыт использования ГНСС позволил выявить опасности их использования. Условно их можно разделить на опасности естественного и искусственного характера. Естественная опасность зависит от степени воздействия физико-географических (лесной покров, рельеф местности, строения и т.п.), погодно-климатических факторов и т.п. Искусственная опасность зависит от деструктивного радиоэлектронного воздействия (ДРЭВ), искажения или введения ложной навигационной информации в радиолнии средствами ДРЭВ, создания ими искусственных ложных радионавигационных полей [1].

Вышеупомянутые опасности использования ГНСС приводят к неполноценному обеспечению НБП, что нарушает требование Международной конвенции SOLAS [2, Гл. 5, Пр. 19.2.1.6]: «Все суда, независимо от размера, должны иметь <...> средства, пригодные для использования в любое время на протяжении всего предполагаемого рейса для установления и обновления положения судна автоматическим способом». Таким образом, ГНСС не дает полную гарантию получения на судне обсервованных координат места судна, что снижает надежность НБП.

Пути решения проблемы можно подразделить на две составляющие:

- совершенствование радионавигационных систем;
- совершенствование нерадиотехнических средств определения координат места судна.

Первая подразумевает развитие наземных радионавигационных станций и спутниковых подсистем (E-Lozan, DGPS), ГНСС, усовершенствование судовых приемоиндикаторов для спутникового сигнала. Вторая заключается в совершенствовании инерциальных средств навигации и способа определения координат места судна по небесным светилам для обеспечения НБП.

В качестве доказательства актуальности проблемы можно назвать

КОНЦЕПЦИЯ НАВИГАЦИОННОГО ПРИБОРА «ЭЛЕКТРОННЫЙ СЕКСТАН»

С.В. Козик, канд. воен. наук, доцент,

В.А. Сибилев, аспирант,

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова,

Г.О. Алцыбеев, студент,

Санкт-Петербургский государственный университет,

контакт. тел. +7 (904) 334 6872, +7 (920)150 5505, +7 (931) 531 4375

возвращение астрономической навигации в список обязательных для прохождения моряками ВМС США курсов. Как сообщает Military.com, с 2011 г. этому предмету в обязательном порядке обучаются штурманы и помощники штурманов, а с лета 2016 г. астрономическая навигация стала обязательной для старшин рулевых. С 2017 г. этот предмет начали изучать все рулевые.

Долгое время в ВМС США астрономическая навигация была предметом, не обязательным для изучения. Военные полагались на системы GPS и инерциальной навигации, надежность которых обеспечивалась дублированием. Решение вернуть в курс обязательной подготовки астрономическую навигацию военные приняли, в частности, опасаясь возможности взлома бортовых навигационных систем противником [3].

Предметом исследования является совершенствование средства навигации для определения координат места судна по небесным светилам.

Цели совершенствования:

1. Обеспечение возможности проверки работоспособности радионавигационного средства — приемоиндикатор от деструктивного воздействия третьей стороны.

2. Получение обсервованного места судна при отсутствии сигналов спутника.

3. Резервный источник информации о координатах места судна.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАВИГАЦИОННОГО СЕКСТАНА

Существующие вычислительные и измерительные средства астрономической навигации, используемые в настоящее время на судах, не отвечают современным требованиям электронной навигации (E-Navigation) [4]. К вычислительным средствам можно отнести «Морской астрономический ежегодник», выпускаемый Институтом прикладной астрономии Российской академии наук, The Nautical Almanac, выпускаемый совместно Военно-морской

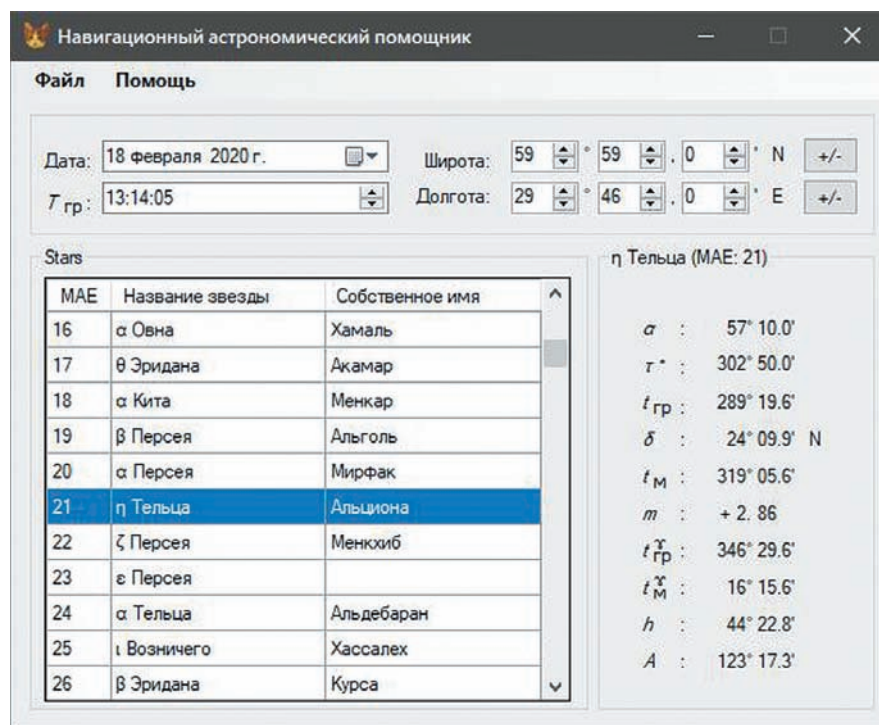


Рис. 1. Пользовательский интерфейс программы

обсерваторией США и Гидрографической службой Великобритании, Ephemerides Nautiques, выпускаемый французским Бюро долгот и др.

Выполненная в представленном исследовании цифровизация данного средства рассмотрена в работе [5], а практическим промежуточным результатом служит разработанная программа для ЭВМ «Навигационный астрономический помощник» [6], автоматизирующая вычислительные процессы при определении координат места судна по небесным светилам. Интерфейс программы представлен на рис. 1.

К измерительным средствам относятся навигационный секстан и секундомер, используемые для измерения высоты навигационных светил и моментов времени измерений.

В процессе выполнения научно-исследовательской работы были рассмотрены различные подходы к совершенствованию навигационного секстана [7–10]. В результате была предложена концепция совершенствования навигационного секстана, включающая два этапа: цифровизацию навигационного секстана и электронизацию навигационного секстана.

Первым этапом электронизации навигационного секстана является его цифровизация, которая может быть рассмотрена отдельно как промежуточный результат. Цифровизация — это усовершенствование навигационного секстана, целью которого является получение значения измеренного угла и моментов времени измерений в цифровом виде. В ходе работы был разработан навесной блок цифровизации, присоединяемый к тыльной стороне секстана в месте крепления рукояти. При этом присоединение выполняется без внесения изменений в конструктив секстана.

Функции данного устройства:

- автоматический перевод измеренной высоты в цифровой вид;
- автоматический учет моментов времени измерений;
- усреднение результатов измерений и моментов времени;
- вывод результатов измерений на цифровой дисплей.

По результатам работы в данном направлении были оформлены права на интеллектуальную собственность [11].

Преимущества использования навигационного секстана с блоком цифровизации: сокращение числа операторов во время наблюдения до одного; автоматизация фиксации измеренной высоты навигационного светила.

Вторым этапом совершенствования навигационного секстана явля-

ется непосредственно его электронизация — усовершенствование цифрового навигационного секстана. Цели электронизации: автоматизация навигационных задач, сопутствующих получению обсервованных координат места судна; разработка интуитивно понятного пользовательского интерфейса для управления и контроля устройством.

Для достижения этих целей были реализованы следующие задачи:

- сопряжение электронного секстана с внешним компьютерным устройством;
- оптимальное распределение вычислительных мощностей;
- разработка математических моделей вычисления обсервованных координат;
- разработка математических моделей движения навигационных светил на небесной сфере, необходимых для расчета эфемерид;
- разработка графического интерфейса.

Электронизация, как и цифровизация, осуществляется при помощи навесного блока электронизации, который присоединяется к навигационному секстану таким же образом, как и блок цифровизации, но содержит ручку для удержания устройства. Дисплей в блоке электронизации больше, чем в блоке цифровизации, и расположен удобнее — напротив лица наблюдателя.

Функции устройства:

- автоматический перевод измеренной высоты в цифровой вид;
- автоматический учет моментов времени измерений;
- усреднение результатов измерений и моментов времени;
- вывод результатов измерений на цифровой дисплей;
- автоматическое вычисление эфемерид навигационных светил, способами, описанными в работах [5, 12, 13].
- автоматическое вычисление географических координат места судна;
- возможность выводить результаты измерений на стороннее устройство.

Пользуясь описанной концепцией, был представлен навигационный секстан с навесным блоком электронизации образующий прибор «электронный секстан». Внешний вид устройства представлен на рис. 2.

Преимущества использования навигационного секстана с навесным блоком электронизации: уменьшение времени получения обсервованных координат места наблюдателя; повышения точности обсервованных координат места наблюдателя.

При использовании цифрового или электронного секстана процесс качественно изменяется. Оператор не отрывается от зрительной трубы секстана для регистрации измеренных величин. Условия наблюдения облегчаются и, следовательно, снижается



Рис. 2. Электронный секстан

погрешность измерения. В случае непрерывного измерения:

- оператор точнее различает границы видимого горизонта;
- точнее определяет место схождения светила с горизонтом;
- исключается человеческий фактор при снятии отсчетов с секстана, секундомера и часов.

Возможности оператора при непрерывном процессе наблюдений возрастают из-за более полной зрительной и психологической адаптации. При работе с обычным секстаном глаза оператора не полностью адаптируются при переходе от операций совмещения объектов малой яркости, какими являются светило и видимый горизонт. При темновой адаптации время переходного процесса составляет примерно 30 минут. Известно, что время наблюдений высот звезд также в среднем составляет 20–30 минут, в связи с чем оператор не должен отрываться от зрительной трубы секстана, чтобы получить точные измерения.

При переходе к наблюдению высот каждого последующего светила оператору необходимо выбрать его на дисплее. В этом случае очень важно выбрать оптимальный уровень яркости дисплея для того, чтобы добиться наименьшего яркостного уровня переработки. Этого можно достичь, если дисплей, на котором отражаются обсервованные координаты светил, разместить на блоке электронизации и снабдить регулятором яркости.

Специфичный коррелятор операции совмещения светила с видимым горизонтом – своеобразная реакция слежения, достаточно тонкая зрительно-двигательная операция. Ее можно отнести к психологической адаптации наблюдателя. Появляется она только при непрерывных наблюдениях, какими являются наблюдения с использованием электронного секстана. Поскольку электронного секстана на судах пока нет, этот вопрос требует изучения. Сам факт подобной реакции замечен при анализе поведения оператора космического корабля [14].

ВЫВОДЫ

Согласно проведенным экспериментам, электронный секстан:

- позволяет увеличить скорость измерения высот светил примерно в 6 раз;
- позволяет уменьшить среднюю квадратическую погрешность измеренной высоты светила;
- упрощает обнаружение грубых промахов.

В результате теоретических исследований и экспериментальных работ получены следующие результаты:

1. Разработана концепция цифрового и электронного секстана.
2. Предлагаемое усовершенствование позволяет сократить количество операторов до одного, уменьшить зрительную адаптацию оператора, сократить временные затраты на получение обсервованных координат места судна.
3. Цифровизации и электронизации не затрагивает конструктивную целостность секстана и его оптическую часть, что позволяет сохранить традиционные приемы работы с этим прибором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якушенко С. А., Дворников С. В. Модель угроз навигационной безопасности пользователей спутниковой радионавигационной системы. – Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сб. ст. XXII Международ. науч. конференции. – В 2-х ч. – 2019. – С. 199–206.
2. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 г. (текст, измененный Протоколом 1988 г. к ней, с поправками). – СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2008. – 984 с.
3. N+1: ВМС США вернулись к астрономической навигации – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2016/01/30/navi> (Дата обращения 17.07.2020)
4. International Maritime Organization: E-navigation. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Pages/eNavigation.aspx> (Дата обращения 18.07.2020)
5. Козик С. В., Денисова А. А., Алцыбеев Г. О. Математическая модель движения навигационных светил на небесной сфере // Вестник ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – № 1. – С. 35–45.
6. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ 2020614451. РФ. Навигационный астрономический помощник / Г. О. Алцыбеев, С. В. Козик, В. А. Сибилев, А. А. Денисова, М. А. Филиппов; правообладатель ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – № 2020613416; заявл. 27.03.2020; зарегистрир. 09.04.2020; опубл. 09.04.2020 // Бюл. № 4. – 1 с.
7. Сибилев В. А. Оптимальный способ подключения датчика угла к навигационному секстану. – Мат–лы X межвузов. конф. аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России», 22 мая 2019 года. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2019. – С. 69–72.
8. Сибилев В. А. Разработка концепции электронного навигационного секстана. – Мат–лы IX межвузов. науч.-практ. конф. аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России», 23 мая 2018 г. – СПб.: Изд-во ГУМРФ имени адм. С. О. Макарова, 2018. – С. 75–80.
9. Баженов Д. А., Богатыренков С. С. Использование потенциометра в качестве датчика угла поворота навигационного секстана. – XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых). Мат–лы Международ. молодежной науч. конф., – В 6 т. – 2019. – С. 377–382.
10. Баженов Д. А., Козик С. В. Выбор датчика для цифровизации навигационного секстана. – Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: Сб.ст. XXIV Международ. науч.-практ. конф. – В 3 ч. – 2019. – С. 12–16.
11. Патент 194783РФ, МПК G 01 C 1/08 Цифровой секстан / В. А. Сибилев, С. В. Козик, Г. О. Алцыбеев; патентообладатель ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова – № 2019132933; заявл. 17.10.2019; опубл. 23.12.2019 // Бюл. № 36. – 7 с.
12. Алцыбеев Г. О. Математические методы получения астронавигационных параметров. – В кн.: Современное развитие России через призму научных исследований, 2018. – С. 30–34.
13. Алцыбеев Г. О., Юрченко А. Р. Применение численных теорий движения планет в задачах мореходной астрономии // Вестник современных исследований, 2019. – № 1.2 (28). – С. 5–7.
14. Кононов Е. В. Разработка, исследование точности и применение автоматизированного навигационного секстана в практике судовождения: дисс. канд. техн. наук: 05.22.16. – Л., 1981. – 178 с. ■

Учитывая необходимость решения проблем подъема ЗО «Крыловский государственный научный центр» в рамках выполнения работ по первому технологическому направлению «Освоение шельфа» Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 гг.» разработал новое универсальное средство судоподъема – судно пр. 23570 (рис. 8) для работы с ЗО различного типа [15].

Характеристики судна: ледовый класс перспективного проекта – Arc4; корпус – катамаранного типа. Длина – 137 м, ширина – 36 м, осадка – 7,5 м. Дедвейт при осадке по КВЛ – 10 тыс. т. Грузоподъемное устройство группового действия способно поднять объект массой до 14 тыс. т. Оно создается на базе 56 грузоподъемных механизмов единичной грузоподъемностью 250 т. Грузозахватное устройство состоит из 14 модулей единичной грузоподъемностью 1000 т (рис. 9).

Следует отметить, что «Крыловский государственный научный центр» имеет достаточный опыт исследований по обеспечению безопасности подъема и буксировки под корпусом судна ЗО при создании спасательного судоподъемного судна пр. 530 «Карпаты» (рис. 10).

Судно пр.530 предназначалось для целого ряда задач, в том числе и для подъема ЗО массой до 800 т с глубин до 300 м при помощи главного судового подъемного устройства (ГСПУ), состоящего из четырех однотипных подъемных устройств (восьминитиевых гиней) номинальной грузоподъемностью по 200 т каждое, расположенных в специальных шахтах, по два в кормовой части судна на крамболах и в средней части в диаметральной плоскости судна. ГСПУ позволяет выполнять работы бесступенчатым методом при состоянии моря до 4 баллов включительно. С его помощью можно поднять аварийную ПЛ, доставить ее в подвешенном под корпусом состоянии на мелководье, положить на грунт, поднять с помощью крамбольных гиней оконечность ПЛ до появления входного люка над поверхностью воды и вывести через него экипаж.

В 1959 г. Западным проектно-конструкторским бюро был разработан технический проект этого судна с привлечением ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. На стадии проектирования его специалистами были проведены исследования по остойчивости судна при обрыве тросов во время подъема ЗО, а также выполнен анализ различных систем набора корпуса и сделаны расчеты прочности при различных случаях нагрузки на крамбол и грузовые устройства в шахтах. По результатам этих исследований было решено для обеспечения прочности корпуса, а также остойчивости судна при

АКТУАЛЬНЫЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДЪЕМА ЗАТОНУВШИХ ОБЪЕКТОВ

ЧАСТЬ 2*

В.Н.Илюхин, д-р техн. наук, проф.,
председатель секции «Поисково-спасательная техника и технологии»
Российского НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова,
контакт. тел. (812) 927 8501



Рис. 8. Макет судна пр. 23570

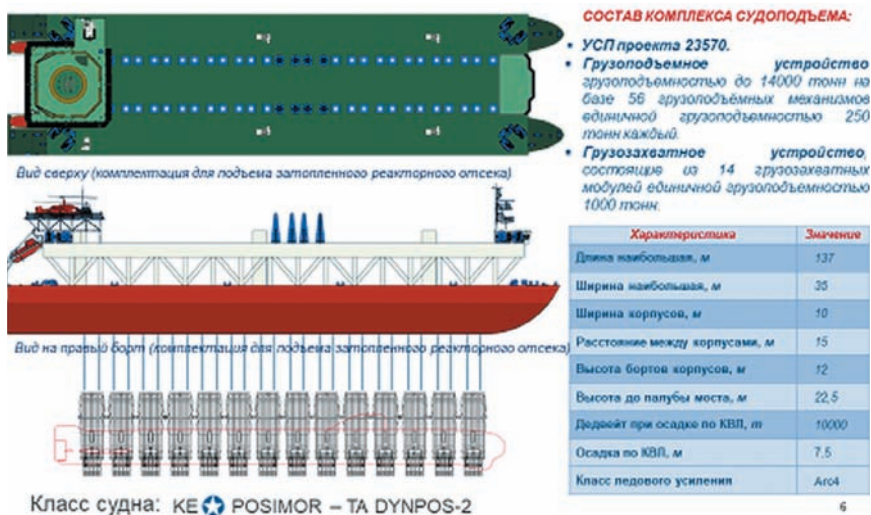


Рис. 9. Универсальное судно подъема ЗО – судно пр. 23570



Рис. 10. Спасательное судоподъемное судно пр. 530

* Окончание. Начало см. «Морской вестник» №3 (75)

аварийных нагрузках в каждом из четырех подъемных устройств предусмотреть «слабое звено» с разрывным усилием 470–480 тс. Кроме того, в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова были проведены модельные испытания по обеспечению безопасности подъема и буксировки аварийной ПЛ под корпусом судна. Результаты модельных испытаний показали, что при определенном волнении моря нагрузка на гинья ГСПУ в пять раз превышает номинальные значения. Проектантом судна совместно с ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова и другими организациями была разработана технология работ по подъему и буксировке аварийной ПЛ [18]. Правильность выбранных проектных решений была подтверждена, когда в составе экспедиции особого назначения спасательное судоподъемное судно пр. 530 «Карпаты» в июле 1969 г. в Баренцевом море осуществило подъем затонувшей ПЛ С-80 с глубины 200 м. Совместными усилиями всех четырех гиней эта ПЛ была поднята с грунта до глубины 110 м, отбуксирована на 70 миль в прибрежный район, введена в закрытую бухту Терiberская, где при комбинированном использовании гиней и стальных судоподъемных понтонов поднята на поверхность.

В судне пр. 23570 реализован целый ряд новых технических решений в области судоподъема подводных объектов. Следует отметить, что съемный комплекс судоподъемных средств основан на применении шаговых домкратов. Судно создается также для взаимодействия с существующей инфраструктурой подъема ЗО на Кольском полуострове. Оно будет способно поднимать различные объекты со дна моря, в том числе корабли, подводные лодки и другую технику, создающую угрозу для морской среды. Также его можно использовать для освоения нефтегазовых ресурсов на шельфе (транспортные и подводно-технические работы – например, монтаж, ревизия и ремонт подводных трубопроводов), подъем плавдока ПД-50 и ряда затонувших АПЛ. Судно пр. 23570 также сможет устанавливать на морское дно и снимать с него различные подводные объекты, принимать участие в ПСО кораблей и судов ВМФ.

Создание российской комплексной технологии и технических средств поиска, идентификации, подъема радиоактивных потенциально-опасных объектов в Арктике (АПЛ «К-27» и «Б-159», сборки судовых ядерных реакторов и контейнеров с твердыми радиоактивными отходами) и передачи их на утилизацию, транспортировки морских объектов в интересах различных ведомств, а также подводно-технических работ по обустройству и эксплуатации мес-

торождений минерального и органического сырья на континентальном шельфе арктических морей РФ в современных условиях позволит существенно снизить зависимость от иностранных технологий при подъеме ЗО.

В настоящее время на дне арктических морей находятся 7 объектов с отработавшим ядерным топливом, 19 судов с твердыми радиоактивными отходами, 735 крупных радиоактивных конструкций и блоков, тысячи контейнеров с твердыми радиоактивными отходами. По мнению большинства российских и зарубежных экспертов, затопленная АПЛ «К-27», как и затонувшая АПЛ «Б-159», относятся к объектам, подлежащим обязательному и первоочередному подъему и утилизации.

С учетом новых технических возможностей подъема опасных ЗО с постройкой судна пр. 23570 можно рассчитывать на практические работы по очистке Арктики от потенциально опасных подводных объектов, и в первую очередь работы по подъему АПЛ «К-27». Успех работ зависит от полноты выполнения всего комплекса подготовительных мероприятий и, в частности, от получения данных о состоянии корпусных конструкций АПЛ «К-27» и защитных барьеров ее реакторной установки [16].

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОМПЛЕКСНОМУ РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ПОДЪЕМА ЗО

Проблемы подъема ЗО на всех акваториях, в том числе и в Арктике, носят комплексный характер. Их решение будет способствовать:

- резкому сокращению экологических проблем;
- увеличению загрузки судостроительных предприятий при реализации утилизации судов;
- увеличению загрузки металлургических предприятий продуктами утилизации;
- повышению безопасности судоходства за счет очистки фарватеров и подходов к портам.
- улучшению условий для прибрежного рыболовства и туризма.

Все это говорит о том, что решение рассматриваемой проблемы нуждается в государственной поддержке [17]. Она необходима не только в форме финансирования мероприятий по очистке водных объектов за счет средств бюджета, но также в части усиления роли государства в регулировании водных отношений.

Комплексный характер данной проблемы, наличие многих факторов, влияющих на ее эффективное решение, приводит к необходимости реализации на государственном уровне программы первоочередных мероприятий по очистке морей, акваторий портов и рек.

Программный подход позволит финансировать мероприятия за счет разных источников; достичь максимального экологического и водохозяйственного эффекта.

В рамках Комплексной программы по подъему ЗО, морских и речных судов и их утилизации необходимо решить следующие задачи:

- разработать предложения по нормативно-правовому обеспечению этой деятельности, в том числе и на законодательном уровне;
- провести анализ наличия по бассейнам выведенных из эксплуатации, брошенных, затопленных морских и речных судов РФ;
- создать современные технические средства подъема ЗО (в настоящее время судоподъемные работы проводятся редко, а большинство технических средств, применяемых на судоподъемных работах, за редким исключением, было создано более 30 лет назад, большая часть из них морально и физически устарела);
- осуществить строительство на отечественных судовых поверхностях технических средств судоподъема, таких, как плавкраны, судоподъемные понтоны, суда пр. 23570 и др., оснащенные мощными грузоподъемными устройствами;
- создать базу и технические средства утилизации поднятых ЗО, транспортировки разделанных судовых металлоконструкций к местам переплавки;
- осуществлять мероприятия по подъему затонувших морских, речных и других плавсредств, их безопасной транспортировке и утилизации;
- организовать скоординированный плановый процесс утилизации выведенных из эксплуатации, брошенных, затопленных морских, речных судов РФ.

Для подготовки и реализации указанной совокупности взаимосвязанных мероприятий Комплексной программы по подъему ЗО, морских и речных судов и их утилизации учитывая межведомственный характер (а в ряде случаев и международный характер) указанных проблем и отсутствие в стране органа, предназначенного для координации действий при их решении, представляется целесообразным создание Координационного центра утилизации судов гражданского и военного флотов. Именно отсутствие такого органа не позволило выполнить в свое время распоряжение Совета Министров СССР от 29 декабря 1988 г. № 2614 р, которым предписывалось всем министерствам и ведомствам очистить в 1989–199 гг. морское побережье от списанных и брошенных судов. На данный центр могут быть возложены также:

- ведение реестра выведенных из эксплуатации, брошенных, затопленных морских, речных судов и других плавсредств Российской Федерации;
- координация мероприятий по подъему ЗО для их безопасной транспортировки и утилизации в том числе и в Арктике;
- разработка перспективных программ и планов подъема и утилизации ЗО, координации и контроля их исполнения;
- сертификация предприятий, утилизирующих ЗО, в соответствии с требованиями, установленными ГОСТ Р ИСО 30000–2013, по безопасной и экологически рациональной утилизации судов (ЕС провела сертификацию компаний, претендующих на проведение работ по утилизации европейских судов, в ключив их в список «European List»);
- организация взаимодействия с судоподъемными компаниями, в т. ч. с Морской спасательной службой Росморречфлота;
- координация работ по созданию современных технических средств судоподъема и судоразделки.

С учетом выше изложенного, МЧС России совместно с ВМФ и Морспасслужбой Росморречфлота целесообразно подготовить проект Распоряжения Правительства РФ о внесении изменений и дополнений в ФЦП «Ликвидация накопленного экологического ущерба на 2014–2025 годы» в части разработки Комплексной программы по подъему ЗО, морских и речных судов и их утилизации и создания Координационного центра утилизации судов гражданского и военного флотов.

В заключение следует отметить, что уже после выхода первой части данной статьи председателем Правительства РФ дано поручение профильным министерствам ввести новые обязательства для собственников судов, затонувших в пределах российских внутренних водных путей, в котором, в частности, сказано: «Минтрансу России, Минприроды России, Минфину России, Минюсту России с учетом ранее данных поручений Правительства РФ внести проекты правовых актов, предусматривающих: обязательство собственников затонувших судов в трехмесячный срок поднять затонувшее судно за собственный счет; признание по истечении данного периода судна бесхозным, осуществление его подъема уполномоченными органами с последующим возмещением расходов за счет собственника такого имущества» [19].

Таким образом, на собственника затонувших судов возлагается финансо-

вая ответственность за несвоевременный подъем транспортного средства, а профильным ведомствам поручено внести механизм финансирования подъема и утилизации затонувших судов за счет субсидий, предоставляемых на конкурсной основе.

Поручение правительства обязывает Минтранс и Минфин России с участием Минприроды, Минобороны, Росимущества и Роскосмоса, а также органов исполнительной власти Дальневосточного федерального округа представить в Правительство РФ проект дорожной карты подъема и утилизации затонувших судов в Дальневосточной акватории с определением источников финансирования этих работ и сроков их исполнения.

Важным является и то, что с целью решения проблем удаления ЗО Правительство РФ в августе 2020 г. подготовило проект федерального закона, в случае принятия которого Россия присоединится к Найробийской международной конвенции 2007 г. об удалении затонувших судов.

Найробийская конвенция по удалению затонувших судов вступила в силу 14 апреля 2015 г. и распространяется на все суда (включая рыболовные суда и коммерческие яхты) валовой вместимостью 300 т и выше. Проект федерального закона предусматривает применение универсального механизма страхования, который позволит профинансировать подъем затонувших судов в российских внутренних водах. Особенностью его является распространение режима морской акватории на ряд устьевых портов, таких как Ростов-на-Дону, Астрахань и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 22.0.09–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Чрезвычайные ситуации на акваториях. Термины и определения.
2. Илюхин В. Н. Состояние проблемы и перспективы развития судоподъемного дела в России // Информ. сб. УПАСР ВМФ. – 1995. – Вып. 7 (43). – С. 81–86.
3. Кочергина И. Н., Д. Полянский. Подводные потенциально опасные объекты // «Нептун. Водолазный проект». – 2015. – № 5. – С. 30–34.
4. Илюхин В. Н., Клячко Л. М., Рабинович Ю. И. Системный подход к очистке внутренних акваторий России // Судостроение. – 2017. – № 6. – С. 42–47.
5. Саркисов А. А., Сивинцев Ю. В., Высоцкий В. Л. и др. Радиоэкологические последствия и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей. – М.: ИБРАЭ РАН, 2006. – 76 с.; 2-е изд. – 2009. – 81 с.
6. Вальдман Н. А., Викторов С. В., Илюхин В. Н. и др. Влияние затонувших судов на экологическую безопасность прибрежных акваторий и береговых зон Рос-

сии // Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2019. – Т. 4. – № 390. – С. 231–244.

7. Илюхин В. Н., Клячко Л. М., Рабинович Ю. И. Утилизация морских и речных судов. – [Электрон. ресурс] / Сайт «Морская политика России». – 2017. – № 23. – С. 66–69.
8. Распоряжение Правительства РФ от 04.12.2014 г. № 2462-р «Об утверждении комплекса первоочередных мероприятий, направленных на ликвидацию последствий загрязнения и иного негативного воздействия на окружающую среду в результате экономической и иной деятельности».
9. Скариндов А. С. Российское законодательство о подъеме затонувшего имущества // Вопросы российского и международного права. – 2017. – Т. 7. – № 9А. – С. 183–198.
10. Ст. 33. Реестры судов Российской Федерации // Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации. – URL: <http://ktmrf.ru/glava-3/st-33-ktm-rf/> (дата обращения 25.01.2020).
11. Постановление Правительства РФ от 21.02.2002 года №124 «О декларировании безопасности подводных потенциально опасных объектов, находящихся во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации».
12. Елового Ю. Н. Концепция глубоководного подъема затонувших объектов. – Информационный сборник УПАСР ВМФ. – Вып. 7(43). 1995. – С. 87–90.
13. Голубев В. Г., Илюхин В. Н., Максимов В. И. и др. Спасатели Военно-Морского Флота. – М.: Воениздат. – 1996. – С. 126–127.
14. Краморенко А. В., Асминин В. В., Чумаров Р. И. и др. Технология подъема затопленных в Арктике ядерно и радиационно опасных объектов, основанная на применении гидравлических тросовых домкратов // Арктика: экология и экономика. – 2018. – № 1 (29). – С. 118–124.
15. Разработка технического проекта комплексной технологии и технических средств для поиска, идентификации, подъема и передачи на утилизацию подводных потенциально опасных объектов ОКР «Технология АТП». – URL: <http://rgmt.spb.ru/rezultataty.html> (дата обращения 13.03.2020).
16. Саркисов А. А., Высоцкий В. Л., Сивинцев Ю. В. и др. Результаты начального этапа радиационного мониторинга района затопления АПЛ «К-159» (август–сентябрь) // Изв. Академии наук. Сер.: Энергетика. – 2004. – Вып. 6. – С. 102–108.
17. Белов П. Для подъема затопленных судов нужна госпрограмма. – [Электрон. ресурс] / Сайт «РЖД-Партнер». URL: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/news/dlya-podemazatoplennykh-sudov-nuzhnagosprogramma>.
18. Баскаков И. Я., Мангаев Г. А., Портных В. И. ЦМКБ «Алмаз» флоту Отечества. – СПб.: Лекто. – 2008. – С. 317–322.
19. Поднимать затонувшие корабли обяжут их владельцы – URL: <https://www.popmech.ru/weapon/news-614713-podnimat-zatonuvshie-korabli-obyazhut-ih-vladelcev/> (дата обращения 13.10.2020). ■

Руководство страны уделяет большое внимание и оказывает серьезную поддержку разработке и внедрению современных технологий. Российское научно-техническое общество судостроителей им. акад. А.Н. Крылова с 2014 г. ежегодно проводит Всероссийский отраслевой научно-технический конкурс «Молодой кораблестроитель – инженер года».



В конкурсе принимают участие специалисты в возрасте до 32 лет из НИИ, КБ, заводов судостроительной и смежных отраслей, участвующих в проектировании, постройке и ремонте кораблей и судов. Его цель – повышение творческой активности молодых специалистов судостроительной отрасли и квалификации при решении новых сложных задач, возникающих при реализации госбронзаказа, государственных и федеральных целевых программ и инициативных разработок в целях формирования научно-технического задела на перспективу. Участие в конкурсе способствует повышению профессиональных, личностных компетенций молодых специалистов, дает им понимание многогранности и глобальности судостроительной отрасли. Тематика конкурсных работ включает ключевые вопросы инновационных технологий в судостроении, машиностроении и приборостроении, системах управления, информационных технологиях и 3D моделировании.

В ноябре 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 Объединенной судостроительной корпорации А.Л. Рахманова, руководства госкорпорации «Ростех», в которых отмечено, что большие надежды и высокая ответственность перед будущими поколениями кораблей возлагается сегодня на молодых специалистов. Им предстоит решать задачи прорывного, инновационного развития отрасли.

А.Л. Рахманов в своем приветствии отметил: «Государство оказывает серьезную поддержку разработке и внедрению современных технологий, ведь в этом – залог опережающего развития отрасли. Мне приятно, что вклад молодых кораб-

ИТОГИ VI ВСЕРОССИЙСКОГО ОТРАСЛЕВОГО КОНКУРСА РОССИЙСКОГО НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ ИМ. АКАД. А.Н. КРЫЛОВА «МОЛОДОЙ КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЬ – ИНЖЕНЕР ГОДА 2020»

Б.А. Барбанель, канд. техн. наук, академик РАЕН, вице-президент
РосНТО им. акад. А.Н. Крылова

лестроителей в вашем лице в обеспечение инновационного развития судостроения не остается незамеченным. Своими неординарными решениями и технологическим новаторством вы продемонстрировали лучшие качества, присущие отечественной инженерной школе.



Н. С. Забавичев



Д.А. Полянская



И. С. Онищенко



А. С. Зорин

Чтобы идти в ногу со временем, нужно смотреть за горизонт, не бояться решений за пределами сегодняшних производственных возможностей. Что сегодня кажется невозможным – завтра будет неизбежным.

Новые технологии позволяют эффективно реагировать на вызовы времени и самим определять тренды в отечественном судостроении.

Конкурс – это возможность интересного обмена мнениями и продуктивных дискуссий, в результате которых могут появиться перспективные проекты, которые общими усилиями будут воплощены в жизнь. Неважно на каком предприятии и где вы работаете – мы делаем одно большое общее дело. Конкурс показал, что вы – люди дела, способные изменить облик судостроительной отрасли. Поздравляю с высокими результатами, желаю ни в коем случае не останавливаться на достигнутом».

Лауреатами первой премии стали:
Ф. Е. Мамонтов – инженер ФГУП «Крыловский ГНЦ», автор работы «Исследование гидродинамики водометной движительной системы с побортным забором воды для применения на перспективных судах повышенной мореходности с дискретно-переменной килеватостью днища»;

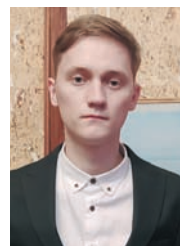
Д. В. Костыгов – научный сотрудник АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», автор работы «Энергоэффективная и отказоустойчивая вычислительная система на кристалле»;

Н. С. Забавичев – инженер 1-й категории ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» им. И.В. Горынина – НИЦ «Курчатовский институт», автор работы «Сопротивление возникновению коррозионно-усталостного разрушения в сварных соединениях высокопрочных низкоуглеродных сталей».

Лауреаты второй премии:

А. В. Дятлев – инженер-конструктор 1-й категории АО «ПО «Севмаш», автор работы «Контроль круговой формы основного корпуса АПЛ при помощи лазерного сканирования»;

Г. В. Титов – инженер АО «СПМБМ «Малахит», автор работы «Численное моделирование статических и динамических



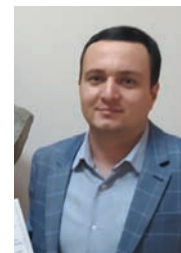
М.А. Баранов



Я. Ю. Соловьева



А.А. Малец



А.Р. Санжапов

ческих параметров прочности и вибрации внутрикорпусных конструкций в эксплуатационных условиях»;

А. С. Зорин – инженер 2-й категории АО «ЦМКБ «Рубин», автор работы «Численное моделирование ударной прочности корпусов подводных лодок».

Лауреаты третьей премии:

А. А. Мудрова – инженер-программист 2-й категории АО «Концерн «НПО «Аврора», автор работы «Информационная безопасность в подводных беспроводных сенсорных сетях»;

П. С. Мосин – инженер-конструктор 2-й категории ГНЦ РФ АО «ЦТСС», автор работы «Способ и устройство выпрямления и зачехловки некондиционных (искривленных) отработавших стержней системы управления и защиты реактора»;

Д. С. Сверчков – инженер-программист 2-й категории ЗАО «ЦНИИ СМ», автор работы «Установка на грунт и горизонтирование ПБК»;

М. А. Баранов – инженер-конструктор ООО «Винета», автор работы «Применение композитных материалов при проектировании тонкостенных изделий на примере инерционного сепаратора».

Поощрительной премией удостоены:

И. В. Николаев – канд техн. наук, ин-

женер-конструктор 2-й категории АО «51 ЦКТИС»;

Я. Ю. Соловьева – инженер-конструктор 2-й категории Головного филиала «НПО «Винт» АО «ЦС «Звездочка»;

И. С. Онищенко – инженер 1-й категории АО «ЦНИИМФ»;

А. А. Малец – инженер-конструктор 3-й категории АО «ЦМКБ «Алмаз»;

А. Р. Санжапов – инженер-инспектор Астраханского филиала ФАУ «Российский морской регистр судоходства»;

Д. А. Полянская – инженер-конструктор АО Адмиралтейские верфи»;

А. С. Попова – инженер-исследователь АО «НИИПТБ «Онега»;

А. С. Вартамян – инженер-конструктор 2-й категории АО «Армалит»;

Я. П. Скобликов – магистрант ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет».

Рецензировали конкурсные работы ведущие ученые и специалисты научных секций НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова: член-корреспондент РАН Л. И. Чубраева, д-р техн. наук, профессор В. С. Никитин, д-р техн. наук, профессор В. Н. Половинкин, д-р техн. наук профессор М. А. Кутейников, д-р техн. наук А. В. Анисимов, канд. техн. наук,

ст. науч. сотрудник А. З. Багерман, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник Н. А. Вальдман и др. Экспертами было отмечено, что большинство работ отличается практической направленностью и глубокой проработкой поставленных задач, подкреплены базовыми научными знаниями. Большинство работ имеют реальные перспективы для их успешного внедрения.

Некоторые работы предварительно были представлены на научно-технических конференциях предприятий отрасли: ФГУП «Крыловский ГНЦ», АО «Концерн «НПО «Аврора», АО «СПБМ «Малахит», АО «ЦКБМТ «Рубин», АО «Концерн «Электроприбор», ГНЦ РФ АО «ЦТСС», АО «ЦМКБ «Алмаз», ЗАО «ЦНИИ СМ» и др. Ряд работ на конкурсы поступают от базовых кафедр, действующих на ведущих предприятиях нашей отрасли. Значительная часть конкурсантов подкрепила свои конкурсные работы печатными работами, патентами на изобретения и свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

Результаты конкурса будут проанализированы с привлечением председателей Советов молодых специалистов предприятий отрасли и учтены при разработке Положения о конкурсе «Молодой кораблестроитель – Инженер года 2021».

2 октября 2020 г. скоропостижно скончался первый вице-президент Научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова.

Родился Леонид Александрович в Ленинграде 23 сентября 1938 г. В 1962 г. окончил Ленинградский кораблестроительный институт по специальности «инженер судовых силовых установок». Был направлен на завод им. Климova технологом в цех (п. Шувалово) по сборке вертолетных и ракетных двигателей. Через три года перешел в КБ завода, а еще через два года переведен на Кировский завод в танковое конструкторское бюро ведущим инженером.

В 1971 г. поступил на работу в только что образованный ЦНИИ судового машиностроения на базе ЦКБ «Пролетарского завода», где работал до 2002 г. Удостоен звания «Заслуженный Пролетарец». В институте работал в должностях ведущего инженера, начальника сектора, начальника отдела надежности и стандартизации качества, ученого секретаря. В 1986 г. защитил кандидатскую диссертацию по надежности теплообменных аппаратов АПЛ «Комсомолец».

Он – автор 30 научно-технических трудов, в том числе 8 книг, выпущенных в издательстве «Судостроение», по надежности и качеству судового оборудования.

С 1982 по 1988 г. вел активную международную работу с предприятиями

в Болгарии и ГДР по вопросам надежности судового оборудования. Вместе с руководством «Пролетарского завода» организовал открытие в 1992 г. отделения «Судостроение» в Санкт-Петербургской инженерной академии, рекомендовал туда для преподавания руководителей судостроительных предприятий и генеральных конструкторов.

Л. А. Промыслову было присвоено почетное звание «Заслуженный машиностроитель России». Он награжден медалью «300 лет Российскому флоту», ведомственными орденами и ме-

далями Морского Собрания, Союза НИО, Санкт-Петербургской инженерной академии и др. С 2002 г. являлся первым вице-президентом Российского и Международного научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. Л. А. Промыслов успешно осуществлял руководство его деятельностью, в том числе организацией съездов, пленумов, президиумов НТО, формировал ежегодные тематические планы, координировал работу научно-технических секций НТО, тесно сотрудничал с журналом «Морской вестник», будучи членом его редколлегии.

Леонид Александрович пользовался заслуженным авторитетом у коллективов заводов, проектных бюро и институтов отрасли, всегда занимал активную жизненную позицию, с неиссякаемой энергией работал на благо развития судостроения и флота России.

Память о нашем коллеге, друге и прекрасном человеке навсегда останется в наших сердцах и делах!

Центральное Правление НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, редсовет, редакционная коллегия и редакция журнала «Морской вестник» выражают соболезнование семье и друзьям Леонида Александровича Промыслова. ■

ПАМЯТИ Л. А. ПРОМЫСЛОВА

23.09.1938 – 02.10.2020



24-26 июня 1770 г. в Хиосском проливе и в турецкой бухте Чесме (Сизме, Çeşme) произошло крупное морское сражение: эскадры Балтийского флота под командованием генерал-адъютанта Екатерины II графа Алексея Григорьевича Орлова разбили превосходивший по численности турецкий флот. Девять российских кораблей с 608 орудиями разгромили османский флот с общим числом орудий 1430 и уничтожили 15 линейных кораблей, из них шесть от 80- до 90-пушек, и шесть крупных фрегатов; один корабль был захвачен в плен; всего турки потеряли около ста судов. По данным турецких историков, из османского флота, стоявшего под Чесмой, уцелел один линейный корабль с 64 пушками, несколько галер и 20 мелких гребных судов. Погибло более 10 тысяч человек личного состава, спаслось четыре тысячи, среди них – адмирал Чезаирлы Гасан-паша и капудан-паша (главнокомандующий флотом) Хюсаметтин.* Столь колоссальные потери турок в решающем сражении оставались беспрецедентными на протяжении всего XVIII в., и те события стали трагедией не только для флота султана Мустафы III, но и всего Османского государства. Турецкие исследователи характеризуют Чесменское сражение как важнейшее событие в истории обеих держав – России и Турции. «Чесма обернулась трагическими последствиями для Османской империи и по той причине, что дала мощный импульс дальнейшему движению сопротивления в ее различных географических районах – в Ливане, в Сирии и в Египте, – пишут они. А русские войска, вступив в 1771 г. в Крым, положили тем самым конец Оттоманской гегемонии в Крыму».**

Уничтожение главных сил турецкого флота под Чесмой стало значимым событием в государственной и политической жизни России первой половины царствования Екатерины II с важными стратегическими и дипломатическими последствиями. Турция лишилась главных морских сил в Эгейском море, а российский флот получил там благоприятный оперативный режим и фактически стал обладать морем. После создания маневренной базы в порту Ауза на греческом о. Парос, российское командование организовало регулярную крейсерскую службу линейных кораблей и фрегатов и установило блокаду Дарданелл. Малочисленные отряды судов, действуя малыми тактическими группами, контролировали обширные районы, нарушали коммуникации противника, пресекали его торговлю и наносили значительный экономический урон. Морские и сухопутные десантные войска при огневой поддержке с моря совершали рискованные операции, уничтожали турецкие транспортные конвои, склады, арсеналы, магазины с хлебом и запасами, сжигали стоявшие на стапелях суда, захватывали военные трофеи. Чесменская победа в совокупности с успешными сухопутными действиями армии П.А. Румянцева на Дунае вынудили султана Мустафу III изменить планы операций на суше и на море и перебросить часть сил с Черноморского театра военных действий в Средиземное море.

* Ali Rıza İşıkeç, Oğuz Aydemir. 1768 – 1774 Ottoman–Russian Wars. Battle of Çeşme. 1770. İstanbul, 2010, P. 219 – 220, 223.

** Ali Rıza İşıkeç, Oğuz Aydemir. Op. Sit., P. 278 – 279.

ПАМЯТИ ПОГИБШИХ МОРЯКОВ: ЦЕРКОВЬ СВЯТОГО ГЕОРГИЯ В ТУРЕЦКОЙ ЧЕСМЕ

К 250-ЛЕТИЮ СРАЖЕНИЯ ЧАСТЬ 1

Г.А. Гребенщикова, д-р истор. наук, проф. СПбГМТУ,
историограф Санкт-Петербургского Морского Собрания,
контакт. тел. (812) 312 5396



Церковь Св. Георгия в турецкой Чесме

Подвиг, совершённый тогда российскими моряками и морскими солдатами, золотыми буквами вошел в анналы русского военно-морского искусства и пополнил боевую летопись Отечественного флота. Впервые в военно-морской истории России, далеко за ее пределами, произошло событие, которое вызвало большой резонанс не только в столице Османской империи Константинополе, но и в европейских государствах, подняло престиж империи Екатерины II и возвело ее на уровень ведущей морской державы – наряду с Англией и Францией.

Разгром турецкого флота в Чесменской бухте стал кульминационным этапом Первой Архипелагской экспедиции Балтийского флота в Эгейское и Средиземное моря и занял особое место не только в Русско-турецкой войне 1768 – 1774 гг., но и в целом в истории Российского государства. Важно отметить, что эскадренный переход флота вокруг Европы совершился впервые и не имел аналогов в русской военно-морской истории XVIII в. Екатерина II, адресуясь к Главнокомандующему морскими и сухопутными силами в Греческом Архипелаге графу А.Г. Орлову, высказывалась: «Ничто на свете нашему флоту столь добра не сделает, как этот поход. Всё закоснелое и гнилое наружу выйдет, и он будет со временем кругленько обточен».*

Слова императрицы оказались пророческими. Действительно, поход в Греческий Архипелаг обогатил русское военно-морское искусство, моряки приобрели опыт дальнего плавания и длительного пребывания в маневренной базе в боевых условиях, получили дополнительные знания в различных областях наук, которым их обучали в Морском шля

*** Цит. по: Подвиги русских адмиралов. СПб., 1900. С. 32.



Карта Хиосского пролива с показанием относительных мест церкви Св. Георгия и корабля «Евстафий»

хетном кадетском корпусе. Узнав об участии турецкого флота, Екатерина II в рескрипте А.Г. Орлову подчеркивала: «Сие в редких веках произшествие служит новым доказательством, что побеждает не число, но единственно мужество и храбрость. Ваша победа с девятью кораблями над великим множеством неприятельских возбуждает страх неприятелям и ненавистникам нашим... Посылку флота Моего в Архипелаг, преславное его там бытие и счастливое возвращение за благополучнейшее произшествие государствования Моего почитаю».*

Но победа досталась российским морякам дорогой ценой: 24 июня 1770 г. в сражении в Хиосском проливе взорвался корабль 66-пушечного ранга «Святой Евстафий Плакида» – флагманский командующего дивизией авангарда адмирала Г.А. Спиридова. При взрыве погибло свыше шестисот человек находившихся на борту «Евстафия» морских чинов, артиллеристов, плотников, кузнецов и других служителей. Вскоре после «Евстафия» в том же сражении взорвался и новый турецкий корабль «Burs-u Zafer» («Реал Мустафа») 1770 г. постройки – флагманский адмирала Чезаирлы Гази Гасана-паши, и с того времени боевое сопротивление обоих противников стало обоюдной трагедией россиян и турок.

В дореволюционной России чтили память погибших моряков с корабля «Святой Евстафий», равно как и в Османской империи не забывали о гибели корабля «Burs-u Zafer» («Реал Мустафы»). Историк второй половины XIX в. В.Ф. Головачёв утверждал, что располагает интересными сведениями, будто в 1899 г. греческие водолазы получили от турецкого правительства разрешение на исследование дна в районе Чесменской бухты. А через некоторое время в иностранной прессе прошла информация, что поисковые работы увенчались успехом: затонувших кораблей греки подняли на поверхность множество драгоценностей, 12 000 крупных и 20 000 мелких червонцев, богатую корабельную утварь, серебряную посуду, пушки с российским гербовым орлом, холодное оружие. Водолазы отправили находки в Константи-

* В память Чесменской победы. Сборник документов о сражениях в Хиосском проливе и Чесменской бухте 24 – 26 июня 1770 года. Одесса, 1886. С. 4. См. также: Г.А.Гребенщикова. Чесменская победа. Триумф России в Средиземном море. СПб, 2020.

нополь (Стамбул), а взамен турецкое правительство выдало им денежную компенсацию.**

Так повествовал В.Ф. Головачёв – и, как это было принято в историографии XIX в., без ссылок на какие-либо источники. Оставалось принять на веру сообщение авторитетного историка, но теперь выяснилось, в Российском государственном архиве ВМФ хранятся уникальные документы с совершенно точными сведениями об экспедиции в Чесменской бухте и об увековечении памяти погибших в сражении моряков с корабля «Святой Евстафий Плакида», более того, даже с подлинными фотографиями, датированными 1899 и 1914 гг.

Летом 1899 г. в Средиземном море находился отдельный отряд российских судов под командованием контр-адмирала Н.И. Скрыдлова, и в ходе плавания корабли заходили в греческий порт Салоники. Оттуда 2 августа 1899 г. Н.И. Скрыдлов направил обстоятельный рапорт под номером 457 Управляющему Морским министерством адмиралу П.П. Тыртову, в котором излагал, что 24 июля во время стоянки в турецком порту Смирна он получил уведомление начальника Главного Морского штаба от 15-го числа того же месяца. Согласно «Высочайшей Его Величества воли об увековечении памяти погибших в Чесменском бою» моряков он снялся с якоря и вышел к Чесме. Суть самой высочайшей воли контр-адмирал Н.И. Скрыдлов раскрыл далее, а вначале сообщил, что «в виду большого интереса, возбуждаемого известиями о поднятии исторически ценных предметов с судов, погибших в Чесменском бою вообще и с корабля «Евстафий» особенно», он ещё в июне направлял к месту работ в бухту Чесма канонерскую лодку «Донец»***.

Вернувшись в Смирну, командир лодки подробно доложил о происходившем в бухте, и Н.И. Скрыдлов посчитал это настолько важным, что принял решение самому прибыть на место и ознакомиться с обстановкой. Заручившись согласием генерального российского консула в Смирне Л. Няги и нештатного вице-консула в Айдине греческого подданного Г. Фотиадиса выйти вместе с ним, Н.И. Скрыдлов проследовал к турецкому местечку Чешма (Чесма).

Утром 25 июля флагманский броненосец подходил к бухте, и об увиденном там контр-адмирал докладывал: «У места гибели корабля «Евстафий» я застал производившиеся водолазные работы, которые с нашим приходом были прекращены, а все внешние знаки, указывавшие место, где затонул корабль, сняты. Тотчас по постановке на якорь я отправил к месту работ водолазного офицера. Он застал там турецкого адмирала, который на вопросы о спуске дал понять, что сообщать какие либо сведения без разрешения своего правительства не имеет права. Тем не менее, не подлежит сомнению, что в настоящее время работы производятся только вблизи места, где затонул «Евстафий», с которого турки рассчитывают достать много ценного»****.

Далее Н.И. Скрыдлов упомянул, что в связи со злоупотреблениями при подъеме предметов с погибшего корабля султан сменил офицера, наблюдавшего за работами, и вместо него назначил рангом повыше – контр-адмирала Ахмет-пашу, к которому приставил троих сухопутных офицеров из собственной гвардии. Чтобы успокоить турок, контр-адмирал Н.И. Скрыдлов нанес визит Ахмету-паше и сообщил, что целью его прихода является не поиск сокровищ с погибшего корабля, а «собираение исторических сведений о судьбе тел русских подданных». Паша отвечал, что пока поднято лишь небольшое количество монет, «а предметов церковной утвари и вовсе не находилось».

Российские офицеры не торопились покидать бухту. Распросив местных жителей, представителей православного

** Головачёв В.Ф. Чесма. М., 1944. С. 52.

*** РГАВМФ. Ф. 417. Оп. 4. Д. 2040. Л. 12.

**** РГАВМФ. Ф. 417. Оп. 4. Д. 2040. Л. 12 – 12 об.

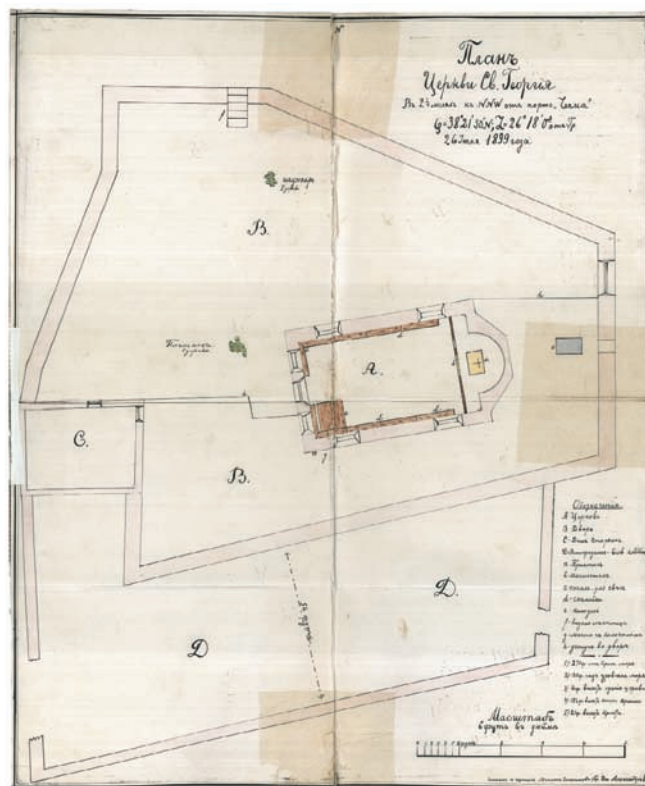
духовенства и турецких властей, они продолжили поиски и выяснили, что после боя турки похоронили погибших с корабля «Burg-u Zafer» («Реал Мустафы») в самом городе в братских могилах, под стенами старинной цитадели. Но относительно захоронения русских моряков ничего определённого узнать не смогли, и в этой связи Скрыдлов докладывал: «Место, где после взрыва затонул «Евстафий», находится недалеко от местечка Мерсенджик, в то время населённого христианами, имевшими свою маленькую часовню или церковь в пункте, указанном на прилагаемом на наброске, находившуюся в нескольких стах саженях от места взрыва «Евстафия». По окончании боя много тел с корабля должно было быть выброшено морем на ближайшие берега, где по особенностям формы одежды христиане легко отличили русских и перенесли их к ближайшей церкви Св. Георгия, где предали земле».

Поскольку с того времени кладбища не сохранилось, то Скрыдлов предположил, что «признаки могил уничтожились» и превратились в пустырь, который с недавнего времени местные жители решили возделывать под виноградник. При производстве работ стали находить старые захоронения, останки с множеством человеческих костей, которые бережно собрали и захоронили в одной братской могиле недалеко от церкви. «Таким образом, – подчеркивал Скрыдлов, – надо считать, что церковь Святого Георгия в Мерсинджике является достоверным местом, около которого почти исключительно сосредоточены останки русских воинов».*

Так совпало, что размышления Н.И. Скрыдлова оказались схожими с мнением императора Николая II об увековечении памяти погибших моряков, о чём контр-адмирал доложил в начале своего рапорта Управляющему Морским министерством. Такое решение возникло у Николая II не случайно, а после прочтения донесений генерального консула Л. Няги и после того, как Скрыдлов узнал о намерении императора, то побеседовал с местным духовенством во главе с епископом Чесменским Феоклитом. Тот постановил передать то местечко русским властям. Скрыдлов сообщил руководству важную подробность: 25 июля «Чесменский епископ в присутствии нашего генерального консула и многих других лиц торжественно передал мне заранее составленный Акт передачи церкви Св. Георгия в Чесме на мое имя в полное и безусловное владение».** Н.И. Скрыдлов, в свою очередь, передал это право своему правительству.

Несомненно, это событие стало неординарным в истории России и Турции, но все понимали, что Акт передачи церкви православной общиной контр-адмиралу Скрыдлову носил скорее формальный характер и не имел юридической силы. Поэтому генконсул предложил правительству урегулировать этот деликатный вопрос: Морское министерство должно обратиться с ходатайством в МИД России, который, в свою очередь, поручит дипломатам посольства в Константинополе (Стамбуле) провести переговоры с турецким султаном Абдул-Гамидом II на предмет подтверждения Акта разрешающим фирманом. Добиться, однако, получения от султана подобного документа представлялось совсем не просто, поэтому в МИДе продумывали способы решить дело без длительных переписок и волокиты.

Тем временем контр-адмирал Скрыдлов представил руководству топографические наблюдения окрестности: «Местность, на которой стоит церковь, находится в очень близком



План церкви Св. Георгия, 1899 г.

расстоянии [40 саженей] от берега и недалеко от места, где затонул «Евстафий». Церковь расположена на живописной террасе по левому берегу небольшой отлогой спускающейся к морю лощины, покрытой виноградниками. Площадка, на которой расположена церковь, возвышена на 120 фут над морем, и с нее открывается прекрасный, ничем не стесненный вид на берег моря, Хиосский пролив – место славного боя, и синеющий вдаль о. Хиос. В своем настоящем виде церковь Св. Георгия существует около пятидесяти лет. Носящая общий характер местных глинобитных построек, она имеет, несмотря на бедность обстановки, очень свежий и опрятный вид, показывающий, что население заботится о ней, и ее посещают».

Н.И. Скрыдлов полагал, что наилучшей памятью о погибших в сражении моряках станет сама церковь Святого Георгия Победоносца, но отреставрированная и облагороженная, а рядом с ней следует обустроить братскую могилу, в которую перезахоронить останки. Как предлагал адмирал, церковь будет «небольшая, но изящной архитектуры, и будучи расположена на живописной террасе, была бы видна всем проходящим Хиосским проливом судам разных наций, напоминая об одном из славных подвигов Русского флота»*** Кроме того, по мнению Скрыдлова, при церкви обязательно должен находиться сторож, для чего построить ему небольшой дом, а также отремонтировать близлежащую проезжую дорогу и поручить церковь заботам генерального консула в Смирне.

27 июля 1899 г. в присутствии офицеров и команды броненосца была отслужена панихида по павшим в сражении воинам, после чего в тот же день контр-адмирал приказал сниматься с якоря и покинул Чесму. ■

Продолжение следует

* Там же. Л. 13 об.

** Там же. Л. 14.

*** Там же. Л. 14об.

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 CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 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 безгонорарной 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 629.5 **Ключевые слова:** АО «ОСК», результаты деятельности, планы, развитие

А.Л. Рахманов. О результатах деятельности и перспективах развития российского судостроения//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 1

О некоторых достигнутых результатах, о планах Общественной судостроительной корпорации и о том, каким курсом она движется. Ил.3.

УДК 629.5.011 **Ключевые слова:** ледокол, «Росморпорт», проект, особенности проектирования, дизайн, технические характеристики

И.В. Щербаков, С.М. Тимофеев, С.В. Мазохин, А.М. Тимофеев. Обновление портowego ледокольного флота//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 9

Подробно рассмотрен проект нового портowego ледокола пр. 1ВР07 для ФГУП «Росморпорт», выполненный ПКБ «Петробалт» совместно с «Нордик Инжиниринг». Приведены его основные характеристики. Особое внимание уделено проработке дизайна и оборудования судовых помещений с учетом пожеланий заказчика, а также модельным испытаниям в Крыловском государственном научном центре и ГНЦ и ААНИИ. Ил.11.

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** сухогрузное судно река и река-море плавания, район плавания, техническое состояние, анализ, моделирование, прогноз

Г.В. Егоров, А.Г. Егоров. Отечественные сухогрузные суда ограниченных районов плавания. Анализ существующего, нового и перспективного флота//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 13

Проведены специальные исследования по построенным с 1956 по 2000 г. 1735 сухогрузным судам. Сегодня в работе примерно 1052 сухогрузов, из них «старых» 79%, остальные 21% построены в XXI в. С 2000 г. построено (или куплено на рынке) 221 сухогрузное судно смешанного, внутреннего и морского ограниченного района плавания. Показано, что главным фактором, определяющим параметры грузовых судов водного транспорта, является грузовая база. Наиболее востребованными были и остаются сухогрузные суда «Волго-Дон макс» класса. Установлено, что уменьшить массу судна порожнем можно уже только за счет более легких материалов. Т. 5. Ил.16. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** модернизация порта, обновление флота, математическая модель обоснования проектных решений, система информационной поддержки при формировании технического задания на ранних стадиях проектирования

И.В. Щербаков, П.Г. Тенишев, А.И. Гайкович. Возвращение «Рюрика». Обоснование облика проекта перспективного круизного паром для Балтийского моря. Часть 1//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 22

Изложены материалы по тематике «Развитие методологии проектирования, перспективные направления морского паромного и круизного бизнеса». Ил. 12. Библиогр. 5 назв.

УДК 623.828.312 **Ключевые слова:** морской танкер, характеристики, ходовые испытания

Д.В. Жмури, А.В. Соколов, С.В. Москвитина. Средний морской танкер «Академик Пашин». Особенности конструкции и проведения испытаний//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 27

Кратко описаны архитектура и состав основного оборудования вновь построенного головного среднего морского танкера «Академик Пашин» пр. 23130, приведены его основные тактико-технические характеристики, обозначены основные этапы проведения заводских ходовых и государственных испытаний. Ил.11. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.5.031. **Ключевые слова:** опытовый бассейн, волновой глайдер, колеблющееся крыло, движитель, пропульсивные характеристики

К.Д. Овчинников, Ю.П. Потехин, В.А. Рыжов. Экспериментальное исследование характеристик модели волнового глайнера//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 33

Представлены результаты экспериментального исследования модели волнового глайнера в опытовом бассейне СПбГМТУ. На встречном и попутном волнении получены характеристики сопротивления изолированного надводного корпуса, скорости хода модели волнового глайнера, а также параметры маневренности. Ил.4. Библиогр. 15 назв.

УДК 532.5:001.5 **Ключевые слова:** тензорное исчисление, математический аппарат, механики жидкости и газа, теория турбулентности

Ш.Г. Алиев, В.А. Павловский. Тензорный взгляд на задачи гидродинамики. Часть 1//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 36

Тензорное исчисление – мощный математический аппарат при изложении фундаментальных вопросов механики жидкости и газа. Показано применение тензорного исчисления для анализа структур новых реологических соотношений и уравнений, построение которых является актуальной проблемой, особенно в теории турбулентности. Применяемый математический аппарат позволяет обеспечить компактность записи аналитических выражений, прозрачность выкладок и дает возможность четко увидеть физический смысл в тех или иных тензорных выражениях.

ТУДК 336.64 **Ключевые слова:** финансовая устойчивость, федеральный закон, ценообразование, метод сравнительной цены, прибыль

И.Л. Вайсман, А.Е. Карлик, Е.А. Ткаченко. О необходимости системного решения проблем закрединности предприятий ОПК для обеспечения финансовой устойчивости и ускорения их развития и диверсификации//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 43

Для финансовой устойчивости деятельности предприятий ОПК требуется системное решение регулирования минимальной и максимальной прибыли при производстве продукции по госзаказу. Предлагаются изменения в ст. 10 ФЗ-275 и метод сравнительной цены при определении цен на серийную продукцию по госзаказу. Это будет мотивировать головных исполнителей государственных оборонных и федеральных заказов осуществлять финансирование инвестиционных проектов технологического развития, диверсификации, импортозамещения и роста поставок на экспорт за счет собственной прибыли и привлечения заемного (внебюджетного) капитала и создаст экономические условия для этого. Т. 2. Ил. 3.

УДК 629.5.081.24 **Ключевые слова:** крыло, спуск, понтон, траулер, эффективность

Д.А. Полянская. Спуск на воду траулера проекта СТ-192 с помощью кормового крыла//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 45

Рассмотрен вариант спуска судна с продольного стола АО «Адмиралтейских верфей» при помощи кормового крыла. Проведен анализ его эффективности по сравнению с кормовым понтоном. Ил.4. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.12373 **Ключевые слова:** электрохимическая защита, протекторы для электрохимической защиты, защита подводной части корпуса судна, алюминиевые и цинковые протекторы для защиты корпуса судна

К.Л. Новиков. Защита корпуса судов и кораблей иностранной постройки//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 51

АО «51 ЦКТИС» – назначенный проектант кораблей и судов иностранной постройки. При их ремонте и модернизации предприятие сталкивается с различиями в требованиях нормативных документов к электрохимической защите подводной части корпуса. Основной способ защиты корпуса – электрохимическая защита в сочетании с лакокрасочным покрытием. В настоящее время оценка эффективности работы протекторной защиты остается сложной задачей, АО «51 ЦКТИС» проводит дополнительные исследования по ее оптимизации. Т. 1. Библиогр. 6 назв.

УДК 532.595.2 **Ключевые слова:** гидравлический удар, аварийность, экспериментальный стенд, программа расчета, универсальный гаситель гидроудара

В.А. Колесник, Д.В. Быков, В.И. Ануфриев. Методы расчета и средства борьбы с гидроударом в корабельных гидравлических системах//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 52

Проблема гидравлического удара является актуальной при эксплуатации корабельных гидравлических систем. В ряде случаев проявление этого эффекта приводит к аварии технических средств. В статье рассматриваются некоторые предложения по расчету параметров гидроудара и определению средств борьбы с ним. Ил.13. Библиогр. 15 назв.

УДК 621.039 **Ключевые слова:** атомная подводная лодка (АПЛ), система управления ядерной энергетической установкой, исполнительный орган, источник информации, паротурбинная установка, испытания, система управления и защиты

В.В. Замуков, М.И. Романова, Д.В. Сидоренков, В.А. Михайлов. Пути оптимизации структур систем управления ядерной энергетической установкой и ее место в составе комплексной системы управления техническими средствами корабля//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 57

Развитие КСУ ТС для ЯЭУ свелось в основном к замене из поколения в поколение элементной базы. На одном из последних заказов АО «СПМБМ «Малахит» удалось включить в состав ППУ систему СУЗ. В состав ЯЭУ вошла система технического диагностирования оборудования ПТУ и ППУ. Рассмотрен вариант оптимизации структуры управления ЯЭУ применительно к АПЛ. По мнению авторов, структура СУ ЯЭУ должна быть единой и для гражданских транспортных ЯЭУ, и для АПЛ и кораблей ВМФ, так же как и требования к их испытаниям. Ил. 5. Библиогр. 2 назв.

УДК 623.973 **Ключевые слова:** преобразовательные устройства, колебательный процесс, квазирезонансный режим

Е.А. Густякова, В.В. Фогель. Использование квазирезонансных преобразователей для улучшения качества систем компенсации корабельных магнитных полей//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 61

Рассмотрена возможность увеличения КПД силовых преобразователей для систем компенсации корабельных магнитных полей. Представлено перспективное решение по уменьшению коммутационных потерь мощности за счет использования квазирезонансного режима переключения коммутационных элементов схемы. Ил. 6.

УДК 621.51 **Ключевые слова:** компрессор, азот, генератор, воздуходелительные мембраны, бустер, водяное охлаждение, осушка, импортозамещение

Л.Г. Кузнецов, А.В. Бураков, А.С. Перминов, С.Н. Себренников, А.В. Тикалов, О.К. Котов. Новое поколение отечественных азотных компрессорных станций для кораблей ВМФ и ледокольного флота//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 67

Изложен опыт АО «Компрессор» в судовом компрессоростроении, в частности, по увеличению типоразмера азотных компрессорных станций, предложено новое поколение азотных установок с водяным охлаждением для кораблей и судов ВМФ. Т. 2. Ил.9. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.311.68 **Ключевые слова:** источник бесперебойного питания, инвертор, конвертор, аккумуляторный модуль, модуль питания

Е.А. Рылов, В.В. Николаев, О.Д. Руптанова, А.В. Сорокин, Р.В. Николаев. Исследование и построение системы бесперебойного питания для нужд военно-морского флота//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 71

Рассмотрен принцип построения системы бесперебойного питания. Приведено описание и показаны структурные схемы основных модулей системы. Проанализирован принцип работы системы управления. Описана архитектура программной управляющей части. Приведены основные технические характеристики составных частей и системы в целом. Ил.7.

УДК 621.372.632 **Ключевые слова:** судостроительный завод, траулер, судовая сеть номинальная частота, валогенератор

Д.В. Умаров, В.В. Волков. К вопросу об оборудовании траулера СТ-192 электростанцией с переменной частотой//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 75

Российские судостроительные заводы, строя суда по заказам российских рыбопромышленных компаний, столкнулись с нетрадиционным для них инженерным решением – работой судовой электростанции на двух частотах 60 и 50 Гц. В статье дана оценка эффективности этого решения. Ил. 5. Библиогр.18 назв.

УДК 623.959.7 **Ключевые слова:** размагничивающее устройство, магнитное поле, коэффициент детерминации, защитный кожух, обмотка, экранирование

М.В. Горячев. Сравнение различных вариантов защитных кожухов обмоток размагничивающего устройства с использованием коэффициента детерминации//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 77

Рассмотрены различные варианты кожухов размагничивающего устройства. Оценка вариантов выполнена на основе коэффициента детерминации по сравнению с базовым, не закрытым кожухом. Т. 1. Ил.3. Библиогр.6 назв.

УДК 620.9:44.41.29 **Ключевые слова:**воздухонезависимая энергетическая установка (ВНЭУ), система автоматического управления (САУ), абсорбер, водород, регулирующий клапан (РК), насос, производительность насоса, внешняя вода, система очистки газа (СО) углекислый газ

А.В. Балакин, А.Н. Дядик, А.С. Кармазин, М.В. Ларионов, С.Н. Сури. Разработка принципиальных схем очистки водорода от углекислого газа//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 81

Представлены принципиальные схемы очистки продуктового газа (водорода) от примеси углекислого газа путем растворения последнего во внешней воде, подаваемой в абсорбер. В принципиальных схемах систем очистки водорода предусмотрены два типа насосов: с постоянной и переменной производительностью. В ре-

зультате получено, что комплекс «насос нерегулируемой производительности – клапан рециркуляции» вместе с их САУ, используемый в схеме, обладает большей надежностью, чем насос переменной производительности с его САУ. Однако энергозатраты на привод насоса в схеме СО при изменении режимов ее работы в широком диапазоне давлений будут больше. Ил.4. Библиогр.2 назв.

УДК 681.51 **Ключевые слова:** система управления, моделирование, буровой комплекс, бурение

Е.Н. Ефремов, Д.С. Сверчков, А.А. Гадалин. Система управления вращателем погружного бурового комплекса//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 85

Рассмотрены система управления вращателем бура, являющимся основным механизмом погружного бурового комплекса, а также необходимые режимы работы. Приведены результаты моделирования системы и результаты натурных испытаний. Ил 12. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.12.001.2 **Ключевые слова:** авария на море, безопасность мореплавания, человеческий фактор, эргатический элемент, судовые технические средства, функционально-уровневая оценка

М.В. Гомзяков. Отказы главных двигателей и механизмов на дальневосточных судах в 2015 г. //Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 90

Рассмотрена возможность функционально-уровневой оценки аварийных случаев, связанных с отказами и поломками главных двигателей и вспомогательных механизмов под влиянием человеческого фактора в дальневосточном регионе в течение 2015 г. Проанализирована роль берегового и судового персонала в создании условий, послуживших причинами аварий. Функционально-уровневый подход позволяет определить, на каком уровне ответственности возникает максимальная дисфункция безопасности мореплавания. Дисфункция эргатического элемента приведена к стандартам компетентности конвенции ПДНВ-78 по функциям и уровням ответственности. Ил.1. Библиогр. 15 назв.

УДК 656.61.052.65.011.56 **Ключевые слова:** судно, автоматическая система судовождения, технология экспериментальной обработки, полунатурное моделирование, имитация внешней обстановки

А.Г. Юрескул, Ю.А. Ямщиков, Ю.В. Романова, А.Н. Пападин, А.В. Анисимов. Испытания автоматизированных систем судовождения на динамическом моделирующем комплексе//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 93

Рассмотрены вопросы испытаний автоматизированных систем судовождения методами полунатурного моделирования. Изложены концепция построения испытательного комплекса и его использование в процессе разработки систем судовождения. Рассмотрен общий подход к автоматизации испытаний типовых систем судовождения. Ил.6. Библиогр. 6 назв.

УДК 681.51 **Ключевые слова:** управление движением, автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), анализ реакции, прогнозирующая модель

А.Н. Борисов, Ю.Л. Сиек. Управление движением автономного необитаемого подводного аппарата на основе прогнозирующей модели//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 98

Рассмотрены вопросы разработки алгоритмического обеспечения системы управления движением с прогнозирующей моделью АНПА. Выполнена постановка задачи оптимизации, решение которой предлагается получать на основе параллельного алгоритма. Приведены результаты имитационного моделирования, обосновывающие целесообразность описываемого подхода. Ил.4. Библиогр. 10 назв.

УДК 654.152 **Ключевые слова:** многофункциональный абонентский терминал (МФАТ), оконечная аппаратура, громкоговорящая связь, корабельная внутренняя и внешняя телефонная связь, система записи переговоров

Е.А. Рылов, В.В. Николаев, О.Д. Руптанова, А.В. Сорокин, Р.В. Николаев. Многофункциональные абонентские терминалы – перспективные средства связи надводных кораблей//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 102

Обозначены основные типы МФАТ, разработанных на базе унифицированных модулей. Приведены структурные схемы их аппаратной и программной части. Охарактеризованы функциональные возможности. Ил. 8

УДК 623.983 **Ключевые слова:** подводный аппарат, пост управления, связь

К.А. Смирнов, А.Д. Измайлов, Р.А. Андреюк, Д.С. Бабкин. Мобильный пост управления подводно-техническими работами//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 107

Представлен типовой мобильный пост управления подводно-техническими работами (МПУ ПТР), разработанный АО «МНКС». Рассмотрены особенности проектирования и изготовления МПУ ПТР. Ил.4. Библиогр.3 назв.

УДК 627.72 **Ключевые слова:** безопасность, риск применения, Международная морская организация (ММО), формальная оценка безопасности (FSA), морские автономные надводные суда (МАНС), системы для МАНС

В.В. Ефимов. О применимости рекомендаций Международной морской организации по оценке риска систем для морских автономных надводных судов//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 110

Рассмотрены рекомендации ММО по формальной оценке безопасности судов. Приведены примеры использования рекомендаций для оценки рисков офшорных, грузовых судов, нефтеналивных танкеров. На основе анализа этих примеров сделаны выводы о возможности использования данных рекомендаций при оценке безопасности применения систем для МАНС. Ил.3. Библиогр.7 назв.

УДК 527.62 **Ключевые слова:** навигационная безопасность плавания, совершенствование астрономического способа определения координат места судна, навигационный секстан, цифровой секстан, электронный секстан

С.В. Козик, В.А. Сибилев, Г.О. Алцыбеев. Концепция навигационного прибора «электронный секстан»//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 116

Обозначены различные подходы к совершенствованию навигационного секстана. Приведено обоснование предлагаемой концепции его совершенствования. Показан прототип прибора. Ил.2. Библиогр.14 назв.

УДК 658.61:629 **Ключевые слова:** затонувший объект, подъем, организация, нормативно-правовой аспект, задачи

В.Н. Илюхин. Актуальные нормативно-правовые и организационно-технические аспекты подъема затонувших объектов. Часть 2//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 119

Продолжение анализа значения подъема затонувших объектов для решения транспортных и экологических проблем. Особое внимание уделено нормативно-правовым и организационным аспектам, возникающим при этом. Ил.3. Библиогр. 19 назв. Часть 1 – см. журнал «Морской вестник», 2020, № 3 (75).

УДК 355 (359) **Ключевые слова:** Россия и Турция, Чесменское сражение, церковь Св. Георгия, роль российского МИД, память павших моряков

Г.А. Гребенщикова. Памяти погибших моряков: церковь Святого Георгия в турецкой Чесме. К 250-летию сражения. Часть 1//Морской вестник. 2020. № 4 (76). С.125.

Рассмотрены с привлечением новых архивных документов события, связанные со сражением русского флота с турецким в Хиосском проливе и в бухте Чесма в июне 1770 г. Прослежена временная связь между теми героическими и трагическими событиями и конца XIX – начала XX вв., когда в бухте Чесма (Чешма) в честь павших в сражении император Николай II распорядился построить часовню Св. Георгия. Благодаря архивным документам стало известно точное количество погибших русских моряков на корабле «Святой Евстафий». Ил.3.

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 629.5 **Keywords:** USC JSC, performance results, plans, development

A.L. Rakhmanov. On the results of activities and prospects for the development of Russian shipbuilding//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 1

Some of the results achieved, the plans of the United Shipbuilding Corporation and the course it is heading. Fig.3.

UDC 629.5.011 **Keywords:**icebreaker,Rosmorport,project, design features, design, technical characteristics

I.V. Shcherbakov, S.M. Timofeev, S.V. Mazokhin, A.M. Timofeev. Renovation of the port icebreaker fleet//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 9

The project of a new port icebreaker of IBP07 project for Rosmorport FSUE, made by Petrobalt PDB together with Nordic Engineering, was considered in detail. Its main characteristics are given. Particular attention was paid to the development of the design and equipment of the ship premises, taking into account the wishes of the customer, as well as model tests at the Krylov State Scientific Center and the Arctic and Antarctic Research Institute. Fig.11.

UDC 629.5.01 **Keywords:** river and river-sea dry-cargo vessel, sailing area, technical condition, analysis, modelling, prognosis.

G.V. Egorov, A.G. Egorov. Native restricted sailing areas dry-cargo vessels – analysis of existing, new and perspective fleet//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 13

Special studies were carried out with 1735 dry-cargo vessels built from 1956 to 2000. Today, there are about 1052 dry-cargo vessels in operation, of which 79% are old, remaining 21% were built in XXI century. Since 2000, 221 river, river-sea and restricted area dry-cargo vessels have been built (or bought on the market). It is shown that the main factor determining the parameters of cargo vessels in water transport is the cargo base. Dry-cargo vessels of Volgo-Don max-class were and remain the most in demand. It has been established that it is possible to reduce lightweight of ship only due to modern materials. T.5. Fig.16. Bibliography 7 titles.

UDC 629.5.01 **Keywords:** port modernization, fleet renewal, mathematical model of substantiation of design decisions, information support system in the formation of technical specifications at the early stages of design

I.V. Shcherbakov, P.G. Tenishev, A.I. Gaikovich. Return of «Rurik». Justification of the appearance of the project of a promising cruise ferry for the Baltic Sea. Part 1//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 22

Materials on the topic «Development of design methodology, promising directions of the sea ferry and cruise business» are presented. Fig.12. Bibliography 5 titles

UDC 623.828.312 **Keywords:** medium-size replenishment oiler, architecture, equipment, main characteristics, sea trials

D.V. Zhmurin, A.V. Sokolov, S.V. Moskovkina. «Akademik Pashin» medium-size fleet tanker. Design features and testing//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 27

The architecture and composition of the main equipment of the newly built lead «Akademik Pashin»

pr. 23130 medium-size fleet tanker are briefly described, its main tactical and technical characteristics are given, the main stages of the factory sea trials and state tests are outlined. Fig.11. Bibliography 3 titles.

UDC 629.5.031 **Keywords:**experimental pool,wave glider, oscillating wing, propulsion, propulsive characteristics

K.D. Ovchinnikov, Yu.P. Potekhin, V.A. Ryzhov. Experimental study of wave glider model characteristics//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 33

The paper presents the results of an experimental study of a wave glider model in the experimental pool of the St. Petersburg State Marine Technical University. On the oncoming and passing waves, the characteristics of the resistance of the isolated surface hull, the speed of the wave glider model, as well as the parameters of maneuverability were obtained. Fig.4. Bibliography 15 titles.

UDC 532.5: 001.5 **Keywords:** tensor calculus, mathematical apparatus, fluid and gas mechanics, theory of turbulence

Sh.G. Aliev, V.A. Pavlovsky. A tensor view of the problems of hydrodynamics. Part 1//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 36

Tensor calculus is a powerful mathematical apparatus for the presentation of fundamental questions of fluid and gas mechanics. The application of tensor calculus for the analysis of structures of new rheological relations and equations is shown, the construction of which is an urgent problem, especially in the theory of turbulence. The applied mathematical apparatus makes it possible to ensure the compactness of the recording of analytical expressions, the transparency of the calculations, and makes it possible to clearly see the physical meaning in certain tensor expressions.

UDC 336.64 **Keywords:** financial stability, federal law, pricing, comparable price method, profit

I.L. Vaisman, A.E. Karlik, E.A. Tkachenko. On the need for a systematic solution to the problems of debt burden of defense industry enterprises to ensure financial stability and accelerate their development and diversification//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 43

The problem of ensuring the financial stability of the activities of the defense industry enterprises requires a systematic solution to the issue of regulating the minimum and maximum profits in the production of products under the state order. Changes to Art. 10 of the Federal Law 275 and the application from 2021 of the comparable price method in determining prices for serial products under the state order. This motivates the main executors of state defense and federal orders to finance investment projects for technological development, diversification, import substitution and growth of export supplies at the expense of their own profits and attracting borrowed (off-budget) capital and will create economic conditions for this. T.2. Fig.3.

UDC 629.5.081.24 **Keywords:** wing, descent, pontoon, trawler, efficiency

D.A. Polyanskaya. Launching a trawler of ST-192 project using a stern wing//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.45

The variant of launching the vessel from the longitudinal slipway of Admiralty Shipyards JSC using the stern wing is considered. The analysis of its efficiency in com-

parison with the aft pontoon is carried out. Fig.4. Bibliography 4 titles.

UDC 629.12373 **Keywords:**electrochemical protection, protectors for electrochemical protection, protection of the underwater part of the ship's hull, tread protection, aluminum and zinc protectors for protecting the ship's hull

K.L. Novikov. Protection of the hull of ships and ships of foreign construction//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.51

51 CDTISR JSC is the appointed designer of ships and vessels of foreign construction. During their repair and modernization, the enterprise is faced with differences in the requirements of regulatory documents for the electrochemical protection of the underwater part of the hull. The main way to protect the body is electrochemical protection in combination with paintwork. Currently, assessing the effectiveness of tread protection remains a difficult task, 51 CDTISR JSC is conducting additional research to optimize it. T.1. Bibliography 6 titles.

UDC 532.595.2 **Keywords:**hydraulic shock,accident rate, experimental stand, calculation program, universal water hammer damper

V.A. Kolesnik, D.V. Bykov, V.I. Anufriev. Calculation methods and means of combating water hammer in ship hydraulic systems//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 52

The problem of water hammer is relevant in the operation of ship hydraulic systems. In some cases, the manifestation of this effect leads to an accident of technical equipment. The article discusses some proposals for calculating the parameters of a water hammer and determining the means to combat it. Fig.13. Bibliography 15 titles.

UDC 621.039 **Keywords:** nuclear power plant control system, nuclear submarine, executive body, information source, steam turbine plant, tests, control and protection system

V.V. Zamukov, M.I. Romanova, D.V. Sidorenkov, V.A. Mikhailov. Ways of optimizing the structures of control systems for a nuclear power plant and its place in the integrated control system for the technical means of a ship//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P. 57

The integrated control system for technical facilities (KSU TS) has been established on the third and fourth generation nuclear submarines. At the same time, the development of KSU TS for a nuclear power plant (NPP) was reduced mainly to replacing the element base from generation to generation. On one of the last orders, SPMDB Malachite JSC was able to include a CPS system in the steam generating unit (PPU). Also, the NPI included a technical diagnostics system (STD) for the equipment of PTU and PPU. A variant of optimization of the NPP control structure as applied to nuclear submarines is considered. According to the authors, the structure of the nuclear power plant control system should be the same for both civilian transport nuclear power plants and for nuclear submarines and ships of the Navy, as well as the requirements for their testing. Fig.5. Bibliography 2 titles.

UDC 623.973 **Keywords:** converting devices, oscillatory process, quasi-resonant mode

E.A. Gustyakova, V.V. Fogel'. The use of quasi-resonant transducers to improve the quality of compensation systems for ship magnetic fields//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.61

The problem of the possibility of increasing the efficiency of power converters for compensation systems for ship magnetic fields is considered. A promising solution to reduce switching power losses by using a quasi-resonant mode of switching the switching elements of the circuit is presented. Fig.6.

UDC 621.51 **Keywords:** compressor, nitrogen, generator, air separation membranes, booster, water cooling, drying, import substitution

L.G. Kuznetsov, A.V. Burakov, A.S. Perminov, S.N. Serebrennikov, A.V. Tikalov, O.K. Kotov. A new generation of domestic nitrogen compressor stations for Navy ships and ice-breaking fleet//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.67

The article describes the experience of Compressor JSC in ship compressor construction, in particular, the standard range of nitrogen compressor stations has been increased and a new generation of water-cooled nitrogen plants for ships and vessels of the Navy is proposed. Fig. 9. Bibliography 7 titles.

UDC 621.311.68 **Keywords:** uninterruptible power supply, inverter, converter, battery module, power module

E.A. Rylov, V.V. Nikolaev, O.D. Ruptanova, A.V. Sorokin, R.V. Nikolaev. Research and construction of an uninterruptible power supply system for the needs of the Navy//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.71

The principle of designing an uninterruptible power supply system is considered. The description and block diagrams of the main modules of the system are shown. The principle of the control system is considered. The architecture of the software control part is described. The main technical characteristics of the components and the system as a whole are given. Fig.7.

UDC 621.372.632 **Keywords:** shipyard, trawler, ship network rated frequency, shaft generator

D.V. Umyarov, V.V. Volkov. On the issue of equipping the ST-192 trawler with a power plant with variable frequency//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.75

Russian shipbuilding plants, building ships for Russian fishing companies, faced an unconventional engineering solution for them – the operation of a ship power plant at two frequencies of 60 and 50 Hz. The article assesses the effectiveness of this solution. Fig.5. Bibliography 18 titles.

UDC 623.959.7 **Keywords:** demagnetizing device, magnetic field, coefficient of determination, protective casing, winding, shielding

M.V. Goryachev. Comparison of various options for protective casings of windings of a demagnetizer using the coefficient of determination//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.77

Various options for the casings of the demagnetizing device are considered. The options were assessed on the basis of the coefficient of determination in comparison with the base, not closed casing. T. 1. Fig. 3. Bibliography 6 titles.

UDC 620.9: 44.41.29 **Keywords:** air-independent power plant (AIP); automatic control system (ACS); absorber; hydrogen; control valve; pump; pump performance; external water; gas purification system (CO); carbon dioxide

A.V. Balakin, A.N. Dyadik, A.S. Karmazin, M.V. Larionov, S.N. Surin. Development of basic schemes for purifying hydrogen from carbon dioxide//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.81

The article presents the schematic diagrams of cleaning the product gas (hydrogen) from carbon dioxide impurity by dissolving the latter in external water supplied to the absorber. It has been established that the complex pump of unregulated capacity – a recirculation valve together with their automatic control system (ACS) used in the circuit is more reliable than a variable displacement pump with its ACS. However, the energy consumption for the pump drive in the CO circuit will be higher when changing the modes of its operation in a wide range of pressures. Fig.4. Bibliography 2 titles.

UDC 681.51 **Keywords:** control system, modeling, drilling complex, drilling

E.N. Efremov, D.S. Sverchkov, A.A. Gadalín. Control system for a submersible drilling complex's rotator//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.85

The article discusses control system of drill's rotator, which acts as a main mechanism for a submersible drilling complex. Necessary modes of operation were considered. Following are the results of system's simulation and the results for verification tests. Fig.12. Bibliography 3 titles.

UDC 629.12.001.2 **Keywords:** accident at sea, safety of navigation, human factor, ergatic element, ship technical means, functional-level assessment

M.V. Gomzyakov. Failures of main engines and mechanisms on Far Eastern ships in 2015//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.90

The possibility of a functional-level assessment of accidents related to failures and breakdowns of main engines and auxiliary mechanisms under the influence of the human factor in the Far East region during 2015 was considered. The dysfunction of the ergatic element was brought to the standards of competence of the STCW-78 convention by functions and levels of responsibility. The total share of critical failures and breakdowns of main engines, auxiliary mechanisms and systems reaches 40% of the total number of marine accidents. Typical failures of ship technical equipment are breakdowns of diesel engines and their elements, fuel systems, rudder complex with a shaft line, automation systems. The role of onshore and ship personnel in creating the conditions that caused accidents is analyzed. The functional-level approach makes it possible to determine at what level of responsibility the maximum dysfunction of navigation safety arises. Fig.1. Bibliography 15 titles.

UDC 656.61.052.65.011.56 **Keywords:** vessel, automatic navigation system, experimental development technology, semi-natural modeling, simulation of the external environment

A.G. Yureskul, Yu.A. Yamshchikov, Yu.V. Romanova, A.N. Popad'in, A.V. Anisimov. Testing of automated navigation systems on a dynamic simulation complex//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.93

The issues of testing automated navigation systems by methods of semi-natural modeling are considered. The concept of building a test complex and its use in the development of navigation systems are presented. A general approach to automation of testing of typical navigation systems is considered. Fig.6. Bibliography 6 titles.

UDC 681.51 **Keywords:** traffic control, autonomous unmanned underwater vehicles, reaction analysis, predictive model

A.N. Borisov, Yu.L. Siek. Motion control of an autonomous unmanned underwater vehicle based on a predictive model//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.98

The article deals with the development of algorithmic support for a traffic control system with a predictive model for an autonomous unmanned underwater vehicle. The optimization problem is formulated, the solution of which is proposed to be obtained on the basis of a parallel algorithm. The results of simulation are presented, which substantiate the expediency of the described approach. Fig.4. Bibliography 10 titles.

UDC 654.152 **Keywords:** multifunctional subscriber terminal (MFAT), terminal equipment, loudspeaker communication, ship's internal and external telephone communication, conversation recording system

E.A. Rylov, V.V. Nikolaev, O.D. Ruptanova, A.V. Sorokin, R.V. Nikolaev. Multifunctional subscriber terminals – promising means of communication for surface ships//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.102

The main types of multifunctional subscriber terminals developed on the basis of unified modules are considered. The block diagrams of their hardware and software

are presented. The characteristics of the functionality are given. Fig.8.

UDC 623.983 **Keywords:** underwater vehicle, control post, communication

K.A. Smirnov, A.D. Izmailov, R.A. Andreyuk, D.S. Babkin. Mobile control post for underwater technical works//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.107

A typical mobile control post for underwater technical works (MPU PTR), developed by MNS JSC, is presented. The features of design and manufacture of MPU PTR are considered. Fig.4. Bibliography 3 titles.

UDC 627.72 **Keywords:** safety, risk of use, International Maritime Organization (MMO), Formal Safety Assessment (FSA), maritime autonomous surface vessels (MASS), systems for MASS

V.V. Efimov. On the applicability of the recommendations of the International Maritime Organization to the risk assessment of systems for autonomous sea surface vessels//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.110

The content of the recommendations of the International Maritime Organization on the formal assessment of the safety of ships is considered. The examples of using the recommendations for assessing the risks of offshore, cargo ships, oil tankers are given. Based on the analysis of these examples, conclusions are drawn about the possibility of using the recommendations of the International Maritime Organization in assessing the safety of the use of systems for offshore autonomous surface vessels. Fig.3. Bibliography 7 titles.

UDC 527.62 **Keywords:** navigational safety of navigation, improvement of the astronomical method for determining the coordinates of the ship's position, navigation sextant, digital sextant, electronic sextant

S.V. Kozik, V.A. Sibilev, G.O. Altsybeev. The concept of the electronic sextant navigation device//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.116

Various approaches to improving the navigation sextant are considered. The substantiation of the proposed concept for improving the navigation sextant is given. A prototype of the device is shown. Fig. 2. Bibliography 14 titles.

UDC 658.61: 629 **Keywords:** sunken object, lifting, organization, regulatory aspect, tasks

V.N. Ilyukhin. Relevant regulatory, organizational and technical aspects of the lifting of sunken objects. Part 2//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.119

The importance of lifting sunken objects for solving transport and environmental problems is analyzed in detail. Particular attention is paid to the regulatory and organizational aspects that arise in this case. Fig. 3. Bibliography 19 titles.

UDC 355 (359) **Keywords:** Russia and Turkey, the Battle of Chesme, the Church of St. George, the role of the Russian Foreign Ministry, the memory of the fallen sailors

G.A. Grebenshchikova. In memory of the lost sailors: the Church of St. George in Turkish Chesme. To the 250th anniversary of the battle. Part 1//Morskoy Vestnik. 2020. № 4 (76). P.125

The article, with the involvement of new archival documents, examines the events associated with the most important stage in the naval and state life of Russia – the battle of the Russian fleet with the Turkish in the Chios Strait and in the Chesma Bay in June 1770. A temporary connection is traced between those heroic and tragic events and the late 19th – early 20th centuries, when in the Turkish bay of Chesma (Chesma), in honor of those who fell in battle, Emperor Nicholas II ordered the construction of a chapel of St. George. The role of the Russian Foreign Ministry in this process is underlined. Thanks to archival documents, the exact number of Russian sailors who died on the ship «St. Eustathius» became known. Fig.3.