

Морской Вестник



№2(70)

И Ю Н Ь

2 0 1 9

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



АО "51 центральный
конструкторско-технологический
институт судоремонта"

25 мая, в канун Дня рождения Балтийского завода, со стапеля предприятия сошел на воду второй серийный атомный ледокол «Урал» пр. 22220. Новый атомоход, как и его старшие братья – атомные ледоколы «Арктика» и «Сибирь» – станет самым большим и самым мощным ледоколом в мире. По славной морской традиции крестная мать ледокола Председатель Центрального банка РФ Эльвира Набиуллина разбила о борт ледокола бутылку крымского шампанского, отправив атомоход со стапеля в воды Невы.

Под овации сотен зрителей торжественная церемония спуска была открыта приветственной речью Героя России, заместителя Председателя Правительства РФ по вопросам оборонно-промышленного комплекса Юрия Борисова, в которой он отметил, что именно благодаря специалистам Балтийского завода была сохранена школа кораблестроения крупных судов ледокольного класса. Также он добавил, что на Балтийском заводе запланировано строительство еще двух ледоколов этой серии.



Генеральный директор Балтийского завода А. Кадилов и крестная мать ледокола «Урал» Э. Набиуллина

Э. Набиуллина заявила, что атомный флот – поистине гордость нашей страны и одно из совершенных проявлений инженерной мысли. «Мы приняли решение выпустить специальную памятную монету, посвященную атомному ледокольному флоту проекта 22220», – сказала она.

Полномочный представитель Президента РФ в Северо-Западном федеральном округе Александр Гуцан продолжил поздравительную речь, прочитав телеграмму Первого заместителя руководителя Администрации Президента РФ Сергея Кириенко: «В этом году мы отмечаем 60-летие российского атомного ледокольного флота. Несомненно, серийное строительство ледоколов нового поколения – залог успешного освоения арктической зоны».

Исполняющий обязанности губернатора Санкт-Петербурга Александр Беглов был краток: «Как всегда, бал-

НА БАЛТИЙСКОМ ЗАВОДЕ СПУЩЕН НА ВОДУ АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ «УРАЛ»

**АО «Балтийский завод»,
контакт. тел. (812) 324 9353**

тийцы не подвели! Это прекрасный подарок ко Дню города!»

В своем приветственном слове генеральный директор госкорпорации «Росатом» Алексей Лихачев акцентировал внимание на том, что мы должны развивать Арктику, поэтому потребность в ледокольном флоте растет, госкорпорация «Росатом» до конца августа заключит контракт на строительство еще двух ледоколов пр. 22220.

Николай Харитонов от имени депутатов Государственной Думы и Комитета по региональной политике Севера и Дальнего Востока от души поблагодарил судостроителей Балтийского завода и вручил директору завода Памятный адрес и изображение Госдумы.

Президент ОСК Алексей Рахманов поблагодарил коллектив Балтийского завода и отметил: «Сегодняшнее событие можно считать полномасштабным началом празднования 60-летия атомного ледокольного флота, которое отмечается в нынешнем году. Рассчитываю, что мы продолжим его отмечать выходом на ходовые испытания головного судна «Арктика». Надеюсь, что достижения Балтийского завода на ниве создания сложнейшей арктической атомной техники будут отмечены по достоинству, и наш «Урал» станет не финалом серии, а ее зенитом».

Генеральный директор Балтийского завода Алексей Кадилов в своей заключительной речи заявил, что завод восстановил все свои компетенции, связанные с атомным надводным судостроением: «В мае мы успешно загрузили активную зону первого реактора. Спасибо всем тем, кто участвует в этом колоссальном труде!».

После команды главного строителя атомохода Валентина Данилина «приступить к спуску на воду» был разрезан задержник, сдерживающий 19000-тонный корпус судна, и под громкие аплодисменты гостей атомный ледокол «Урал» сошел в воды Невы.

Впереди у судостроителей Балтийского завода – достройка атомохода на воде, срок сдачи заказа – август 2022 г.

Ледокол будет оснащен двухреакторной энергетической установкой с основным источником пара от реакторной установки нового поколения РИТМ-200 мощностью 175 МВт, специально разработанной для этого судна. Технический проект атомохода был разработан ЦКБ «Айсберг» в 2009 г.

Двухосадочная конструкция судна позволит использовать его как в арктических водах, так и в устьях полярных рек.

Основные характеристики судна

Мощность (на валах), МВт.....	60
Скорость хода (по чистой воде), уз.....	22
Длина, м.....	173,3
Ширина, м.....	34
Высота, м.....	52
Осадка мин./макс., м.....	8,65/10,5
Макс. ледопроемимость, м.....	2,8
Полное водоизмещение, т.....	33 540
Назначенный срок службы, лет.....	40

Ледокол будет работать в западном районе Арктики: в Баренцевом, Печорском и Карском морях, а также на более мелководных участках устья Енисея и в районе Обской губы.■



Универсальный атомный ледокол «Урал»

Морской Вестник



№ 2 (70)

И Ю Н Ь

2 0 1 9

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Председатель

А.Л. Рахманов, президент

АО «Объединенная судостроительная корпорация»

Сопредседатели:

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

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»

В.В. Дударенко, председатель совета директоров

ООО «Судпромкомплект»

А.А. Дьячков, генеральный директор

АО «Северное ПКБ»

Г.В. Егоров, генеральный директор

ООО «Морское инженерное бюро-СПб»

В.Н. Илюхин, председатель НО «АРПСТТ»

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

А.А. Копанев, генеральный директор

АО «НПФ «Меридиан»

Г.А. Коржавин, генеральный директор

АО «Концерн «Гранит-Электрон»

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

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор

АО «Компрессор»

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

И.М. Мухутдинов, генеральный директор

ПАО «СФ «Алмаз»

Н.В. Орлов, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

А.Г. Родионов, генеральный директор

АО «Кронштадт Технологии»

С.В. Савков, генеральный директор

АО «Новая ЭРА»

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

А.С. Соловьев, генеральный директор

ПАО «Выборгский судостроительный завод»

С.Б. Сухов, генеральный директор

ООО «Пумори-северо-запад»

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

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

В.А. Титлянов, генеральный директор АО «ГНИНГИ»

А.Л. Ульянов, генеральный директор

ООО «Нева-Интернэшнл»

С.Г. Филимонов, генеральный директор

АО «Концерн Морфлот»

Г.Р. Цатуров, генеральный директор

ОАО «Пелла»

В.В. Шаталов, генеральный директор

АО КБ «Вымпел»

К.Ю. Шилов, генеральный директор

АО «Концерн «НПО «Аврора»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор

АО «ЦМКБ «Алмаз»

И.В. Щербаков, генеральный директор

ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

- На Балтийском заводе спущен на воду атомный ледокол «Урал» 1
- Закладка инновационного научно-исследовательского судна «Пионер-М» 6
- А. Г. Егоров. Анализ отечественного опыта переоборудования
круизных пассажирских судов 9
- Р. Р. Рахматуллин, А. В. Месропян. От монокорпуса к тримарану 16
- М. А. Александров, А. Г. Богданов, Д. А. Скороходов. Обоснование
параметров движения аэроуля судна на воздушной подушке 19
- Л. В. Иванов, А. В. Анохин, А. В. Зайцев. Анализ мембранных систем
хранения груза для танкеров-газовозов 21
- Ю. И. Стекольников. Способы обеспечения живучести корабельных систем ... 25
- В. Т. Тымашевскому – 90 лет 27
- Д. В. Курочкин. Патрульный корабль проекта 22160 – новый класс корветов
для отечественного флота и на экспорт 29
- В. В. Замуков, М. И. Говоровская, Д. В. Сидоренков, И. И. Курдюков.
Объекты АО «СПМБМ «Малахит» с ядерными энергетическими
установками с жидкометаллическим теплоносителем 33

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Н. М. Вихрову – 70 лет 37
- А. В. Иванкович. Математическое моделирование в области
бюджетирования как способ повышения эффективности
деятельности предприятия 39
- А. Е. Ермаков. Некоторые вопросы применения САПР
в отечественном судостроении 40
- П. А. Копров. Особенности замены импортного неремонтопригодного
оборудования на отечественные аналоги 44

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

- В. В. Барановский, К. А. Ефремов. Оценка целесообразности разработки
перспективных корабельных газотурбинных двигателей в обеспечение
снижения эксплуатационных затрат перспективных многоцелевых
кораблей ВМФ 46
- М. И. Олли, Д. Г. Баскаков. Применение водородных технологий
для развития энергетики 50
- А. М. Агафонов, А. А. Воршевский, П. А. Воршевский, Е. С. Гришаков.
Обеспечение электромагнитной совместимости
судового электрооборудования 55
- И. С. Антаненкова, А. А. Ветренко. Термодинамический анализ
эффективности цикла судовой утилизационной энергоустановки
на низкотемпературном рабочем веществе 58
- С. В. Виноградов, Ч. Х. Хоанг, К. Д. Нгуен. Программа для автоматического
расчета параметров термоэлектрического генератора для установки
на танкере «NSU Keystone» 64



Л. Г. Кузнецов, Ю. Л. Кузнецов, А. В. Бураков, А. С. Перминов, А. В. Ткалов. Эффективные дожимные компрессорные установки для технологических газов на объектах ВМФ, нефтегазового сектора и энергетики.....	69
В. С. Земко, Г. А. Трач, Р. Р. Мусакулов. Перспективные способы улучшения уплотнительной поверхности запорного трехэксцентрикового дискового затвора с применением детонационного метода нанесения	71

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Д. А. Кондратьев, Ю. В. Романова. Система контроля и диагностирования бортового оборудования автономного подвижного объекта.....	77
М. И. Исмагилов, А. Н. Попов. Интерфейс пользователя e-Навигации в среде гибридной реальности.....	81
С. К. Воловодцов, А. В. Смольников. Стабилизация глубины погружения МПО при движении вблизи взволнованной поверхности	85
С. В. Федоров, К. О. Строкин. Применение компьютерных моделей в процессе проектирования систем и объектов управления.....	88
Е. В. Пименов. Обзор интерфейсов и протоколов, применяемых в морской технике	91
С. К. Данилова, А. М. Кусков, И. М. Кусков, Н. Н. Тарасов. Модель движения и адаптивного управления телеуправляемого необитаемого подводного аппарата в сложной динамической системе	93
А. П. Лось, А. К. Розов. Построение информационно-управляющих систем, уменьшающих качку корабля.....	98
В. В. Григорьев-Голубев, Ю. И. Нечаев, К. В. Рождественский. Проблемы подготовки иностранных специалистов на основе достижений современной компьютерной математики и теории катастроф.....	100

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

О. М. Rogov. Тенденции развития систем совместного безопасного применения оружия	105
К 90-летию П. И. Малеева.....	107
В. М. Борисов, В. А. Ульченко, А. К. Чумаков. Рациональное использование запасов трески Баренцева моря и возможности ярусного промысла в сдерживании ее каннибализма.....	109
Е. Ю. Соболевская С. В. Глушков, Н. Г. Левченко, А. М. Коваленко. Формирование параметров базы знаний характеристик ледовых условий плавания с использованием аппарата нечеткой логики.....	117
Г. А. Сорокин, В. Л. Суслов. Организационные, психосоциальные и экологические факторы усталости и здоровья работников судостроения	120

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

Г. А. Гребенищикова. Россия и Англия при императоре Павле: 220 лет Нидерландской экспедиции	124
--	-----

Главный редактор

Э. А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д. С. Глухов

Тел./факс: (812) 6004586

Факс: (812) 5711545

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

Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д. В. Казунин, д-р техн. наук

Р. Н. Караев, канд. техн. наук

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

А. И. Короткин, д-р техн. наук, проф.

П. А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

П. И. Малеев, д-р техн. наук

Ю. И. Нечаев, д-р техн. наук, проф.

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

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

Л. А. Промыслов, канд. техн. наук

А. В. Пустошный, 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 1000 экз. Заказ № 879

Ответственность за содержание информационных и рекламных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы и рекламодатели. Перепечатка допускается только с разрешения редакции

Морской Вестник



№2(70)

J u n e

2 0 1 9

Morskoy Vestnik

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

Editorial Council

Chairman

A.L. Rakhmanov, President
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 SPMDDB Malachite

V.V. Dudarenko, Chairman of the Board of Director

JSC Sudpromkomplekt

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

V.N. Ilukhin, Chairman NO ASRTD

E.A. Konov, Director

JSC Publishing House Mor Vest

A.A. Kopanov, General Director

JSC SPF Meridian

G.A. Korzhavin, General Director

JSC Concern Granit-Elektron

A.V. Kuznetsov, General Director JSC Armatit

L.G. Kuznetsov, General Designer

JSC Compressor

G.N. Muru, Executive Director JSC 51 CDTISR

I.M. Mukhutdinov, General Director

JSC SF Almaz

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.V. Shatalov, General Director

JSC DB Vypel

K.Yu. Shilov, General Director

JSC Concern SPA Aurora

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC CMDB Almaz

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

A.S. Solov'yev, General Director

PIJSC Vyborg Shipyard

S.B. Sukhov, General Director

JSC Pumori-north-west

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

V.A. Titlyanov, General Director JSC SRNHI

G.R. Tsaturov, General Director

OJSC Pella

A.L. Ulyanov, General Director

LLC Neva International

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

- The nuclear-powered icebreaker «Ural» was launched at the Baltic Shipyard* 1
- Laid down of the innovative research vessel «Pioner-M»* 6
- A. G. Yegorov**. Analysis of domestic experience in re-equipment
of cruise passenger ships 9
- R. R. Rakhmatullin, A. V. Mesropyan**. From monoripus to trimaran 16
- M. A. Aleksandrov, A. G. Bogdanov, D. A. Skorokhodov**. Assessment
of parameters of aerial rudder movement on the air cushion 19
- L. V. Ivanov, A. V. Anokhin, A. V. Zaytsev**. Analysis of membrane
storage systems of cargo for gas tankers 21
- Yu. I. Stekol'nikov**. Ways to ensure the survivability of ship systems 25
- V. T. Tomashevsky – 90 years* 27
- D. V. Kurochkin**. Project 22160 patrol ship – a new class of corvettes
for the domestic fleet and for export 29
- V. V. Zamukov, M. I. Govorovskaya, D. V. Sidorenkov, I. I. Kurdyukov**.
Objects of SPMDDB Malachite JSC with nuclear power plants
with liquid metal coolant 33

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

- N. M. Vikhrov – 70 years* 37
- A. V. Ivankovich**. Mathematical modeling in the field of budgeting
as a way to improve the efficiency of the enterprise 39
- A. E. Ermakov**. Some issues of CAD in domestic shipbuilding 40
- P. A. Koprov**. Features of the replacement of imported non-repairable equipment
for domestic counterparts 44

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- V. V. Baranovsky, K. A. Yefremov**. Assessment of the feasibility
of developing promising ship gas turbine engines in ensuring the reduction
of operating costs of promising multipurpose naval ships 46
- M. I. Ollie, D. G. Baskakov**. The use of hydrogen technologies
for energy development 50
- A. M. Agafonov, A. A. Vorshevsky, P. A. Vorshevsky, E. S. Grishakov**.
Ensuring electromagnetic compatibility of ship electrical equipment 55
- I. S. Antanenkov, A. A. Vetrenko**. Thermodynamic analysis of the efficiency
of the cycle of the ship utilization power plant at a low-boiling working substance 58
- S. V. Vinogradov, T. H. Hoang, C. D. Nguyen**. Program for automatic
calculation of thermoelectric generator parameters for installation on the
«NSU Keystone» tanker 64



L. G. Kuznetsov, Yu. L. Kuznetsov, A. V. Burakov, A. S. Perminov, A. V. Tikalov. Efficient booster compressor units for process gases at facilities of the Navy, the oil and gas sector and energy 69

V. S. Zemko, G. A. Trach, R. R. Musakulov. Promising ways to improve the sealing surface of a three-eccentric butterfly valve using the detonation method of deposition 71

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

D. A. Kondratiev, Yu. V. Romanova. The system of monitoring and diagnosing on-board equipment of an autonomous moving object 77

M. I. Ismagilov, A. N. Popov. E-Navigation user interface in hybrid reality environment 81

S. K. Volovodov, A. V. Smol'nikov. Stabilization of the depth of immersion MPO when moving near a disturbed surface 85

S. V. Fedorov, K. O. Strokin. The use of computer models in the design of systems and control objects 88

E. V. Pimenov. Overview of interfaces and protocols used in marine engineering 91

S. K. Danilova, A. M. Kuskov, I. M. Kuskov, N. N. Tarasov. Model of movement and adaptive control of a remote-controlled uninhabited underwater vehicle in a complex dynamic system 93

A. P. Los, A. K. Rozov. Building information and control systems that reduce the ship's rolling motion 98

V. V. Grigor'ev-Golubev, Yu. I. Nechaev, K. V. Rozhdestvensky. Problems of training foreign specialists based on the achievements of modern computer mathematics and the theory of catastrophes 100

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

O. M. Rogov. Trends in the development of systems for the joint use of safe weapons 105

To the 90th anniversary of P. I. Maleev 107

V. M. Borisov, V. A. Ul'chenko, A. K. Chumakov. Rational use of cod stocks of the Barents Sea and the possibility of longline fishing in the containment of its cannibalism 109

E. Yu. Sobolevskaya, S. V. Glushkov, N. G. Levchenko, A. M. Kovalenko. Formation of the parameters of the knowledge base of the characteristics of ice navigation conditions using the apparatus of fuzzy logic 117

G. A. Sorokin, V. L. Suslov. Organizational, psychosocial and environmental factors of fatigue and health of shipbuilding workers 120

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

G. A. Grebenshchikova. Russia and England during Emperor Paul: 220 years of the Dutch Expedition 124

Editor-in-Chief

E. A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D. S. Glukhov

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 5711545

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.

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.

L. A. Promyslov, Ph. D.

A. V. Pustoshny, 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 1000. Order № 879

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

На «Средне-Невском судостроительном заводе» в Санкт-Петербурге 21 мая состоялась церемония закладки судна инновационного проекта «Пионер-М». В ней приняли участие директор Департамента Министерства науки и высшего образования РФ Вадим Медведев, вице-президент АО «ОСК» Дмитрий Колодяжный, заместитель директора направления «Молодые профессионалы» Агентства стратегических инициатив Андрей Силинг, Администрация Колпинского района Санкт-Петербурга и представители заказчика – Севастопольского государственного университета.

Научно-исследовательское судно (НИС) катамаранного типа «Пионер-М» предназначается для выполнения широкого спектра комплексных научно-исследовательских работ в прибрежных районах Черного и Азовского морей, в том числе океанографических, гидробиологических, гидрохимических, геоморфологических, гидроакустических, подводно-технических. На небольшом судне это будет обеспечено благодаря применению сменных модульных научных лабораторий контейнерного типа, оснащенных необходимым оборудованием и приборами, водолазным и подводным робототехническим комплексами. НИС «Пионер-М» станет первым в России судном, на котором будут отрабатываться задачи, технологии и нормативы для «безэкипажного» судовождения (БЭС). Другими направлениями инновационных решений, примененных в проекте, являются:

1) использование новейших композитных материалов и технологий вакуумной инфузии при изготовлении корпуса, корпусных конструктивных элементов, надстройки, рубки и пульта судоводителя. Отечественные материалы из углепластика разработаны, сертифицированы Российским морским регистром судоходства и будут поставляться компанией концерна «Росатом» – АО «Препрег-СКМ»;

2) применение дополнительного альтернативного источника энергии – отечественного высокотехнологичного комплекса солнечных панелей общей площадью до 50 м², накопительных литиевых аккумуляторов и эффективных преобразователей накопленной в аккумуляторах энергии в стандартное судовое напряжение 230 В, 50 Гц. При этом достигается «зеленая энергия» мощностью не менее 8 кВт, которая используется для питания высокоточного научного оборудования и является резервным источником для общесудовых потребителей;

ЗАКЛАДКА ИННОВАЦИОННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «ПИОНЕР-М»

АО «ОСК-Технологии»,
контакт. тел. (812) 635 0575



*Церемония закладки судна «Пионер-М».
Выступает генеральный директор АО «СНЧЗ» В.А. Середохо*

3) использование интегрированной системы управления судном, обеспечивающей работу одного человека на мостике и взаимодействие как с системой безэкипажного судовождения, так и с модульными научными лабораториями;

4) применение цифровых технологий проектирования и производства;

5) внедрение системы управления жизненным циклом судна по управляемым параметрам технической эксплуатации и готовности.

Как отметил в своем выступлении ректор Севастопольского университета Владимир Нечаев, проект стал мощным драйвером развития системы образования – в проектировании НИС «Пионер-М» под руководством преподавателей университета приняли участие студенческий проектный офис, специалисты ЦКБ «Коралл» и АО «ОСК-Технологии» (входят в ОСК). Опыт создания концепции НИС становится образцом для проектирования. Магистратура по направлению «Инновационное судостроение» стала сетевой, и за следующее судно возьмутся совместно студенты Севастопольского и Северного (Арктического) федерального университетов». Кроме того, судно будет важнейшим элементом подготовки инженеров-кораблестроителей, инженеров-механиков и электромехаников, специалистов по системотехнике и системам управления, инженеров-исследователей в области океанографии, гидрографов, специалистов по проведению подвод-

но-технических работ, судоводителей и штурманов.

Строительство судна ведут предприятия ОСК: АО «ОСК-Технологии» (головной разработчик документации судна и поставщик интегрированной системы управления судном), АО «Средне-Невский судостроительный завод (головной завод-строитель) с привлечением центров специализации ОСК, филиала «Севастопольский морской завод» АО «ЦС «Звездочка» и ГУП «КТБ «Судокompозит». Отдельные расчетные задачи, проектные документы и дизайнерские решения будут выполнены проектным комитетом и студенческим коллективом Севастопольского университета в тесном сотрудничестве со специалистами-судостроителями.



Закладная доска НИС «Пионер-М»

Проект реализуется в рамках ФЦП «Исследование и разработка по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ и Агентства стратегических инициатив. ■

Постановка проблемы. Речные круизы – популярная разновидность туризма, развитая во всем мире. Помимо существующих круизов в Европе, США, Китае, Египте, России и Украине, появляются новые круизы по небольшим рекам Европы (включая Беларусь, Португалию, Францию), Южной Америке, Вьетнаму, Камбодже и т. п. [1]. Заметны не только диверсификация круизов, но и повышение качества самих речных круизных пассажирских судов (РКПС) [2]. Все это – результат учета потребностей клиентов, которые становятся более требовательными к уровню обеспечения отдыха.

Отечественные РКПС, помимо того, что удовлетворяют потребности «своих» туристов в круизах, являются, в том числе, звеньями мировой круизной цепи. На нашем рынке работают такие операторы, как «Viking River Cruises», «Scenic Tours» и многие другие, которые продают круизы по Волге и Днепру как часть составного большого тура, который очень популярен у иностранных туристов.

С каждым годом флот РКПС стареет, причем в первую очередь морально – технологический процесс не стоит на месте, и даже десятилетние европейские круизные пассажирские суда подвергаются модернизации, чтобы выдерживать конкуренцию на рынке [3].

Операторы же отечественных РКПС работают в условиях короткой навигации и имеют ряд проблем экономического и логистического характера [4], поэтому не могут столь динамично реагировать на изменения рынка. Тем не менее, как показывает прогноз автора [5], флот отечественных РКПС существенно сократится в ближайшие 10 лет, тем самым сократится и объем пассажирских круизных перевозок туристов, в том числе иностранных. Выходом из ситуации на ближайшую перспективу может служить модернизация и конверсия РКПС. Модернизация в отечественных условиях позволит продлить срок службы РКПС на 10–15 лет, конверсия – на 20–25 лет [6].

Цель статьи – описание уже реализованных примеров модернизации и конверсии отечественных РКПС, в том числе и по проектам «Морского инженерного бюро», с анализом основных результатов работ.

«Княжна Виктория» (модернизация РКПС пр. 301). В 2010–2011 гг. компанией «Московский туристический флот» была выполнена модернизация до уровня четырехзвездочной гостиницы судна «Александр Грибоедов» 1982 г. постройки. После модернизации судно получило название «Княжна Виктория».

Были полностью демонтированы внутренние конструкции пассажирских помещений теплохода, вместо окон на шлюпочной и средней палубах врезаны балконные блоки, проведена тер-

АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА ПЕРЕОБОРУДОВАНИЯ КРУИЗНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ

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

моизоляция внешних стен, изготовлены перегородки и двери новых кают и коридоров из панелей класса В15. За счет сокращения пассажироместимости площадь стандартных кают увеличилась до 15–25 м². Большая часть кают получили собственные балконы. При этом каюты были оборудованы, как аналогичные номера береговых отелей. Предусмотрены спутниковое телевидение и Wi-Fi, холодильники с мини-барами, системы управления климатом, телефоны, каютные сейфы, фены.

Кроме того, на судне установлены лифты, приспособленные для людей с ограниченными возможностями. Начиная с 2012 г., судно работает с иностранными туристами на линии Санкт-Петербург – Москва.

«Викинг Синеус» (модернизация РКПС пр. 301). Следующий пример – судно пр. PV17 «Викинг Синеус» пассажироместимостью 196 человек компании «Viking River Cruises» (модернизация судна «Михаил Ломоносов»). Работы проводились в межнавигационный период 2013–2014 г. с целью увеличения комфортабельности судна за счет значительного увеличения площади кают, ресторанов и общественных помещений.

Проект PV17 был разработан «Морским инженерным бюро». Судно предназначается для перевозки пассажиров на круизных линиях река-море плавания Киев – Херсон – Севастополь – Одесса – Ялта и Киев – Херсон – Одесса – Дунайская Прорва – Бургас (в период с апреля по октябрь).

Класс Регистра Судоходства Украины – М-ПР 2,5. Судно представляет собой четырехпалубный трехвинтовой теплоход габаритной длиной 125,0 м, шириной 16,70 м, с четырехъярусной надстройкой по всей длине судна, с кормовым расположением машинного отделения и ходовым мостиком в носовой части, с двойным дном, с наклонным форштевнем и крейсерской кормовой оконечностью.

Для размещения 196 пассажиров предусмотрены 98 двухместных кают, включая:

- 4 апартаменты с балконом площадью от 30,1 до 31,6 м²;
- 2 каюты «люкс» с балконами площадью 24,2 м²;
- 60 кают с балконами площадью от 13,5 до 16,0 м²;

– 32 каюты площадью от 11,1 до 12,9 м².

Блок пассажирских помещений располагается на трех палубах надстройки: главной, верхней и шлюпочной. Все пассажирские каюты оборудованы двухпальными кроватями, душем с туалетом, кондиционером, шкафами, сейфом, телевизором со спутниковыми и внутрисудовыми каналами, феном, беспроводным интернетом (Wi-Fi), судовой радиотрансляцией, внутренней и внешней телефонной связью.

Каюты на верхней и шлюпочной палубах имеют индивидуальные балконы, оборудованные сдвижными перегородками, обеспечивающими свободный проход по палубам вдоль всего судна в аварийных ситуациях.

На верхней палубе расположен ресторан, позволяющий в одну смену кормить всех пассажиров, площадью около 350 м², вместимостью 212 посадочных мест, перед рестораном организован вместительный вестибюль с кофе-станцией, местом отдыха и общественными туалетами. В носовой части шлюпочной палубы оборудован обзорный бар площадью около 100 м² вместимостью 55 мест.

На тентовой палубе разместились музыкальный салон с баром площадью около 150 м², вместимостью 100 мест и большая открытая палуба с шезлонгами и тентом. На главной палубе, в холле, размещена стойка регистрации пассажиров с зоной отдыха и библиотекой.

Кондиционирование, водоснабжение и вентиляция соответствуют представлениям о четырехзвездочной гостинице. Пассажирский лифт соединяет все пассажирские палубы теплохода.

Экипаж и обслуживающий персонал из 84 человек размещается в одно-, двух- и трехместных каютах на нижней (в корпусе судна) и на тентовой палубах. Спасательное устройство состоит из четырех спасательных шлюпок и 46 спасательных надувных сбрасываемых плотов.

«Мстислав Ростропович» (модернизация РКПС пр. 92–016). В 2009–2011 гг. круизная компания «ВодоходЪ» полностью переоборудовала РКПС «Мстислав Ростропович». Теплоход оснащен современным навигационным оборудованием и развивает скорость до 26 км/ч. Длина судна – 135,7 м, ширина – 16,8 м, осадка – 2,9 м.

Количество пассажиров – 212. Они размещаются в следующих каютах:

Основные характеристики судов

Характеристика	«Ильич»	Проект PV06
Длина по КВЛ, м	90,0	90,0
Ширина габаритная, м	14,3	14,3
Ширина по КВЛ, м	12,0	12,0
Высота борта, м	4,3	4,3
Высота от основной линии без мачты, м	16,7	16,7
Осадка, м	2,44	2,44
Пассажиры/мест, чел.	364	120
Экипаж/мест, чел.	72	70/72
Максимальная длительная мощность ГД, кВт	3х294	3х331
Скорость хода в грузу при осадке 2,4 м, уз	Ок. 12,8	Ок. 12,8
Автономность, сут.	7,5	7,5

Таблица 2

Распределение площадей палуб на судне пр. PV06 и пр. 588

Помещение	Площадь помещения, м²/%	
	Пр. PV06	Пр. 588
Каюты экипажа	418,3 / 9,1	369 / 8,8
Пассажирские каюты	754,7 / 16,4	774,7 / 18,5
Машинные помещения	337,5 / 7,3	252,7 / 6,0
Кладовые	62,2 / 1,4	97,8 / 2,3
Коридоры	330 / 7,2	440,3 / 10,5
Вспомогательные	94,7 / 2,1	155,2 / 3,7
Провизионные кладовые	62,4 / 1,4	24,8 / 0,6
Вестибюли	179,4 / 3,9	89,5 / 2,1
Помещения обслуживания пассажиров	121 / 2,6	18 / 0,4
Общественные помещения для экипажа	46,8 / 1,0	38,6 / 0,9
Камбуз	27,8 / 0,6	28,1 / 0,7
Провизионные помещения для экипажа	108,8 / 2,4	73,3 / 1,8
Салоны	375,5 / 8,2	262,5 / 6,3
Посты управления	61,4 / 1,3	40,4 / 1,0
Якорно-швартовное устройство	93,1 / 2,0	92,7 / 2,2
Палубные галереи	1114,9 / 24,3	883,2 / 21,1
Прочие	404,4 / 8,8	546,7 / 13,1
Суммарная площадь палуб	4592,9 / 100,0	4187,5 / 100,0

- двухместная класса «люкс» площадью 30 м² с балконом;
- 14 двухместных класса «полулюкс А» с балконом площадью от 19 м² до 21,6 м²;
- 57 двухместных класса «полулюкс Б» с балконом площадью от 15,7 до 16,5 м²;
- 15 двухместных класса «полулюкс Б» без балкона площадью от 18,7 до 22,6 м²;
- 8 двухместных с балконом площадью от 12,4 до 13,4 м²;
- 11 двухместных без балкона площадью от 10 до 13 м².

Во всех каютах есть шкаф для одежды, телевизор (спутниковое телевидение), сейф, холодильник, фен, радио, телефон, душ, санузел, обзорное окно или балкон, электророзетка 220 В.

На борту есть ресторан, бар-ресторан, бар, конференц-зал, лифт, тренажерный зал, сувенирный киоск, Wi-Fi интернет.

«Омега» (конверсия РКПС пр. 588). Более подробно рассмотрим конверсию (строительство нового судна с использованием элементов существующего) судна «Ильич» пр. 588, а именно пр. PV06.

Судно пр. PV06 строится с использованием ранее эксплуатировавшихся элементов т/х «Ильич» (пр. 588) в соответствии с Руководством Р003–2003 «Строительство судов внутреннего и смешанного плавания с использованием элементов эксплуатировавшихся судов» Российского Речного Регистра.

Основные характеристики судов представлены в табл. 1.

При проектировании общего расположения форма корпуса осталась без изменения. Надстройка судна была подвергнута значительной модернизации, связанной с увеличением полезной площади и комфортабельности пассажирской зоны. Пассажировместимость была уменьшена с 364 человек до 120 человек.

Распределение площадей палуб пр. PV06 и пр. 588 представлено в табл. 2.

Как видно из этой таблицы, площадь пассажирских кают практически не изменилась по сравнению с первоначальным проектом, однако, учитывая, что пассажировместимость уменьшилась почти в 3 раза, можно сделать вывод, что удельная площадь пассажирских кают на одного пассажира увеличилась в 3 раза, следовательно, увеличилась комфортабельность теплохода. Также следует отметить увеличение площадей общественных помещений для пассажиров, что отражает современные тенденции в проектировании круизных судов, направленные на «преобразование судна в плавучий четырехзвездочный отель» с соответствующими условиями обитания пассажиров.

Общее расположение судна пр. PV06 приведено на рис. 1.

Судно имеет четыре палубы, среднее расположение трехъярусной надстройки и одноярусной рубки, семь водонепроницаемых поперечных переборок, разделяющих судно на восемь водонепроницаемых отсеков.

Жилые и служебные помещения пассажиров и экипажа расположены в трюмных помещениях, на трех ярусах надстройки и в рубке. Пассажиры размещаются в двухместных каютах с индивидуальным санузлом. В каютах предусматривается установка двух одноместных коек либо одной двуспальной койки.

Для размещения пассажиров предназначены:

- 5 одноместных кают;
- 53 двухместные каюты;
- 4 двухместные каюты «люкс»;
- 1 одноместная каюта «люкс».

Каюты «люкс» включают в себя салон, спальню и индивидуальный санузел. Каюты первого и второго класса оборудованы индивидуальными санузлами.

В каютах первого класса расположение коек одноярусное, в каютах второго класса – двухъярусное. На судне предусмотрены необходимые санитарно-гигиенические помещения и санитарно-бытовые помещения для пассажиров и камбузный блок.

Общее количество спальных мест для пассажиров на судне – 120.

Для отдыха пассажиров предусмотрены следующие помещения:

- ресторан на 100 посадочных мест;
- салон для конференций на 100 посадочных мест;
- читальный салон на 25 посадочных мест;
- бар на 50 посадочных мест;
- бизнес-центр;
- парикмахерская;
- детская комната.

Кроме того, на судне имеется магазин сувениров.

Капитан, старший механик и командный состав размещаются в одноместных каютах с индивидуальным санузлом, остальной экипаж и обслуживающий персонал – в двухместных каютах.

Для размещения экипажа предназначены:

- 28 двухместных кают;
- 13 одноместных кают;
- 1 блок-каюта капитана.

Предусмотрена одна запасная двухместная каюта. Блок-каюта капитана включает в себя кабинет, спальню и индивидуальный санузел. Каюты комсостава оборудованы индивидуальным санузлом. Каюты экипажа оборудованы умывальниками.

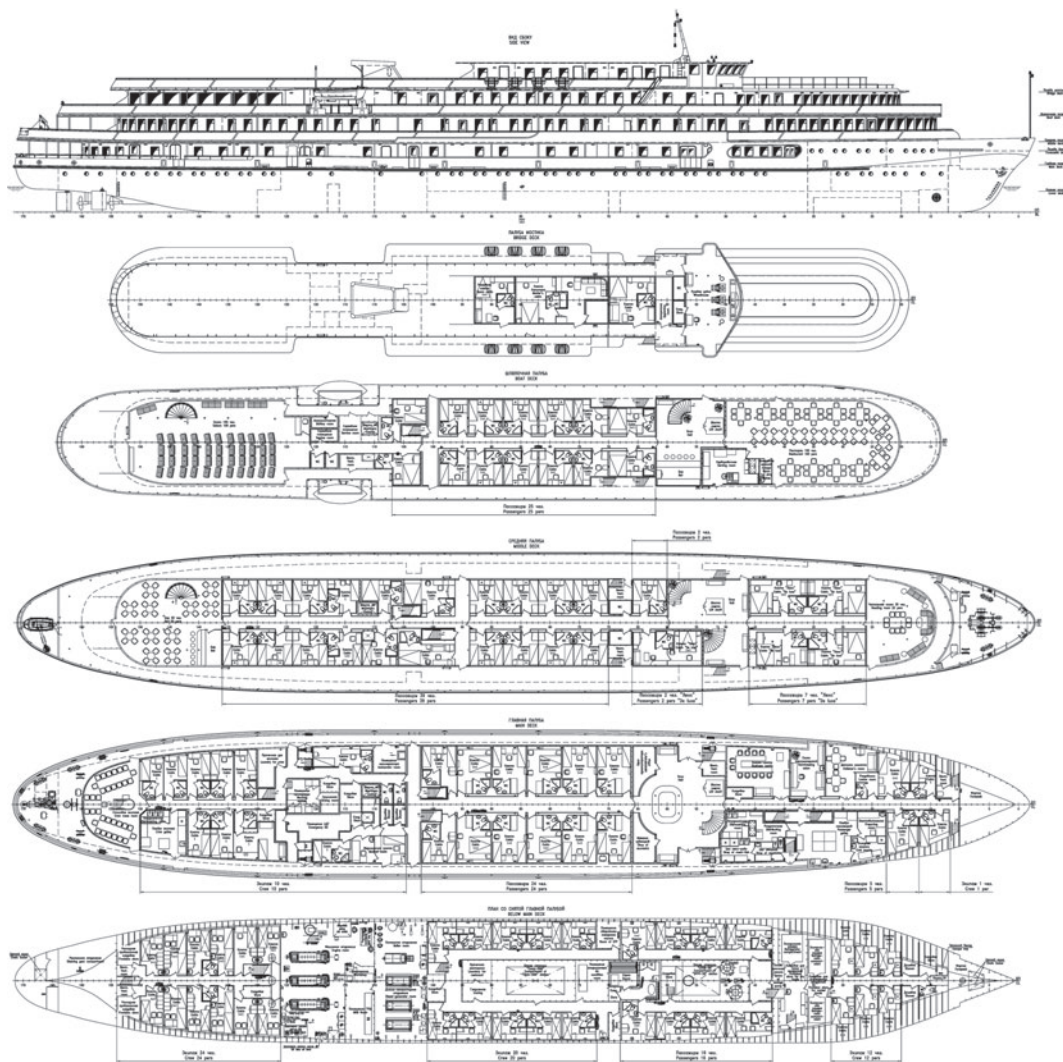


Рис. 1. Общее расположение судна пр. PV06

На судне предусмотрены необходимые санитарно-гигиенические помещения и санитарно-бытовые помещения для экипажа и камбузный блок.

Общее количество мест для экипажа на судне – 72.

Все жилые и общественные помещения, рулевая рубка оборудуются системой кондиционирования. В каютах пассажиров предусмотрена возможность регулирования температуры воздуха.

Противопожарная защита судна выполнена в соответствии с требованиями Правил РРР, обеспечивается конструктивными элементами корпуса и надстройки, системами пожаротушения, стационарной системой обнаружения пожара, материалами противопожарной изоляции, а также комплектом противопожарного снабжения.

На судне выполнены все необходимые мероприятия для выполнения требований Правил экологической безопасности судов РРР. Конструкции нового корпуса полностью удовлетворяют требованиям Правил РРР.

Судно спроектировано на срок эксплуатации 15 лет в соответствии с требованиями Руководства. Корпус судна делится поперечными водонепрони-

цаемыми переборками на восемь отсеков. В качестве материала основных конструкций корпуса применяется судостроительная сталь категории В и А, пределом текучести 235 МПа. Элементы конструкций главной и средней палуб, надстройки до средней палубы выполнены из стали категории В с пределом текучести 235 МПа, наружная обшивка и примыкающий набор – из стали категории В с пределом текучести 235 МПа, поперечные переборки – из стали категории А с пределом текучести 235 МПа. Элементы конструкций палуб, надстроек и рубок выше средней палубы выполнены из алюминиевого сплава АМг5М, наружный борт, палубы надстроек, надстройки и рубка по всей длине судна выполнены по поперечной системе набора, главная и средняя палубы – по продольной системе набора, наружные и внутренние стенки надстроек и рубок – гладкими, наборной конструкции. Поперечная шпация – 550 мм; флоры расположены на каждой шпации.

На судне установлено семь главных водонепроницаемых поперечных переборок, разделяющих корпус на восемь непроницаемых отсеков.

В основном винторулевой комплекс остается с исходного судна. Судно дооборудуется вспомогательным электрическим приводом рулевой машины.

Существующее на судне подруливающее устройство (ПУ) демонтируется за исключением бортовых труб и решеток, к которым монтируется новое ПУ мощностью 75 кВт.

В основном якорное устройство остается с исходного судна. Носовое якорное устройство (брашпиль) дооборудуется гидравлическим устройством дистанционной отдачи левого якоря.

На судне три лифта, один пассажирский на главной палубе с тремя остановками и два грузовых камбузных лифта.

Судно оборудовано новыми главными двигателями и дизель-генераторами необходимой мощности. Частота вращения гребных винтов – 290 об/мин, мощность каждого ГД – 331 кВт.

На судне устанавливаются компас магнитный основной с дистанционной передачей данных в рулевую рубку; компас магнитный запасной (взаимозаменяемый с основным); две РЛС 9 ГГц; приемник GPS; лаг; эхолот; оборудование АИС; картплоттер; гироскоп; метеостанция.

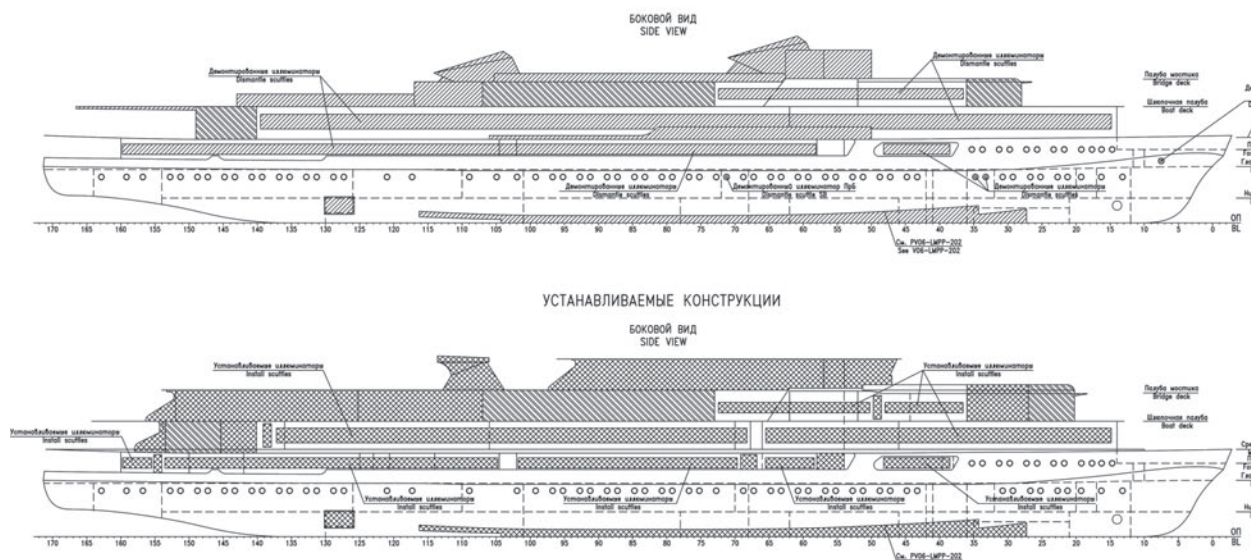


Рис. 2. Схема демонтируемых и устанавливаемых конструкций на конверсионном РКПС пр. PV06

На рис. 2 представлены схемы демонтируемых и устанавливаемых конструкций судна пр. PV06 (боковой вид).

Основные позиции модернизации:

- приведение судна к современным требованиям Регистра;
- повышение комфортабельности теплохода за счет уменьшения числа кают и изменения компоновки общественных помещений;
- обновление конструкций корпуса;
- обновление основных механизмов (главный двигатель, электростанция, подруливающее устройство).

«Александр Грин» (конверсия пр. Q-065). В 2011 г. в компании «Московский туристический флот» возникла идея постройки нового круизного судна на базе существующего. Результатом этой идеи стало создание РКПС пр. PV08 «Александр Грин», построенного с использованием отдельных элементов эксплуатировавшегося судна «Александр Блок». Пр. PV08 был выполнен «Морским инженерным бюро» [6].

Судно «Александр Грин» было построено в Рыбинске на верфи братьев Нобель в 2011–2012 гг., сдано в эксплуатацию 9 июня 2012 г. (рис. 3).

«Александр Грин» пр. PV08 стал первым отечественным РКПС, созданным на постсоветском пространстве после 1959 г.

РКПС «Александр Грин» построено в рамках закона о поддержке отечественного судостроения и судоходства, направленного на предоставление льгот операторам рынка, участвующих в новом судостроении и регистрирующих суда под государственным флагом Российской Федерации. Судно зарегистрировано в Российском международном Реестре.

«Московское речное пароходство» реализовало этот проект по принципиально новой для судостроения схеме финансирования с привлечением лизинговой компании «Гознак-лизинг».

РКПС «Александр Грин» зафрахтовано австралийской компанией «Scenic Tours» и совершает круизы с иностранными туристами. Судно перевозит австралийских туристов, для которых круиз по рекам России входит в общее путешествие от Франции до Японии. «Александр Грин» также позиционируется как четырехзвездочный отель.

Представляет собой трехпалубный трехвинтовой теплоход габаритной длиной 90,4 м, шириной 14,76 м, с трехъярусной надстройкой по всей длине судна (высота до верхней кромки несъемных частей при осадке 1,6 м составляет 10,4 м), с кормовым расположением машинного отделения и ходовым мостиком в носовой части, с двойным дном, с наклонным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью.

Судно предназначено для перевозки круизных пассажиров по внутренним водным путям европейской части Российской Федерации в бассейнах разряда «М», включая Ладожское и Онежское озера, а также на участках рек с ограниченными габаритами судового хода. Основное назначение проекта – комфортабельные круизы между Москвой и Санкт-Петербургом с навигационным периодом длительностью 5 месяцев с середины мая до середины октября.

Для размещения 112 пассажиров предусмотрены 56 стандартных двухместных кают площадью 14,5–18 м² и 6 улучшенных кают «люкс» площадью 23–25 м², 4 каюты класса «люкс» и 2 каюты класса «Панорама люкс». Блок пассажирских помещений располагается на трех палубах надстройки: главной «Москва», средней «Волга» и шлюпочной «Нева».

Все пассажирские каюты оборудованы двуспальными кроватями, душем с туалетом, кондиционером, шкафами, сейфом, телевизором со спутниковыми и

внутрисудовыми каналами, феном, электрическими розетками на 220 В, беспроводным интернетом (Wi-Fi), судовой радиотрансляцией, внутренней и внешней телефонной связью.

Каюты на палубах «Нева» и «Волга» имеют индивидуальные балконы, которые оборудованы сдвижными перегородками, обеспечивающими свободный проход по палубам вдоль всего судна в аварийных ситуациях.

К услугам пассажиров на палубе «Москва» – ресторан площадью 281 м² на 150 посадочных мест, салон площадью 221 м² с баром на 65 мест, спортзал, массажная, парикмахерская, амбулатория.

Кондиционирование, водоснабжение и вентиляция также соответствуют представлениям о четырехзвездочной гостинице. Пассажирский лифт соединяет все палубы теплохода.

Большая верхняя открытая палуба с шезлонгами служит для полноценного отдыха туристов.

Новые современные двигатели и оборудование, средства радионавигации, управления и автоматизации обеспечивают безопасную эксплуатацию судна в любых режимах, включая круизы по Ладожскому и Онежскому озерам.

Судно на ходовых испытаниях показало скорость 22 км/ч.

Двигатели теплохода произведены в 2011–2012 гг. ОАО «Волжский дизель имени Маминих». В состав СЭУ входят три главных дизель-реверс-редукторных агрегата мощностью по 337 кВт и три дизель-генератора мощностью по 300 кВт. Дизель-реверс-редукторные агрегаты ДРРА32/ЛП и ДРРА32/ЛЛ, используемые в качестве главного двигателя, собраны на базе дизельных двигателей 6ЧН21/21 с реверс-редукторной передачей РРП32 (мощность 337 кВт, обороты двигателя 1000 об/мин., обороты вала на выходе редуктор – 437 об/мин).

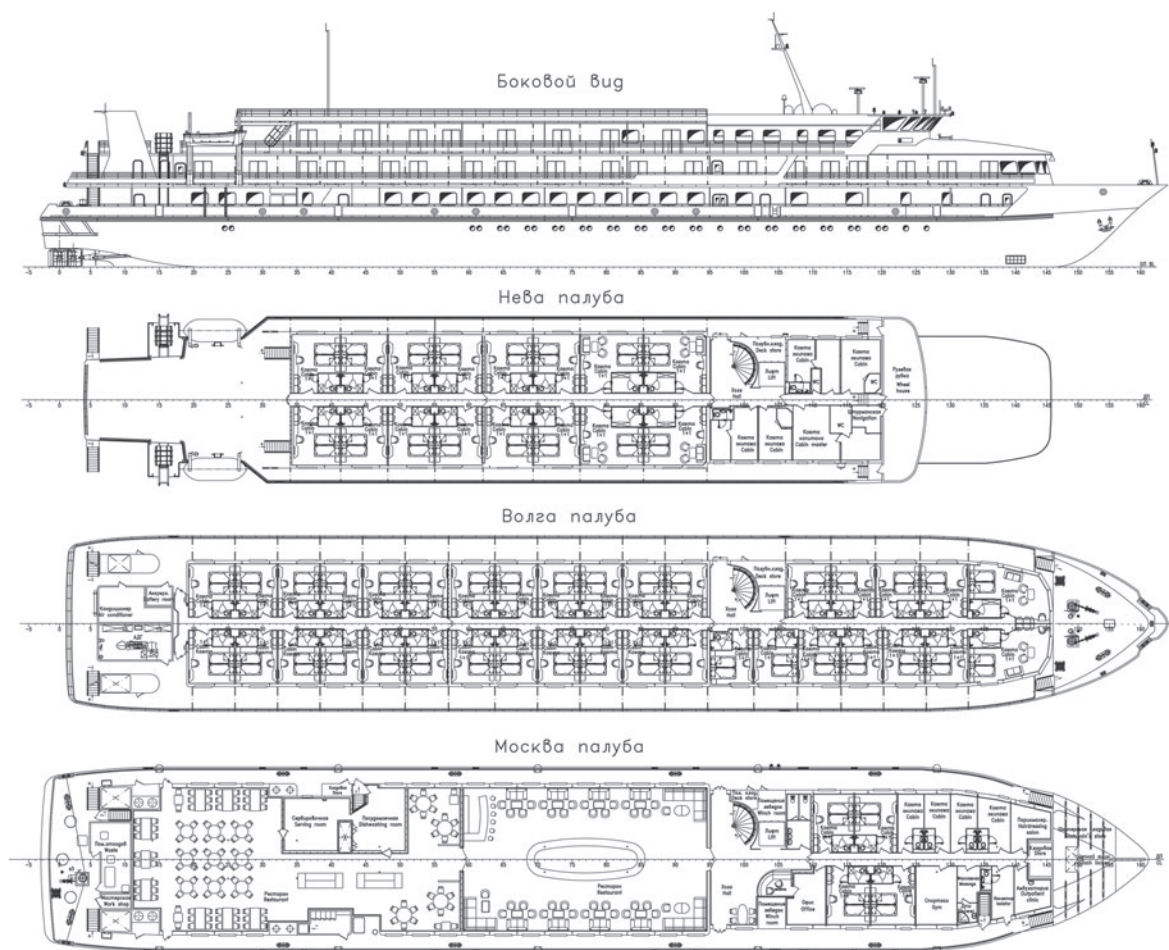


Рис. 3. Общее расположение т/х «Александр Грин»

Система ДАУ и автоматики управления судовой энергетической установкой выполнена предприятием ОАО «Риатон-П» (г. Барнаул).

Винторулевой комплекс состоит из трех винтов фиксированного шага и трех обтекаемых рулей с управляемыми закрылками (рули типа Беккера). Для улучшения управляемости на малых ходах, при проходе шлюзов и при швартовках на судне предусмотрено носовое подруливающее устройство мощностью 207 кВт.

Экипаж и обслуживающий персонал из 62 человек размещается в одно-, двух- и трехместных каютах на нижней палубе (в корпусе судна) и в носовых частях главной и шлюпочной палуб. Спасательное устройство состоит из двух моторных спасательных шлюпок вместимостью по 14 чел. каждая и 6 надувных самовосстанавливающихся спасательных плотов вместимостью по 25 чел. каждый.

Судно соответствует повышенным стандартам экологической безопасности. На нем предусмотрена закрытая система сточных и хозяйственно-бытовых вод. Все сточные и хозяйственно-бытовые воды отводятся в сборные цистерны, также на судне имеется установка обработки сточных вод производительностью 90 м³/сут. [6].

Анализ результатов модернизации и конверсии РКПС. Основной целью модернизации или конверсии является повышение качества обитания на борту. Для реализации этого был выполнен детальный анализ распределения площадей на судах, которые были модернизированы или подверглись конверсии по проектам «Морского инженерного бюро», и сопоставление полученных результатов с данными исходных проектов (табл. 3). При неизменных главных размерениях достичь стандартов береговых отелей четырех-пяти звезд можно только за счет уменьшения пассажировместимости, именно поэтому все модернизированные или конверсионные РКПС могут принять меньшее количество пассажиров на борт по сравнению с изначальными проектами.

Средняя площадь пассажирской каюты на конверсионном РКПС пр. PV06 по сравнению с исходным судном пр. 588 выросла на 196,7% (с 4,1 до 12,2 м²), на конверсионном РКПС пр. PV08 по сравнению с исходным судном пр. Q-065 выросла на 188,2% (с 7,5 до 21,6 м²), на модернизированном РКПС пр. PV17 по сравнению с исходным судном пр. 301 выросла на 125,5% (с 9,2 до 20,7 м²), на «Княжне Виктории» – на 108,4% (до 19,1 м²).

Удельная полезная площадь (площадь общественных помещений на конверсионном РКПС пр. PV06 по сравнению с исходным судном пр. 588 выросла на 232,3% (с 4,7 до 15,7 м²/чел.), на конверсионном РКПС пр. PV08 по сравнению с исходным судном пр. Q-065 – на 63,0% (с 9,0 до 14,7 м²/чел.), на модернизированном РКПС пр. PV17 по сравнению с исходным судном пр. 301 – на 15,7% (с 8,6 до 9,9 м²/чел.), на «Княжне Виктории» – на 38,7% (до 11,9 м²/чел.).

Удельная полезная площадь (площадь общественных помещений для пассажира и кают) на конверсионном РКПС пр. PV06 по сравнению с исходным судном пр. 588 выросла на 221,5% (с 6,8 до 21,8 м²/чел.), на конверсионном РКПС пр. PV08 по сравнению с исходным судном пр. Q-065 – на 99,7% (с 12,8 до 25,5 м²/чел.), на модернизированном РКПС пр. PV17 по сравнению с исходным судном пр. 301 – на 54,0% (с 13,2 до 20,3 м²/чел.), на «Княжне Виктории» – на 63,0% (до 21,5 м²/чел.). Причем заметно, что чем старше «объект» модернизации/конверсии, тем значительнее разница в полученных значениях. При модернизации или конверсии РКПС наблюдается увеличение количества экипажа и обслуживающего персонала на одного пассажира, что также является нормой при повышении уровня обслужива-

Анализ распределения площадей, м²

Помещение	Площадь помещения, м ² /%						
	Пр. 588	Пр. PV06 (конверсия 588)	Пр. Q-065	Пр. PV08 (конверсия Q-065)	Пр. 301	Пр. PV17 (модерниза- ция 301)	Пр. «Княжна Виктория» (мо- дернизация 301)
Пассажирские каюты	751 /19,4	734,7 /19,7	675 /100	920,1 /21,1	1653,8 /22,5	1597 /25,0	1472 /22,1
Балконы пассажирских кают				290,3 /6,7	/0,0	433 /6,8	500 /7,5
Рестораны	109 /2,8	109,8 /2,9	114 /2,9	446,2 /10,2	220,8 /3,0	178,8 /2,8	476 /7,2
Бары, салоны, кинотеатры	243 /6,3	244,5 /6,5	273,4 /7,0	85,5 /2,0	317 /4,3	316,3 /5,0	354 /5,3
Прочие общественные помещения	82 /2,1	92,4 /2,5	27,7 /0,7	25 /0,6	14,1 /0,2	38,6 /0,6	206 /3,1
Коридоры	204 /5,3	217,3 /5,8	109,6 /2,8	103,9 /2,4	427 /5,8	193,8 /3,0	219 /3,3
Вестибюли, лифты	199 /5,1	157,1 /4,2	79,2 /2,0	99,5 /2,3	144 /2,0	163,7 /2,6	440 /6,6
Палубные галереи	872 /22,5	900,5 /24,1	651,8 /16,6	348,0 /8,0	1846,0 /25,1	958,0 /15,0	570 /8,6
Солярий		136,8 /3,7	233,6 /6,0	446,0 /10,2	116,6 /1,6		151 /2,3
Каюты экипажа	434 /11,2	404,2 /10,8	367 /9,4	350,4 /8,0	426,4 /5,8	751,8 /11,8	500 /7,5
Общественные помещения (э)	35 /0,9	55,6 /1,5	38,3 /1,0	38,3 /0,9	97,8 /1,3	257,3 /4,0	114 /1,7
Коридоры (э)	124 /3,2	98,4 /2,6	117,7 /3,0	112,3 /2,6	128 /1,7	194,7 /3,1	92 /1,4
Машинные помещения	308 /7,9	239,6 /6,4	512,8 /13,1	456,8 /10,5	931 /12,6	539,4 /8,5	901 /13,5
Кладовые	28 /0,7	42,6 /1,1	47,0 /1,2	57,3 /1,3	130 /1,8	19,5 /0,3	163 /2,4
Вспомогательные	80 /2,1			5,1 /0,1	89,5 /1,2	5,1 /0,1	
Провизионные кладовые (п)	64 /1,7	42,3 /1,1	65,6 /1,7	65,6 /1,5	109,1 /1,5	98,6 /1,5	73 /1,1
Провизионные кладовые (э)		7,9 /0,21					
Помещения пищеблока (п)	94 /2,4	66,2 /1,8	130,7 /3,3	136 /3,1	379 /5,1	78,3 /1,2	54 /0,8
Помещения пищеблока (э)	16 /0,4	16,9 /0,5	7,8 /0,2	7,8 /0,2	36 /0,5	46,1 /0,7	
Прачечные, гладильные (п)		11 /0,3	13 /0,3	13 /0,3	11,2 /0,2	76,6 /1,2	39 /0,6
Прачечные, гладильные (э)	35 /0,9	7,5 /0,2			54,1 /0,7	76,6 /1,2	
Медицинские помещения	14 /0,4	11,6 /0,3	16,6 /0,4	17,3 /0,4	33 /0,4		57 /0,9
Посты управления	63 /1,6	41,4 /1,1	56,8 /1,5	42,7 /1,0	64,6 /0,9	83 /1,3	85 /1,3
Якорно-швартовное устройство	97 /2,5	43 /1,2	105,2 /2,7	105,2 /2,4	131,4 /1,8	85,8 /1,3	125 /1,9
Прочие	23 /0,6	52,8 /1,4	272,5 /7,0	189,2 /4,3		189,2 /3,0	66 /1,0
Общая площадь кают	751 /19,4	734,7 /19,7	675 /17,2	1210,4 /27,8	1653,8 /22,5	2030 /31,8	1972 /29,6
Общая площадь общественных помеще- ний для пассажиров	1720,5 /44,4	1884,8 /50,5	1625,6 /41,5	1648,7 /37,8	3085,5 /41,9	1943,8 /30,5	2449 /36,8
Общая полезная площадь	2471,5 /63,8	2619,5 /70,2	2300,6 /58,8	2859,1 /65,6	4739,3 /64,4	3973,8 /62,3	4421 /66,4
Общая площадь служебных помещений	1403,5 /36,2	1114,6 /29,8	1614,8 /41,2	1502,4 /34,4	2621,1 /35,6	2407,4 /37,7	2236 /33,6
Общая площадь палуб	3875 /100	3734,1 /100	3915,3 /100	4361,5 /100	7360,4 /100	6381,2 /100	6657 /100
Количество пассажиров на борту, чел.	364	120	180	112	360	196	206
Удельная жилая площадь, м ² /чел.	2,1	6,1	3,8	10,8	4,6	10,4	9,6
Средняя площадь каюты	4,1	12,2	7,5	21,6	9,2	20,7	19,1
Удельная площадь общественных поме- щений для пассажиров, м ² /чел.	4,7	15,7	9,0	14,7	8,6	9,9	11,9
Удельная полезная площадь, м ² /чел.	6,8	21,8	12,8	25,5	13,2	20,3	21,5
Количество экипажа и обслуживающего персонала, чел.	72	70	75	62	94	84	112
Соотношение количества экипажа и об- служивающего персонала к пассажирам	0,20	0,58	0,42	0,55	0,26	0,43	0,54

Примечания: п – помещения для нужд пассажиров; э – помещения для нужд экипажа.

живания. Если на исходных проектах на одного члена команды приходилось 2,4–5 пассажиров, то на обновленных судах – 1,7–2,3.

Закключение. Обзор и анализ выполненных модернизаций и конверсий отечественных РКПС показал, что такие процедуры действительно эффективны: повышается качество жизни пассажиров на борту, улучшаются условия обитаемости, а в случае с конверсией повышается еще и надежность эксплуатации РКПС в целом (в зависимости от заложённых в конверсию средств и целей).

Процедуры конверсии и модернизации могут быть рекомендованы отечественным операторам как позволяющие

продлить жизнь речным круизным пассажирским судам в условиях ограниченных финансовых возможностей.

ЛИТЕРАТУРА

- Егоров А. Г. Анализ круизного пассажирского флота. – Ма-лы IX Международ. науч.-техн. конфер. «Инновации в судостроении и океанотехнике» – Николаев: НУК, 2018. – С. 61.
- Егоров А. Г. Анализ возможности реализации инновационных решений на модернизированных и конверсионных речных круизных пассажирских судах. – Тр. науч.-техн. конфер. по СМК, посвященной 125-летию со дня основания ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – СПб: «Крыловский государственный научный центр», 2018. – С. 144.
- Сайт круизной компании «Luftner Cruises»/Ренновация пассажирского судна «Amadeus Diamond». – URL: <http://www.lueftner-cruises.com/en/our-amadeus-fleet/ms-amadeus-diamond.html> (дата обращения 18.02.2019).
- Егоров Г. В. Перспективы круизов по рекам России // Морские вести России. – 2013. – №13 (386). – С. 12–16.
- Егоров А. Г. Анализ закономерностей списания речных круизных судов и прогноз состава речного флота с определением наиболее востребованных типов судов для конверсии и модернизации // Морской вестник. – 2019. – №1 (69) – С. 21–27.
- Егоров Г. В., Калугин Я. В. Опыт модернизации и строительства речных круизных судов с использованием элементов судов-доноров // 36. науч. праця НУК. – Миколаїв: НУК, 2013. – №2. – С. 4–9. ■

Современные схемные решения быст­роходных маломерных судов отли­чаются разнообразием и зависят от цело­го ряда факторов, среди которых можно выделить назначение, область и аквато­рию использования, требования к типу движительной установки, энергетичес­кую вооруженность, пассажиромести­мость, грузоподъемность и др.

Обзор научно-технической литера­туры и патентных источников позволил обобщить и структурировать информа­цию, результатом чего явилась представ­ленная на рис. 1 классификация мало­мерных судов.

В настоящее время наибольшее рас­пространение среди маломерных судов получили глиссирующие катера.

Корпуса катеров такой схемы имеют в поперечном сечении V-образную форму, а ближе к корме – глиссирующий участ­ок малой килеватости. При движении глиссирующего катера, благодаря форме корпуса, возникает гидродинамическая сила, которая компенсирует часть силы тяжести и вызывает значительное всплы­тие судна (катер скользит по поверхности воды – глиссирует), в результате умень­шается площадь соприкосновения днища с водой и за счет уменьшения смоченной поверхности и силы сопротивления дви­жению увеличивается скорость хода.

Формы монокорпусов глиссирующих катеров (рис. 2) довольно разнообразны: плоские, корпус с «закрученным» дни­щем, моногедрон, «глубокое V», «морской нож» и др. Максимальным гидродинамическим качеством при глиссировании обладает корпус с абсолютно плоским днищем, но такие корпуса обладают и своими недостатками, такими как, чувствительность к расположению центра тяжести и соот­ношению нагрузки и ширины днища; снос вбок при поворотах на большой скорости; сильные удары корпуса при волнении о волну. Все это негативно сказывается на комфорте и безопаснос­ти экипажа и пассажиров и может стать причиной разрушения корпуса судна. Монокорпус не всегда позволяет реализовать высокое гидродинамическое качество. Одна из возможностей повышения качества – это существенное уменьшение ширины глиссирующего участка днища, при котором судно может глис­сировать устойчиво и с большим углом атаки.



Рис. 2. Монокорпус глиссирующего катера

Несмотря на указанные недостатки, монокорпусники по­лучают широкое распространение благодаря сравнительной дешевизне и простоте изготовления.

Моделирование рабочих процессов обтекания жидкостью корпусов судов показывает, что, чем больше, по сравнению с шириной днища, длина смоченной поверхности и, следователь­но, расстояние от транца до точки приложения равнодействую­щей гидродинамических сил давление, тем выше скорость, при которой возможна потеря устойчивости. Именно это свойство

ОТ МОНОКОРПУСА К ТРИМАРАНУ

Р.Р. Рахматуллин, аспирант,

А.В. Месропян, д-р техн. наук, проф.,

Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ),
контакт. тел. +7(905) 002 3761

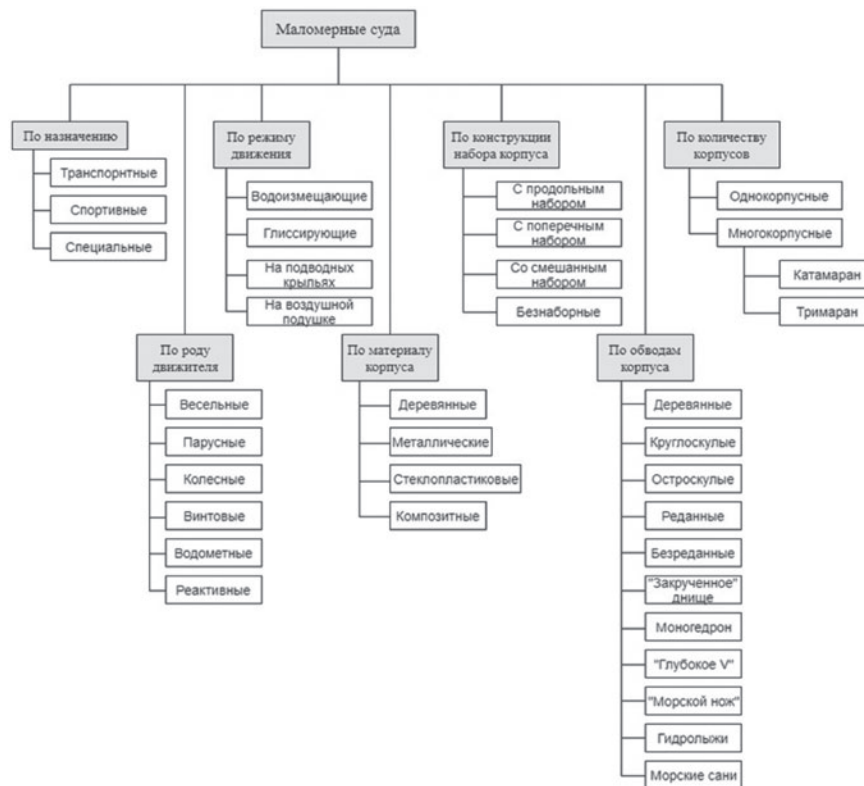


Рис. 1. Классификация маломерных судов

и используется в конструкции современных глиссирующих катамаранов (рис. 3).

Для смягчения ударов при ходе на волнении корпусам ка­тамаранной компоновки придают большую килеватость, чем монокорпусному катеру, остойчивость которого резко падает при увеличении килеватости. Благодаря тому, что при дви­жении катамарана воздух проходит с большой скоростью по тоннелю между корпусами катамарана, на платформе создается аэродинамическая подъемная сила, которая воспринимает часть нагрузки судна. В результате аэродинамической разгруз­ки уменьшается осадка и смоченная поверхность корпуса и, как следствие, повышается скорость [2].



Рис. 3. Глиссирующий катамаран

Гидродинамическое качество катамарана выше качества одно­корпусного глиссера при сравнительно малых расстояниях меж­ду корпусами. Катамараны выходят на глиссирование при более высоких скоростях, чем монокорпусные катера. Катамаранная схема используется, в основном, для высокоскоростных судов, развивающих скорости 45 км/ч и более [1].

На высоких скоростях аэродинамическая сила, возни­кающая на поверхности соединительного моста, может оп­

рокинуть судно через транец. Для обеспечения продольной устойчивости движения легкого катамарана под действием дополнительных аэродинамических сил и моментов мостик смещают ближе к транцу корпуса. Продольное сечение соединительного моста выбирают из числа таких аэродинамических профилей, у которых центр давления и аэродинамический фокус (точка приложения дополнительной силы при изменении угла атаки) имеют кормовое расположение [2].

К преимуществам катамарана относятся большая площадь палубы, меньший уровень качки при волнении (по сравнению с однокорпусным судном), лучшая маневренность и обзор (поскольку палуба катамарана остается параллельной поверхности воды на всех скоростях, что способствует и экономии топлива).

К недостаткам катамаранов можно отнести малую эффективность на небольших скоростях движения, соединительный мост катамарана при качке подвергается сильной нагрузке, при увеличении крена до некоторого угла происходит резкое снижение остойчивости, что приводит к риску опрокидывания, увеличенные поперечные габаритные размеры и непригодность к работе при наличии льда.

Одним из интересных и перспективных схемных решений является использование корпуса типа «тримаран». Тримараны (рис. 4) появились в конце 50-х гг., известные в настоящее время серийно выпускаемые тримараны могут развивать скорость 60 км/ч и выше [1].



Рис. 4. Тримаран

Иногда этот тип корпуса судна называют «кафедралом» за сходство поперечного сечения корпуса с очертаниями готического собора [3].

Отличительной особенностью всех существующих видов тримаранов являются основной корпус, имеющий обводы «глубокое V», и два боковых спонсона меньшего объема; очертания палубы в плане близки к прямоугольнику. Назначение спонсонов – повысить остойчивость катера на ходу и на стоянке, избавить судно от рыскливости при ходе на попутном волнении. В случае крена в воду входит значительный объем спонсона, возникающая на нем дополнительная сила поддержания создает восстанавливающий момент. Благодаря тому, что спонсоны параллельны по всей длине катера, а не сужаются подобно скулам корпуса традиционного типа, остойчивость тримарана намного выше. Кроме того, при крене на ходу к статической восстанавливающей силе прибавляются еще гидродинамические силы, возникающие на наружной наклонной поверхности входящего в воду спонсона, как на обычной глиссирующей пластине, расположенной под некоторым углом атаки [3].

Помимо лучшей остойчивости и мореходных качеств на волне, тримаран представляет конструктору гораздо больше возможностей в планировке внутреннего расположения.

К преимуществам тримарана относятся меньшая вероятность опрокидывания судна (по сравнению с монокорпусником), большая плавучесть, более высокая скорость (по сравнению с однокорпусными судами), высокая маневренность.

Недостатки тримаранов во многом идентичны недостаткам катамаранов.

Указанные преимущества тримаранного корпуса способствуют популяризации тримаранов, которые начинают получать широкое применение. Например, в 2005 г. компания Austal доставила в Испанию Benchijigua Express – 127-метро-

вый пассажирский паром-тримаран для паромного оператора Fred Olsen S.A, обслуживающего Канарские острова. На тот момент это был самый большой в мире алюминиевый корабль, способный перевозить 1280 пассажиров и 340 машин со скоростью 40 уз или эквивалентный этому груз [4].

Интерес к корпусам тримаранной схемы есть и у конструкторов, разрабатывающих суда для оборонных ведомств. Так, корабль тримаранной схемы был заказан компании RV Triton британским оборонным подрядчиком QinetiQ в 2000 г. В октябре 2005 г. ВМС США проводили оценку стоимости постройки прибрежного боевого корабля-тримарана General Dynamics Littoral Combat Ship, который был спроектирован и строится компанией Austal. Закладка тримаранов прошла на верфях в Индонезии для нужд ВМФ страны [5]. Представленная информация показывает, что тримаранная схема корпуса востребована при проектировании судов различного назначения и размеров.

В заключение необходимо отметить, что при проектировании судна с тримаранными обводами для обеспечения высоких ходовых качеств в сочетании с безопасностью эксплуатации требуется моделирование рабочих процессов, которое позволит провести расчеты и многопараметрическую оптимизацию корпуса для достижения максимально возможного гидродинамического качества и скоростных характеристик. Потребные пассажировместимость и грузоподъемность катера в сочетании с дальностью хода во многом определяют геометрические параметры судна, его компоновку, энерговооруженность и согласование режимов работы движительной и энергетической установок. Все это предопределяет актуальность выполнения НИР по моделированию и анализу процессов обтекания жидкостью корпусов сложной геометрической формы во всем диапазоне изменения параметров, определяющих изменение условий эксплуатации реальных объектов.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корытов Н. Тримараны нового поколения // Катера и яхты. – 2005. – №4 (196). – С. 66–69.
2. Новак Г. М. Справочник по катерам, лодкам и моторам / Под общей ред. Г. М. Новака. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1982. – 352 с.
3. Новак Г. М. Катера, лодки и моторы в вопросах и ответах / Под ред. Г. М. Новака. – Л.: Судостроение, 1977. – 288 с.
4. Компания «Остал» спустила на воду второй фрегат-тримаран типа «Индепендес». – [Электронный ресурс] Режим доступа – <https://tass.ru/politika/548462> – 10.10.2017.
5. ВМС Индонезии вооружаются малозаметными тримаранами. – [Электронный ресурс] Режим доступа – <https://lenta.ru/news/2012/01/25/x3k> – 10.10.2017.
6. Многоцелевой вспомогательный авианесущий крейсер с малой площадью ватерлинии – альтернатива или мечта? – [Электронный ресурс] Режим доступа – <https://arms-expo.ru/news/archive/mnogocелеvoy-vspomogatelnyy-avianeushiy-kreyser-s-maloy-ploschad-yu-vaterlinii-al-ternativa-ili-mechta-11-01-2012-13-41-00> – 10.10.2017.
7. Абдуллин А. Я. Современный водометный движитель для высокоскоростного катера. – НТК «Мавлютовские чтения», УГАТУ. Уфа, 2012, т. 1, с. 61–62.
8. Абдуллин А. Я., Месропян А. В. Особенности численного моделирования рабочего процесса водометных движителей // Вестник УГАТУ, Уфа. – 2013. – Т. 17. – №3 (56). – С. 130–133.
9. Карлов Б. И., Певзнер В. А., Слепенков П. П. Учебник судоводителя-любителя (управление малоразмерными судами). – М.: Изд. ДОСААФ, 1976. – 352 с.
10. Аносов В. Н., Дьякова Т. А., Рождественский С. О. Развитие современных скоростных катеров. – Ч. 1 // Катера и яхты. – 2015. – №3 (255). – С. 52–56.
11. Аносов В. Н., Дьякова Т. А., Рождественский С. О. Развитие современных скоростных катеров. – Ч. 2 // Катера и яхты. – 2015. – №4 (256). – С. 58–60.
12. Marchaj C. A. Aero-hydrodynamics of Sailing. – Adlard Coles Nautical, 2000. – 763 p.
13. Howard J. Handbook of Offshore Cruising: The Dream and Reality of Modern Ocean Cruising. – 2nd edition. – Sheridan House Inc, 2000. – 471 p. ■

В литературе [1 – 4] поставлена и теоретически решена задача статистической оптимизации энергетических характеристик систем автоматического управления движением. Для ее решения применительно к конкретному судну на воздушной подушке (СВП) в соответствии с предложенной методикой оптимизации необходимо определить статистические характеристики параметров движения аэроуля, которые являются основой для конкретного расчета энергетических характеристик его гидравлического привода. Решить эту задачу можно, зная спектральные характеристики ветроволновых возмущений и линеаризованные уравнения бокового движения СВП, которые позволят по известным формулам из теории автоматического управления определить спектральные характеристики отклонения аэроуля в режиме стабилизации для определенной скорости движения судна.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

В настоящее время различными авторами предложено большое количество формул для спектров, часто весьма существенно отличающихся друг от друга [5 – 7]. Некоторые из этих формул учитывают зависимость параметров спектра от волнообразующих факторов (скорость и продолжительность действия ветра, длина разгона волн и т. д.). В других работах параметры спектров связываются лишь со статистическими характеристиками установившегося волнения, например, средним периодом и высотой характерных волн (обеспеченностью 3%). В работе [5] содержится достаточно подробное и систематическое описание нерегулярного морского волнения. Поэтому ниже будут приведены только некоторые необходимые сведения для расчета статистических характеристик движения аэроуля во время стабилизации курсового угла. Случайная поверхность ординат морского волнения $\eta(t)$ при двухмерном волнении может быть представлена в виде суперпозиции бесконечного числа элементарных гармонических волн малой амплитуды, распространяющихся в одном и том же генеральном направлении. Известно, что исчерпывающей характеристикой ординаты морского волнения как случайного процесса $\eta(t)$ является спектральная плотность волновых ординат $S_\eta(t)$, определяющая распределение энергии волн в спектре частот и элементарных гармонических составляющих.

В таблице использованы следующие обозначения: r – балльность волнения моря; $\eta_{3\%}$ – ордината волнения 3%-ной обеспеченности; $U_0(10)$ – средняя скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью моря; ω – круговая частота, 1/с; $D_{\eta 1}$ – дисперсия ординат морского волнения, которая определяется как

$$D_{\eta} = \int_0^{\infty} S_{\eta}(\omega) d\omega, \quad (1)$$

где $S_{\eta}(\omega)$ – спектральная плотность ординат морского волнения.

Таблица
Характеристики морского волнения

r , баллы	3	4	5	6
$D_{\eta 1}$, м ²	0,059	0,143	0,438	1,29
$h_{3\%}$, м	1,25	2	3,5	6
$U_0(10)$, м/с	5,6	7,8	10,2	12,6

В соответствии с данными таблицы ниже представлены формулы для спектральных плотностей ординат морского волнения в 4 и 5 баллов:

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ АЭРОУЛЯ СУДНА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

М. А. Александров, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, директор,
А. Г. Богданов, зам. директора, ЗАО «ЦНИИ СМ»,
Д. А. Скороходов, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),
контакт. тел. (812) 640 1051, 323 2954

$$S_{\eta_{46}}(\omega) = 9,43 \cdot 0,125 \left(\frac{0,9}{\omega} \right)^6 e^{-1,5 \left(\frac{0,9}{\omega} \right)^4} + 17,29 \cdot 0,0138 \left(\frac{0,517}{\omega} \right)^8 e^{-2 \left(\frac{0,517}{\omega} \right)^4}; \quad (2)$$

$$S_{\eta_{56}}(\omega) = 9,43 \cdot 0,219 \left(\frac{0,9}{\omega} \right)^6 e^{-1,5 \left(\frac{0,9}{\omega} \right)^4} + 17,29 \cdot 0,044 \left(\frac{0,517}{\omega} \right)^8 e^{-2 \left(\frac{0,517}{\omega} \right)^4}.$$

Случайный процесс $\eta(t)$ в системе координат, связанной с СВП, представляется спектральным разложением вида [5]

$$\eta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(\omega + E\omega^2)t} d\varphi(\omega), \quad (3)$$

где приращение $d\varphi(\omega)$ равно сумме амплитуд гармонических колебаний с частотами в интервале, равном $d\omega$; $E = \frac{V_0}{g} \cos \chi$

– коэффициент, учитывающий скорость и направление движения СВП; χ – угол встречи СВП с волной (курсовой угол СВП к направлению распространения гармонических составляющих волнения), причем $\chi = 0^\circ$ соответствует движению СВП против волн, $\chi = 180^\circ$ – движению за волной.

Здесь V_0 – скорость движения СВП, м/с; g – ускорение силы тяжести, м²/с; ω_k – кажущаяся частота встречи СВП с волной.

Для случая $E > 0$, что соответствует движению СВП на встречном волнении ($0 \leq \chi \leq 90^\circ$), $\omega_k > 0$; $\frac{d\omega_k}{d\omega} > 0$, ω_k – кажущаяся частота встречи СВП с волной.

Для случая $E < 0$, что соответствует движению СВП на попутном волнении ($90^\circ < \chi < 180^\circ$), $\omega_k < 0$; $\frac{d\omega_k}{d\omega} < 0$.

Искомая спектральная плотность процесса $\eta(t)$

$$S_{\eta}(\omega_k) = S_{\eta}[\omega(\omega_k)] \frac{d\omega(\omega_k)}{d\omega_k}.$$

Значение производной $\frac{d\omega}{d\omega_k}$ удобнее получить, выполняя дифференцируя выражение

$$\left| \frac{d\omega_k}{d\omega} \right|^{-1} = \frac{1}{1 + 2E\omega}. \quad (4)$$

Чтобы исключить отрицательные значения кажущихся частот, для $E < 0$ вводится неотрицательная переменная $\sigma = \left| \omega_k \right| = \left| \omega + E\omega^2 \right|$.

По характеру поведения функций σ и $\frac{d\omega}{d\sigma}$ можно выделить четыре участка их изменения:

- 1) $0 \leq \omega_1 \leq -\frac{1}{2E}$; $0 \leq \sigma \leq -\frac{1}{4E}$;
- 2) $-\frac{1}{2E} \leq \omega_2 \leq -\frac{1}{E}$; $-\frac{1}{4E} \geq \sigma \geq 0$;
- 3) $-\frac{1}{E} \leq \omega_3 \leq -\frac{1}{2E}(1 + \sqrt{2})$; $0 \leq \sigma \leq -\frac{1}{4E}$;
- 4) $\omega_4 \geq -\frac{1}{2E}(1 + \sqrt{2})$; $\sigma \geq -\frac{1}{4E}$.

Отсюда для спектральной плотности процесса $\eta(t)$ при $E < 0$ имеем

$$S_{\eta}(\sigma) = \begin{cases} \sum_{k=1}^3 S_{\eta}[\omega_k(\sigma)] \left| \frac{d\omega_k(\sigma)}{d\sigma} \right| & \text{при } \sigma \leq -\frac{1}{4E}; \\ S_{\eta}[\omega(\sigma)] \left| \frac{d\omega(\sigma)}{d\sigma} \right| & \text{при } \sigma \geq -\frac{1}{4E}. \end{cases} \quad (6)$$

Представляется целесообразным вычисление выполнять в виде функции от ω , т. е. вычислять условную спектральную плотность

$$S_{\eta}^*(\omega) = S_{\eta}(\omega) \frac{1}{1 + 2E\omega}. \quad (7)$$

Переход же к частоте ω_k для построенной спектральной плотности $S^*(\omega)$ может быть просто выполнен по зависимости $\omega_k(\omega)$ или $\sigma(\omega)$ с помощью графического построения.

В дальнейшем будет рассматриваться движение СВП на курсовых углах встречи с волной от 0 до 90° ($0 \leq \chi \leq 90^\circ$). Поэтому спектральная плотность волнения по кажущимся частотам будет определяться однозначно:

$$S_{\eta}(\omega_k) = S_{\eta}[\omega(\omega_k)] \left| \frac{d\omega_k}{d\omega} \right|^{-1}. \quad (8)$$

Имея в виду зависимость между ординатой волны и углом волнового склона $\alpha = \frac{\omega^2}{g} \eta$, можно определить спектральные плотности угла волнового склона по формуле

$$S_{\alpha}(\omega) = \frac{\omega^4}{g^2} S_{\eta}(\omega). \quad (9)$$

Аналогично
$$S_{\alpha}(\omega_k) = \frac{[\omega(\omega_k)]^4}{g^2} S_{\eta}[\omega(\omega_k)]. \quad (10)$$

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ ВЕТРОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Считают, что направление средней скорости ветра совпадает с генеральным направлением распространения волн [7]. Формирование реального воздушного потока в приводном слое представляет собой сложный физический процесс. В этом процессе для теоретических исследований желательно выделить два основных фактора, которые можно приближенно оценить как случайные флуктуации скорости ветра, обусловленные турбулентностью течения, и волновые возмущения скорости ветра, возникающие при безотрывном обтекании поверхности. Для пространственного движения СВП нас интересует одна составляющая скорости ветра W_x – продольная. В [7] представлена следующая формула для определения спектральной плотности продольной составляющей скорости ветра:

$$S_{U_x}[\omega(\omega_k)] = \frac{1}{4} c (\bar{E} V_0) \omega_k^{-\frac{5}{3}}, \quad (11)$$

где c – универсальная константа, равная примерно $1,9 + 2$; V_0 – скорость движения СВП; U_x – скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью воды; $\bar{E} = \frac{dE}{dt}$ – параметр, характеризующий диссипацию турбулентной энергии E , определяет величину потока энергии, передаваемого осредненным движением пульсаций различных масштабов.

В условиях безразличной термической стратификации для интересующего нас случая приводной атмосферы величина диссипации $\bar{E}$ определяется теоретической формулой $\bar{E} = \frac{U_*^3}{\kappa H^*}$, хорошо согласующейся с экспериментом, где $\kappa = 0,4$ – постоянная величина Кармана; H^* – высота измерения скорости ветра над поверхностью воды, равная 10 м.

Представленные формулы для спектральных плотностей ординат морского волнения, продольной скорости ветра

позволяют использовать их при расчете параметров движения СВП.

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ СУДНА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Линеаризованные уравнения бокового движения СВП имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} A_1(p)\beta + A_2(p)\gamma + A_3(p)\phi &= A_4(p)\delta_p + A_5(p)W_x + A_6(p)\alpha; \\ B_1(p)\beta + B_2(p)\gamma + B_3(p)\phi &= B_4(p)\delta_p + B_5(p)W_x + B_6(p)\alpha; \\ C_1(p)\beta + C_2(p)\gamma + C_3(p)\phi &= C_4(p)\delta_p + C_5(p)W_x + C_6(p)\alpha, \end{aligned} \quad (12)$$

где $A_i(p)$; $B_i(p)$; $C_i(p)$ – коэффициенты дифференциальных уравнений бокового движения. СВП для скорости хода $V = 20$ м/с, имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} A_1(p) &= p + 0,045; A_2(p) = -1,36; A_3(p) = -p; A_4(p) = 0,73; \\ A_5(p) &= -0,043; A_6(p) = 0,36; B_1(p) = -0,009; B_2(p) = p^2 + 0,398p + 2; \\ B_3(p) &= 0,26p; B_4(p) = 0,75; B_5(p) = 0; B_6(p) = 2; C_1(p) = -0,117; C_2(p) = 0; \\ C_3(p) &= p^2 + 0,031p; C_4(p) = 0,002; C_5(p) = 0; C_6(p) = 0; p = j\omega. \end{aligned}$$

В данном случае рассматриваются только уравнения бокового движения из-за наличия одного исполнительного органа управления – аэроуля для управления СВП по курсу. В соответствии с (12) квадраты модулей передаточных функций СВП будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} |W_{\beta}^{\delta_p}(j\omega)|^2 &= \frac{0,535\omega^8 - 3,74\omega^6 + 6,2\omega^4 + 0,06\omega^2}{\lambda_B^2}; \\ |W_{\beta}^{W_x}(j\omega)|^2 &= \frac{0,0018\omega^8 - 0,0071\omega^6 + 0,0073\omega^4}{\lambda_B^2}; \\ |W_{\beta}^{\alpha}(j\omega)|^2 &= \frac{0,13\omega^8 - 2,23\omega^6 + 11,9\omega^4 + 0,012\omega^2}{\lambda_B^2}; \\ |W_{\gamma}^{\delta_p}(j\omega)|^2 &= \frac{0,575\omega^6 - 0,09\omega^4 + 0,004\omega^2}{\lambda_B^2}; \\ |W_{\gamma}^{W_x}(j\omega)|^2 &= \frac{0,00000016\omega^4 - 0,000109\omega^2}{\lambda_B^2}; \\ |W_{\gamma}^{\alpha}(j\omega)|^2 &= \frac{4\omega^6 + 0,463\omega^4 + 0,048\omega^2}{\lambda_B^2}; \\ |W_{\phi}^{\delta_p}(j\omega)|^2 &= \frac{0,000004\omega^6 - 0,0091\omega^4 + 0,149\omega^2 + 0,003}{\lambda_B^2}; \\ |W_{\phi}^{W_x}(j\omega)|^2 &= \frac{0,000025\omega^4 - 0,0001\omega^2 + 0,0001}{\lambda_B^2}; \\ |W_{\phi}^{\alpha}(j\omega)|^2 &= \frac{0,0018\omega^4 + 0,0095\omega^2 + 0,55}{\lambda_B^2}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $W_{\beta}^{\delta_p}(j\omega)$; $W_{\beta}^{W_x}(j\omega)$; $W_{\beta}^{\alpha}(j\omega)$; $W_{\gamma}^{\delta_p}(j\omega)$; $W_{\gamma}^{W_x}(j\omega)$; $W_{\gamma}^{\alpha}(j\omega)$; $W_{\phi}^{\delta_p}(j\omega)$; $W_{\phi}^{W_x}(j\omega)$; $W_{\phi}^{\alpha}(j\omega)$ – передаточные функции соответственно дрейфа, крена и рыскания по углу отклонения руля направления (аэроуля), по продольной составляющей скорости ветра W_x , по углу волнового склона; δ_p – угол отклонения аэроуля; W_x – продольная составляющая скорости ветра; α – угол волнового склона; β – угол дрейфа; γ – угол крена; ϕ – угол рыскания.

Так как у СВП имеются исполнительные органы – аэроули, с помощью которых управляют курсом ϕ , спектральные плотности угла отклонения аэроулей можно определить следующим образом [7]:

$$\begin{aligned} S_{\delta_p}(\omega) &= \frac{|W_{\beta}^{W_x}(j\omega)|^2}{|W_{\beta}^{\delta_p}(j\omega)|^2} S_{W_x}(\omega) + \frac{|W_{\beta}^{\alpha}(j\omega)|^2}{|W_{\beta}^{\delta_p}(j\omega)|^2} S_{\alpha}(\omega) + \frac{|W_{\gamma}^{W_x}(j\omega)|^2}{|W_{\gamma}^{\delta_p}(j\omega)|^2} S_{W_x}(\omega) + \\ &+ \frac{|W_{\gamma}^{\alpha}(j\omega)|^2}{|W_{\gamma}^{\delta_p}(j\omega)|^2} S_{\alpha}(\omega) + \frac{|W_{\phi}^{W_x}(j\omega)|^2}{|W_{\phi}^{\delta_p}(j\omega)|^2} S_{W_x}(\omega) + \frac{|W_{\phi}^{\alpha}(j\omega)|^2}{|W_{\phi}^{\delta_p}(j\omega)|^2} S_{\alpha}(\omega). \end{aligned} \quad (14)$$

Спектральные плотности производных от параметров движения органов управления определяются по известным формулам:

$$\begin{aligned} S_{\delta_{\text{нк}}}(\omega) &= \omega^2 S_{\delta_{\text{нк}}}(\omega); \quad S_{\delta_{\text{нк}}}(\omega) = \omega^4 S_{\delta_{\text{нк}}}(\omega); \\ S_{\delta_{\text{кз}}}(\omega) &= \omega^2 S_{\delta_{\text{кз}}}(\omega); \quad S_{\delta_{\text{кз}}}(\omega) = \omega^4 S_{\delta_{\text{кз}}}(\omega); \\ S_{\delta_{\text{рн}}}(\omega) &= \omega^2 S_{\delta_{\text{рн}}}(\omega); \quad S_{\delta_{\text{рн}}}(\omega) = \omega^4 S_{\delta_{\text{рн}}}(\omega). \end{aligned} \quad (15)$$

Расчеты спектральных плотностей были выполнены на ЭЦВМ для пяти курсовых углов к направлению распространения волн $\varphi_w = 0^\circ; 45^\circ; 90^\circ; 135^\circ; 180^\circ$. Из расчетных режимов наиболее тяжелым для исполнительных органов управления движением СВП по курсу является курсовой угол $\varphi_w = 90^\circ$.

Среднеквадратическое значение угла перекладки аэроруля и ускорения его движения определяются в соответствии с полученными спектральными плотностями и имеют следующие численные значения:

$$\begin{aligned} D_{[\delta_p(t)]} &= 0,013 = 36,4 \text{ град}^2; \quad \bar{\delta}_p(t) = 0,15 = 6 \text{ град}; \\ D_{[\dot{\delta}_p(t)]} &= 0,052 \text{ 1/с}^4 = 171 \text{ град}^2/\text{с}^2; \\ \bar{\dot{\delta}}_p &= 0,28 \text{ 1/с} = 13,1 \text{ град/с}; \\ D_{[\ddot{\delta}(t)]} &= 0,497 \text{ 1/с}^4 = 1633 \text{ град}^2/\text{с}^2; \\ \bar{\ddot{\delta}}_p &= 0,74 \text{ 1/с} = 40,5 \text{ град/с}^2. \end{aligned}$$

ВЫВОДЫ

Определены спектральные характеристики ветра и волнения моря для определения спектральных характеристик движения аэроруля СВП.

Представлены линеаризованные уравнения движения СВП.

Вычислены передаточные функции, квадраты их модулей по внешним возмущениям и исполнительному органу управления (аэрорулю) СВП.

ВВЕДЕНИЕ

В современной энергетической сфере мира все большую роль начинает играть СПГ. Однако, несмотря на быстрые темпы развития этой отрасли, Россия по-прежнему отстает от общемировых стандартов. Сфера инженерной науки, связанная с СПГ, во многом ассоциируется с тремя главнейшими направлениями: получением СПГ, его транспортировкой и хранением.

Преобладающий способ транспортировки СПГ – это морской транспорт. Развивающиеся в настоящее время энергетические проекты России также предполагают использование морского транспорта для перевозки конечного продукта. По причине вариативности выбора применяемых морских систем транспортировки СПГ в условиях российских проектов существует проблема определения наиболее выгодной по инженерным и экономическим характеристикам системы. Методология выбора и определения наиболее подходящей системой хранения груза – CCS (cargo containment system) пока до сих пор не разработана.

Затраты на транспортировку СПГ судами-газовозами составляют 25–40%

Рассчитаны спектральные плотности параметров свободного движения СВП, параметров движения аэроруля и их производные.

Определены спектральные плотности отклонения аэроруля СВП, а также их первые и вторые производные.

Определены дисперсии угла отклонения аэроруля, их первые и вторые производные, необходимые для расчетов момента нагрузки исполнительного гидравлического привода аэроруля СВП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов А. Г., Каминский В. Ю., Скороходов Д. А. Синтез оптимальных энергетических характеристик гидроприводов систем управления движением // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – Т. 2. – № 2 (36). – С. 47–53.
2. Богданов А. Г., Королев О. А., Скороходов Д. А. Оптимизация энергетических характеристик исполнительного привода систем управления движением. – Мат-лы Международ. науч.-практ. конф. «Транспорт России: проблемы и перспективы–2017», т. 1, 14–15 ноября. Санкт-Петербург. 2017, с. 289–295.
3. Богданов А. Г., Каминский В. Ю., Скороходов Д. А., Черненко В. И. Выбор основных энергетических характеристик исполнительного привода аэроруля судна на воздушной подушке // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 4(38). – Т. 3. – С. 79–83.
4. Каминский В. Ю., Маринов М. Л., Скороходов Д. А., Тирусов С. Н. Исследование энергетических характеристик исполнительных приводов систем управления движением судна на подводных крыльях // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т. 4. – № 4(42). – С. 65–70.
5. Бородай И. И., Нецветова Ю. А. Качка судов на морском волнении. – Л.: Судостроение, 1969.
6. Небылов А. В. Измерение параметров полета вблизи морской поверхности. – СПб.: Изд.СПбГААП. – 1994, с. 307.
7. Лукомский Ю. А., Корчанов В. М. Управление морскими подвижными объектами: Учеб. – СПб.: Элмор. 1996, с. 320. ■

АНАЛИЗ МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ГРУЗА ДЛЯ ТАНКЕРОВ-ГАЗОВОЗОВ

Л. В. Иванов, студент магистратуры,
А. В. Анохин, студент магистратуры,
А. В. Зайцев, канд. техн. наук, доцент,
СПбНИУ ИТМО,
контакт. тел. +7 (950) 011 9476,
levladi@mail.ru, anokhin.andreyu@gmail.com, abaranov@corp.ifmo.ru

в общей цепи поставки, поэтому снижение затрат на перевозку газа морским транспортом весьма актуальная задача [1].

Газ перевозится в корабельных танках – специальных резервуарах, установленных внутри кораблей. Существуют два основных типа танков: самонесущие и встроенные, мембранные. Встроенные танки объединены с корпусом судна и испытывают внешние нагрузки, а также участвуют в обеспечении и поддержании прочности корпуса. Мембранные танки не являются самонесущими и состоят из тонкой мембраны, уложенной на изоляцию. Изоляция, в свою очередь, рас-

полагается прямо на корпусе судна, так что давление в танке напрямую передается конструкциям корпуса. Корпус судна – основной несущий элемент таких танков [2].

СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕМБРАННЫХ И ВКЛАДНЫХ СИСТЕМ

При выборе CCS необходимо учитывать целый ряд характеристик, таких как надежность конструкции, технологичность, экономические показатели судна в целом и т.д. Среди экономических показателей немаловажны объем первоначальных вложений для освоения нового

производства и, соответственно, его дальнейшая окупаемость [3].

Как и у любой системы, у мембранных танков есть свои преимущества и недостатки. Пожалуй, главный плюс – наиболее полное использование внутреннего подпалубного пространства. У мембранных танков двойной корпус, который обеспечивает дополнительную прочность корпуса за счет распределения нагрузок от перевозимого груза по длине судна. Суммарный вес мембранной CCS значительно ниже, чем в складных системах, это способствует снижению налогов и сборов при прохождении каналов [4].

Но также существуют и недостатки. Неспособность мембран противостоять местным нагрузкам и деформациям корпуса несет за собой несравненно большие опасности при посадке на мель или столкновении, чем у систем с независимыми танками. Среди минусов безопасности системы также можно выделить невозможность контроля за состоянием вторичного барьера, который заключен между двумя слоями тепловой изоляции. Главная же проблема системы с мембранными танками – слошинг. Слошинг – это волны, возникающие в перевозимом продукте внутри танка при его наполненности от 10 до 70%. Слошинг способен привести к разрушению стыков мембран. Внутренний слой изоляции воспринимает нагрузку от груза, и поэтому теплоизоляция должна иметь повышенную прочность [4].

Однако, даже несмотря на все недостатки, они компенсируются суммарно меньшей суммой постройки судна и существенно меньшими эксплуатационными издержками за счет меньшего количества образующегося отпарного газа [5].

В настоящее время применяются две основные мембранные системы для морской перевозки СПГ:

- GTT №96 – Gaztransport № 96;
- GTT Mk III – Technigaz Mark III.

Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки и, соответственно, подходит для особых условий. Далее будут описаны используемые системы, их модификации, а также недавно разработанные, готовящиеся к выходу на мировой рынок.

Система GTT Mark III состоит из двух мембран и двух слоев теплоизоляции. Первичная мембрана имеет толщину 1,5 мм и выполнена из особой нержавеющей стали SUS 3040L с содержанием никеля в 9%. Выбор подобной стали обусловлен экономическими параметрами, так как оребренная поверхность мембраны позволяет лучше компенсировать термические напряжения [6].

Вторичный барьер представляет собой композитный материал в виде алю-

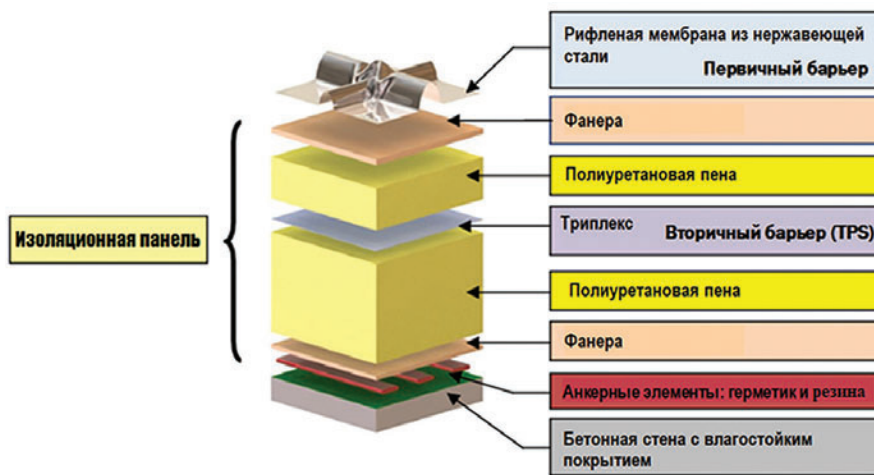


Рис. 1. Конструкция стенки системы Mark III (GTT)

миниевой фольги, заключенной между двумя стеклянными пластинами. Он может быть представлен в двух вариациях: в виде гибкой ленты Flexible Second Barrier (FSB) или в виде жесткой фольги Rigid Second Barrier (RSB).

В качестве материала теплоизоляции используется армированная полиуретановая пена Reinforced Polyurethane Foam (R-PUF). Теплоизолирующая панель – это сборный элемент, включающий в себя два слоя изоляции и заключенный между ними вторичный барьер. На поверхности теплоизолирующей панели прикреплены специальные крепления, к которым приваривают первичный барьер. Толщина теплоизоляции для системы GTT Mk III составляет 270 мм.

Сама панель представляет собой своего рода слоеный пирог, в котором слои следуют друг за другом в следующем порядке (начиная от наиболее близкого к первичной мембране):

- фанерная панель, которая является верхней частью ячеистой структуры теплоизоляции;
- непосредственно материал теплоизоляции – R-PUF;
- вторичный барьер в виде RSB;
- вторичный слой тепловой изоляции R-PUF;
- закрывающая фанерная панель.

Все эти слои соединяются между собой с помощью полиуретанового клея.

Суммарная толщина системы – 272 мм. Процент потерь груза в день – Boiling off Rate (BOR) – для этой системы составляет 0,15% от объема танка. Как и для большинства мембранных систем, одна из главных ее проблем – в большом количестве деталей и сложности изготовления.

Первичный барьер системы GTT №96 состоит из рулонного инвара марки M93 (35% никеля) толщиной 0,7 мм. Ширина стандартного листа инвара – 500 мм. В отличие от мембраны Mark III, которая покрыта ребрами, мембрана

системы №96 гладкая, поскольку сплав инвар не подвергается каким-либо значительным температурным деформациям.

Первичная мембрана крепится к слою изоляции посредством специальных загнутых язычков. Первичная и вторичная мембраны крепятся к корпусу судна с помощью специального элемента – инварной трубки. Эта конструкция позволяет передавать напряжения от борта судна к мембранам [7].

Фанерные ящики слоя первичной изоляции заполнены стекловатой (GW). В более ранних модификациях ящики заполнялись перлитом. Хотя перлит более дешев, он имеет более низкую теплопроводность и существенно больший вес. При наполнении двух слоев ящиков стекловатой суммарный показатель BOR составит 0,125–0,130% от общего груза в день [8].

Одной из первых модификаций системы Mark III стала подсистема **Mark III Flex**. Плотность полиуретановой пены R-PUF была увеличена до 130 кг/м³, и общая толщина изоляции возросла до 400 мм. Совокупность этих изменений позволила снизить количество отпарного газа до 0,085% груза в день.

Существует модернизация уже вышеописанной модели – **Mark III Flex+**, которая отличается от Mark III Flex толщиной слоя изоляции: у Mark III Flex+ она составляет 480 мм, а также использованием дополнительного слоя триплекса (RSB) в качестве вторичного барьера. Уровень отпарного газа для этой модификации составляет 0,08%. Эта и предыдущая системы адаптированы к более суровым волновым условиям и лучше противостоят слошингу [8].

Одной из ныне разрабатываемых систем является **Mark V**, которая будет идеологическим наследником Mark III Flex+. Отличием от оригинальной линейки Mark III будет использование инваровой мембраны в качестве вторично-

го барьера вместо триплекса. Суммарно все эти изменения дают на выходе уровень BOR = 0,07% [9].

Изменения также затронули и систему №96. Как и модификации линейки Mark, они применимы на более крупных судах или под специальные требования заказчика. Первой моделью в ряде модификаций стоит **№96 LO3**. В модификации добавлен третий слой изоляции при сохранении изначальной толщины. Первый слой ящиков с теплоизоляцией полностью идентичен оригинальному №96, а второй слой выполнен как «сэндвич», в котором меньший ящик, наполненный стекловатой, соединен с пластиной R-PUF, аналогично тому, как это сделано в системе Mark III. BOR для данной модификации составит 0,11%.

Последний разрабатываемый продукт компании GTT – это **№96 Max**. Принципиальное отличие этой системы – в использовании колонн, поддерживающих слой изоляции и передающих напряжения, вместо балок, используемых в оригинальной системе. Это позволяет значительно снизить урон от шлоинга. Система планируется для применения на плавучих хранилищах и регазификационных пунктах, чья эксплуатация подразумевает постоянное изменение уровня наполнения танка.

Однако, несмотря на повсеместную распространенность систем, разработанных компанией GTT, в последние годы на рынке появляются новые решения, разработанные на самых крупных верфях, которые строят подавляющее большинство танкеров-газовозов. В число таких верфей входят DSME – дочерняя компания Daewoo, SHI – Samsung Heavy Industries, NHI – Hyundai Heavy Industries и компания KOGAS. По оценкам специалистов, в среднем каждая из верфей тратит около 10 млн. долл. на отчисления компании GTT за использование их систем при строительстве судов. В настоящий момент некоторые системы находятся еще на стадии разработки (NHI HMCSS), другие на стадии согласования и получения разрешений и допусков на ее использование (SHI SCA W/S, DSME Solidus), некоторые уже применяются на практике (KOGAS KC-1) [10].

Начнем с уже используемой системы **KC-1** (рис. 2). Ее принципиальное отличие – в использовании только одного слоя теплоизоляции – плотной полиуретановой пены High Density Polyurethane Foam или H-PUF. Толщина этой тепловой изоляции – 232 мм. Для фиксации панели из H-PUF ее укрепляют с обеих сторон фанерными прослойками. Весь этот «сэндвич» соединяется вместе посредством анкера [11].

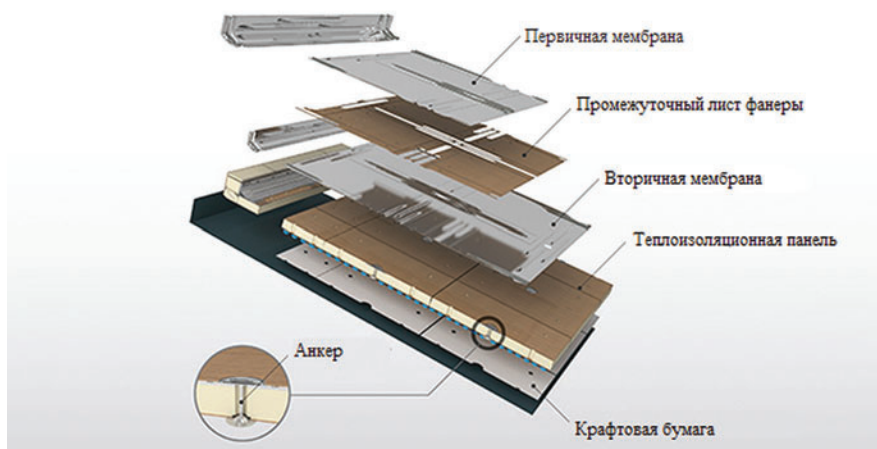


Рис. 2. Конструкция стенки системы KC-1 (KOGAS)

Мембраны представляют собой два листа из легированной стали, каждая по 1,5 мм толщиной.

Между двумя мембранами – располагается дополнительный слой фанеры. Это объединяет их в одну единую мембрану общей толщиной 13,5 мм (с учетом толщины фанеры). Особая форма мембраны уменьшает влияние шлоинга и лучше переносит деформации от низкотемпературного воздействия [12].

Следующая система – **SCA W/S** – также известна по пресс-релизам как **KC-S**. В данной системе в качестве теплоизоляции используется специальная полиуретановая пена, усиленная стекловолокном Glass Fiber Reinforced Polyurethane Foam – RPUGF [13].

Изменения коснулись и самой мембраны: первичная мембрана выполнена из алюминиевого сплава толщиной 1,2 мм, с ребрами жесткости с интервалом каждые 320 мм. Вторичная мембрана выполнена из того же материала, но толщиной уже 0,8 мм, а ребра на ней идут каждые 1020 мм.

Изначально разработано два варианта данной системы: с показателем BOR, равным 0,08 и 0,06%. Толщина системы в таких случаях будет 400 и 500 мм соответственно.

Также в завершающей стадии разработки находится система **Solidus** корейской верфи DSME. Solidus была презентована в декабре 2017 г., причем был заявлен самый низкий BOR из всех существующих на рынке – 0,05%! В презентации объявлено, что такие показатели были достигнуты за счет нового варианта теплоизоляции под названием Elastospray, разработанной в сотрудничестве с компанией BASF. Эта теплоизоляция выполнена не в виде пластин, как в большинстве других систем, а напылением теплоизоляционной пены прямо на изолируемую поверхность первичной мембраны. Материал формирует ровный и бесшовный слой изоляции без трещин и стыков, что исключает появ-

ление тепловых мостов.

В официальном пресс-релизе было отмечено, что из-за значительного снижения потерь газа во время транспортировки, выгода, получаемая с танкера объемом 170 тыс. м³ за год, увеличивается на 444 000 долл. [14].

Система HMCSS пока находится в состоянии разработки, однако компания NHI в официальных заявлениях указывала, что проектный BOR для системы будет составлять 0,09%, а теплоизоляции будет из полиуретановой пены пониженной плотности, что позволит значительно уменьшить вес проектируемой системы [14].

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ

Благодаря появлению многообразия вариантов CCS, возникает вопрос, как выбрать подходящую под конкретные режимы эксплуатации. Условия движения судна в Средиземном море будут разительно отличаться от условий Северного Ледовитого океана.

Основные параметры, от которых зависит выбор системы хранения груза – это общий размер судна, его танков, общее количество перевозимого СПГ, мощность судовой установки, от которой зависит скорость движения судна и условия маршрута, в которые входит уровень волн забортовой воды, ее температура и т. д. (табл. 1).

Как видно из табл. 1, главными теплоизоляционными показателем систем являются уровень BOR и толщина. Каждый из этих параметров по-своему влияет на конечные транспортные затраты: от толщины системы зависит общее количество груза, которое судно может перевезти за один рейс, а чем больше груза перевезено, тем меньше удельная стоимость перевозки. От уровня BOR зависит количество потерянных средств от выпарившегося газа.

В табл. 2 приведены параметры используемых мембран данных систем

Показатели теплоизоляции систем хранения груза

Система	Количество слоев изоляции	Материал изоляции	Толщина изоляции, мм	BOR, %/день
Mark III	2	R-PUF	270	0,15
Mark III Flex	2	R-PUF	400	0,085
Mark III Flex +	2	H-PUF	480	0,08
Mark V	2	H-PUF	480	0,07
№ 96	2	GW	530	0,15
№ 96 GW	2	Перлит	530	0,125
№ 96 LO3	3	GW + R-PUF	530	0,11
KC-1	1	H-PUF	232	0,093
SCA W/S (KC-S): первое исполнение	2	RPUGF	400	0,08
второе исполнение	2	RPUGF	500	0,06
HMCCS	2	R-PUF	400	0,09
Solidus	1	BASF Elastospray	x	0,05

Таблица 2

Параметры мембран

Система	Материал первичной мембраны	Толщина первичной мембраны, мм	Материал вторичной мембраны	Толщина вторичной мембраны, мм
Mark III	SUS 3040L	1,2	RSB (триплекс)	1,5
Mark III Flex	SUS 3040L	1,2	RSB (триплекс)	1,5
Mark III Flex +	SUS 3040L	1,2	RSB (триплекс)	1,5
Mark V	SUS 3040L	1,2	Инвар	0,7
№ 96	Инвар	0,7	Инвар	0,7
№ 96 GW	Инвар	0,7	Инвар	0,7
№ 96 LO3	Инвар	0,7	Инвар	0,7
KC-1	SUS 304	1,5	SUS 304	1,5
SCA W/S (KC-S): первое исполнение	SUS 3040L	1,2	SUS 3040L	0,8
второе исполнение	SUS 3040L	1,2	SUS 3040L	0,8
HMCCS	Инвар	0,8	2 листа SUS 304	3
Solidus	x	x	x	x

В зависимости от типа мембран меняются разные параметры: стоимость материала, которая влияет на первоначальные затраты судна, стоимость монтажа мембраны при строительстве, вес всей системы, который, как и вес теплоизоляции, влияет на выбор мощности силовой установки судна.

Немаловажный фактор – прочность систем, ее способность сопротивляться слошингу. Некоторые системы, такие как SCA, изначально адаптированы к тяжелым волновым условиям. Также существуют модификации стандартных систем, которые адаптированы под условия повышенного слошинга – № 96LO3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ приведенной информации позволяет сделать следующий вывод: идеальной системы грузовых танков для перевозки СПГ не существует. Современный уровень технологий позволяет добиться максимальной гибкости для удовлетворения различных потребностей заказчика. Однако крупный недостаток для недавно появившихся CCS – это

отсутствие большого опыта их эксплуатации. Основная причина разработки собственных систем верфями-гигантами – нежелание тратить деньги на отчисления компании GTT за использование их систем. Можно ожидать, что в ближайшие годы количество судов с новыми корейскими системами будет расти быстрыми темпами [15]. Однако менее крупные верфи, которые не разрабатывают свои системы, скорее всего, будут продолжать строить суда с CCS компании GTT.

С ростом конкуренции на рынке компании-производители вынуждены постоянно улучшать показатели систем и адаптировать их для конкретных целей. Тенденции рынка СПГ к постоянному росту позволяют резонно предположить, что развитие систем хранения груза на танкерах-газовозах будет продолжаться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селиванов Н.В., Березина И.С., Лебедев В.А. Моделирование термического сопротивления изоляции танка и величины выпара на судах-газовозах // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2016. – № 10. – С. 33–43.

2. Еремин С.В. Танкерная и трубопроводная транспортировка природного газа: проблемы эффективности и конкуренции // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2015. – № 10. – С. 7–19.
3. Грицац А.Б., Логачев С.И. Исследование структуры строительной стоимости судов-газовозов с различными конструкциями грузовых танков // Морской вестник. – 2009. – № 4. – С. 25–31.
4. Киселев Д.Б., Игнатьев В.А. Пути повышения энергоэффективности судов-газовозов // Морской вестник. – 2011. – № 3. – С. 9–11.
5. Баскаков С.П. Перевозка сжиженных газов морем: Учеб. пособие. – СПб.: Судостроение, 2001. – 272 с.
6. Corkhill Mike. GTT fine-tunes its membrane for today's LNG market // LNG World Shipping Journal. 2016. URL: – https://www.lngworldshipping.com/news/view, gtt-finetunes-its-membranes-for-todays-lng-market_41849.htm (дата обращения 20.12.2018).
7. Информация из официальной презентации компании GTT, 2017.
8. Corkhill Mike. The march of the GTT membrane // LNG World Shipping Journal. – 2018. – URL: https://www.lngworldshipping.com/news/view, the-march-of-the-gtt-membrane_51730.htm (дата обращения 20.12.2018).
9. Thomas Karen. GTT Plans Mark V Rethink // LNG World Shipping Journal. – 2017. – URL: https://www.lngworldshipping.com/news/view, gtt-plans-mark-v-rethink_49315.htm (дата обращения 20.12.2018).
10. Corkhill Mike. LNG cargo-containment systems get competitive // LNG World Shipping Journal. – 2015. – URL: https://www.lngworldshipping.com/news/view, lng-cargocontainment-systems-get-competitive_38774.htm (дата обращения 20.12.2018).
11. Hyeonwon Jeong, W. Jaewoo Shim. Calculation of boil-off gas (BOG) Generation of KC-1 membrane LNG tank with high density rigid polyurethane foam by numerical analysis // Polish Maritime Research. – 2017. – № 1. – P. 1–15.
12. Corkhill Mike. Containment system breakthrough // LNG World Shipping Journal. – 2018 – URL: https://www.lngworldshipping.com/news/view, containment-system-breakthroughs_51069.htm (дата обращения 20.12.2018).
13. Dai Gil Lee, Munkuen Ha, Haeki Jang. Smart Cargo Containment System Advanced (SCA) for LNG Carrier. – Conference: 2013 AIChE Spring National Meeting. – 2013.
14. DSME develops own LNG containment system. 2017. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.lngworldnews.com/dsme-develops-own-lng-containment-system/> (дата обращения 20.12.2018).
15. Rising Performance, widening options in LNG containment. – 2014. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.motorship.com/news101/ships-and-shipyards/rising-performance,-widening-options-in-lng-containment> (дата обращения 20.12.2018) ■

Прикладной характер научным основам теории живучести корабельных систем (КС), изложенным в статье [4], придают технические решения (способы), реализующие на практике требования обоснованных принципов обеспечения систем сохранять способность решать задачи назначения в условиях боевых или аварийных повреждений (поражений).

Доказано [3], что технология формирования конкретных способов обеспечения живучести КС, как правило, предполагает:

- удовлетворение одного или одновременно нескольких принципов обеспечения живучести КС;
- реализацию обоснованных рекомендаций на различных иерархических уровнях (элементном, под системном или системном).

Рассмотрим ряд возможных способов обеспечения живучести КС.

Способ выборочной защиты элементов системы реализуется без каких-либо структурных преобразований (рис. 1).

Выделенные на обеспечение живучести системы средства расходуются только на защиту элементов, причем так, что защите подвергаются не все элементы системы, а только те, которые отвечают двум требованиям (условиям):

- в приоритетном по значимости ряду $P_j > P_{j+1}$ (1) данные элементы имеют наименьший порядковый номер [3].

Здесь

$$P_j = Z_i(1 - q_i);$$

- защита данных элементов может дать больший эффект, чем дублирование.

Решение о защите элементов может быть обосновано в результате сравнения чувствительности показателя значимости к структурным преобразованиям K_z и к защите K_q [3]:

$$K_{zi} = 1 - q_i; \quad K_{qi} = -Z_i.$$

Если выполняется неравенство

$$K_q > K_z, \quad (2)$$

то предпочтение должно быть отдано способу выборочной защите элементов системы.

Таким образом, реализация данного способа повышения живучести КС свя-



Рис. 1. Способ выборочной защиты элементов КС

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Ю.И. Стекольников, д-р техн. наук, проф.,
ст. науч. сотрудник ОАО «Маяк»,
контакт. тел. (812) 583 2716, +7 (921) 405 9870

зана с увеличением стойкости наиболее значимых элементов, составляющих «минимальное сечение» [2] структуры системы.

Следует заметить, что применение способа выборочной защиты целесообразно в том случае, когда показатели значимости элементов КС, составляющих начало приоритетного ряда (1), существенно превышают показатели последующих.

Если же величины показателей значимости элементов КС мало отличаются, т.е. приоритетный ряд практически однороден, то применение способа выборочной защиты нецелесообразно.

Способ дублирования предполагает реализацию принципов 1, 2 [4] и основан на развитии избыточностей элементов назначения (рис. 2).

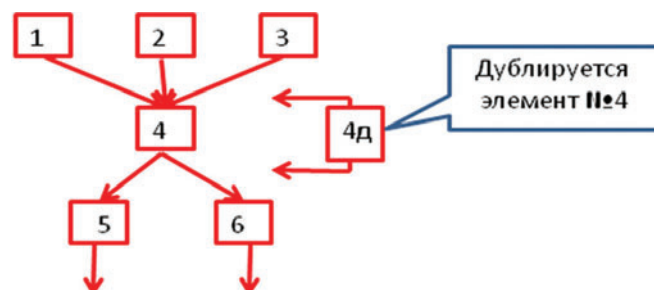


Рис. 2. Способ дублирования элементов КС

Выбор элементов, дублирование которых дает наибольший эффект, осуществляется по методике, изложенной в ходе рассмотрения способа выборочной защиты. Отличие заключается в том, что к способу дублирования прибегают в случае, когда неравенство (2) приобретает вид обратного неравенства: $K_q < K_z$.

Включение дублирующих элементов (ДЭ) в структуру КС приводит:

- к снижению структурной значимости основного элемента (ОЭ);
- к увеличению числа состояний способности системы (числа вариантов использования КС по назначению). Ясно, что оба этих следствия способствуют увеличению показателя живучести системы.

Практическая реализация способа дублирования элементов КС для обеспечения живучести имеет существенную специфику в отличие от аналогичных действий в интересах обеспечения надежности. В данном случае дублируемый (ОЭ) и дублирующий (ДЭ) элементы должны быть пространственно разобщены или иметь иной тип защиты от поражающих факторов.

Защищенность и размещение ДЭ при решении проблем надежности роли не играют, так как эксплуатация ОЭ и

ДЭ предполагается в одинаковых условиях.

При решении проблем живучести важно, чтобы при воздействии поражающего фактора определенной физической природы (ударная волна, радиация, тепловой поток и т.п.) хотя бы один из элементов (ОЭ или ДЭ) сохранил работоспособность.

Способ автономизации элементов системы предполагает реализацию принципа 3, когда обеспечение заданного уровня живучести достигается путем создания в структуре КС автономных элементов-модулей универсальных по функциональному назначению (рис. 3).

Следствием реализации данного способа является уменьшение числа элементов в системе и снижение их структурной значимости. В пределе автономизация элементов преобразует КС структурного типа (S-система) в ассоциативно-структурную (AS-типа) или даже ассоциативную

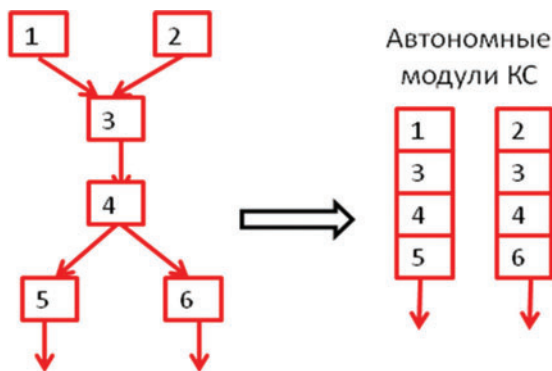


Рис. 3. Способ автономизации элементов КС

систему (А-систему) [3], состоящую из однородных по назначению и полностью автономных элементов-модулей. Можно утверждать, что внедряемый в кораблестроении модульный принцип проектирования способствует решению проблем обеспечения живучести КС.

Способ рассредоточения элементов системы целесообразен в том случае, когда в структуре системы есть элементы, имеющие две особенности:

- элементы обладают высокой значимостью (высокой структурной значимостью плюс низкой стойкостью);
- предусмотрена конструктивная возможность рассредоточения структурно значимых элементов без ущерба свойству назначения КС.

Рассредоточение значимых элементов сопровождается увеличением числа состояний способности системы и при прочих равных условиях снижает шанс полного уничтожения элементов одного назначения (рис. 4).

Данный способ обеспечения живучести систем рассредоточения наиболее доступен для реализации на практике.

Способ эшелонирования предполагает развитие избыточности на уровне всей системы или важнейших ее подсистем. Этот способ основывается на комбинировании требований принципов 2 и 4 [4]. КС, построенные с учетом возможностей данного способа обеспечения живучести, обладают наибольшим числом состояний способности (вариантов использования по назначению) (рис. 5).

Реализация данного способа связана со значительными экономическими и массогабаритными затратами. На

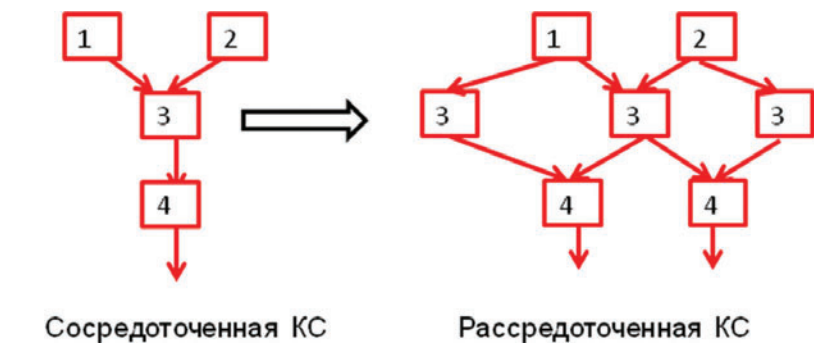


Рис. 4. Способ рассредоточения элементов КС

Одноэшелонная КС

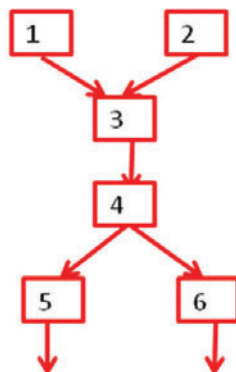


Рис. 5. Способ эшелонирования КС

практике наиболее реалистично эшелонирование КС на уровне их подсистем (источников энергии, автоматизированных систем управления, средств наблюдения, внутрисудовых коммуникаций и т. д.).

Сравнительный анализ эффективности рассмотренных способов обеспечения живучести систем (без учета экономических факторов), выполненный с использованием аналитических моделей, показывает существенное

преимущество способа эшелонирования.

Рассмотренный перечень способов обеспечения живучести КС не всеобъемлющ. Поиск иных подходов к решению обсуждаемой в статье проблемы является актуальным научным направлением. Существенные возможности здесь могут быть связаны с внедрением в кораблестроение технологий, ключевыми из которых являются: модульная компоновка; реализация КС, обладающих адаптивными свойствами; формирование структуры КС со свойствами открытой архитектуры и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крапивин В. Ф. О теории живучести сложных систем. – М.: Наука, 1978.
2. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000.
3. Стекольников Ю. И. Живучесть систем. – СПб.: Политехника, 2002.
4. Стекольников Ю. И. Актуальность, методология и теоретические положения научных основ живучести систем корабельного вооружения // Морской вестник. – 2013. – № 1 (45). ■

26 июня 1929 г. исполняется 90 лет видному ученому, инспектору группы инспекторов Военно-учебного научного центра ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова», контр-адмиралу, доктору технических наук, почетному профессору Военно-морской академии Владиславу Трофимовичу Томашевскому.

Владислав Трофимович родился 26 июня 1929 г. в станице Егорлыкская Ростовской области. Во время Великой Отечественной войны в возрасте 12 лет вместе с мамой и младшим братом оказался в оккупированном Пятигорске. После ареста, а затем и казни мамы за участие в подполье вместе с братом был помещен в детский концентрационный лагерь, откуда им вскоре удалось бежать.

После окончания в 1952 г. кораблестроительного факультета Высшего военно-морского инженерного училища им. Ф. Э. Дзержинского Владислав Трофимович до 1955 г. проходил службу в АСС Балтийского флота старшим и главным инженером по аварийно-спасательным, подводно-техническим и судоподъемным работам, заместителем командира отдельного дивизиона аварийно-спасательной службы.

С 1956 по 1958 г. он служил старшим офицером технического отдела Управления вооружения и судоремонта Кронштадтской военно-морской крепости. С 1958 г. – слушатель кафедры проектирования подводных лодок кораблестроительного факультета Военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А. Н. Крылова. Будучи слушателем 2-го курса в 1960 г. защитил кандидатскую диссертацию. После окончания академии в 1961 г. и до 1970 г. служил в 1 ЦНИИ военного кораблестроения. В эти годы Владислав Трофимович становится одним из инициаторов нового научного направления, связанного с применением композитных материалов в интересах обороны страны. За научные исследования в области механики композитных материалов Владислав Трофимович в 1961 и 1964 гг. был удостоен премии им. П. Ф. Папковича.

В 1969 г. он становится доктором технических наук, а в 1970 г. ему присваивают звание профессора. В 1967 г. В. Т. Томашевского назначают заместителем председателя Научно-координа-

В.Т. ТОМАШЕВСКОМУ – 90 ЛЕТ

ВУНЦ ВМФ «ВМА», контакт. тел. +7(911) 264 4545



ционного совета АН СССР и оборонных отраслей промышленности. На этой должности он трудился до 1987 г.

В 1970 г. Владислава Трофимовича назначают начальником кафедры военного кораблестроения Военно-морской академии. В 1977 г. ему было присвоено звание контр-адмирала-инженера. С 1983 г. он – член Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике. Владислав Трофимович – лауреат премий Министерства высшего образования СССР (1985, 1986). В 1990 г. ему было присвоено почетное звание заслуженного деятеля науки и техники РФ. В этом же году за работы в области глубоководной техники он становится лауреатом премии Совета Министров СССР.

После увольнения из Вооруженных сил в 1990 г. Владислав Трофимович до 2004 г. продолжает преподавательскую работу в должности профессора кафедры военного кораблестроения в Военно-морской академии.

В 1990–2011 гг. В. Т. Томашевский – заведующий лабораторией механики композитных систем, главный научный сотрудник, директор Центра прикладных исследований – заместитель директора по инновационной деятельности Института проблем машиноведения РАН. В 1992 г. он становится действительным членом Российской академии естественных наук, а с 1996 г. – почетным профессором Военно-морской академии. С 2012 г. по на-

стоящее время он – инспектор группы инспекторов ВУНЦ ВМФ.

Основными направлениями научной деятельности В. Т. Томашевского являются:

- разработка фундаментальных проблем моделирования связанных процессов механики и химической физики композитных систем (МКС);
- решение прикладных задач МКС в проектировании и технологии производства конструкций и деталей из композитных и гомогенных материалов в кораблестроении, общем и специальном машиностроении;
- строительная механика и научная методология исследовательского проектирования кораблей.

Владислав Трофимович – основатель научной школы «Актуальные проблемы развития кораблестроения». Он – автор 14 монографий, 11 учебников и учебных пособий, более 300 статей и 200 изобретений.

В. Т. Томашевский – член специализированных советов по защитах докторских диссертаций в ИПМаш РАН, Военно-морской академии, ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова и кандидатских диссертаций в 40 ГНИИ Министерства обороны.

Владислав Трофимович Томашевский подготовил 8 докторов и 34 кандидата наук.

Помимо научной деятельности он еще ведет большую работу по увековечиванию памяти погибших во время Великой Отечественной войны в Пятигорске.

В 1975 г. контр-адмирал В. Т. Томашевский был награжден орденом «За службу Родине в Вооруженных силах СССР» 3-й степени.

Дорогой Владислав Трофимович, Ваши многочисленные ученики и коллеги по Военно-морской академии и Институту проблем машиноведения РАН сердечно поздравляют Вас с юбилеем, желают крепкого здоровья, бодрости духа и семейного благополучия.

Редакционный совет и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру успехов и творческого долголетия. ■



Многочисленные исследования конъюнктуры рынка военно-морской техники, а также изучение состава флотов различных государств мира свидетельствуют о все нарастающем в последнее время спросе на корабли класса «корвет».

Корабли этого класса – практически идеальное решение для флотов тех государств, которые, с одной стороны, ограничены в средствах (сегодня, в пору экономического кризиса, эта проблема охватывает все более широкий круг стран), а с другой – имеют серьезные претензии на оказание влияния в определенных районах Мирового океана.

Это достигается за счет универсальности корветов, их способности решать самый широкий спектр задач, а также сравнительно низкой стоимости. При этом, как правило, мореходные, эксплуатационные качества, а также боевые характеристики корветов весьма высоки, что отчасти позволяет «заменить» ими корабли большего водоизмещения.

Именно поэтому многие страны мира уже сегодня реализуют программы модернизации своих военных флотов, формируя их основу из кораблей класса «корвет».

Корветы – это быстроходные, хорошо вооруженные корабли, несущие на борту самое различное вооружение – от ударного до противолодочного, способные развивать высокую скорость хода – 25 уз и более и имеющие полное водоизмещение от 700 до 3000 т. Их технические характеристики и вооружение позволяют эффективно использовать эти корабли в самых различных операциях на море.

Как и большинство надводных кораблей XXI в., современный корвет немалым образом зависит от технологий снижения заметности, которые существенно повышают его эффективность при решении реальных боевых задач. К таким технологиям относятся в первую очередь снижение эффективной площади рассеяния и инфракрасной заметности за счет использования специальных радиопоглощающих материалов и покрытий в конструкции корпуса и надстроек, а также снижение уровня шумов. При этом корпус корабля и его надстройки также имеют особую форму с различными углами наклона поверхностей для отражения сигналов радиолокационных станций с целью уменьшения отображения корабля на экране радара.

Ведущий проектант боевых надводных кораблей различных классов в России – Северное ПКБ, следуя требованиями времени, особое внимание уделяет разработке проектов многоцелевых малозаметных корветов различного водоизмещения. Возможность решения этими кораблями широкого

ПАТРУЛЬНЫЙ КОРАБЛЬ ПРОЕКТА 22160 – НОВЫЙ КЛАСС КОРВЕТОВ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ФЛОТА И НА ЭКСПОРТ

Д.В. Курочкин, канд. тех. наук, начальник отдела АО «Северное ПКБ»,
контакт. тел. (812) 784 8207, 784 7344

круга специальных задач дополняется возможностью использования средств радиоэлектронной борьбы, что увеличивает защищенность корабля от поражения противокорабельными ракетами с радиолокационными головками самонаведения.

Сегодня по проекту Северного ПКБ для Российского ВМФ развернуто серийное строительство патрульных кораблей (что в иностранном флоте соответствует классу «корвет») пр. 22160.

Головной корабль «Василий Быков» в декабре 2018 г. вошел в состав Черноморского флота. Первый серийный – «Дмитрий Рогачев» – завершает государственные испытания, третий – «Павел Державин» – спущен на воду и в настоящее время в достройке.

Основная цель кораблей пр. 22160 в базовом варианте была сформулирована следующим образом: корабль не должен быть дорогим в строительстве и эксплуатации, при этом он должен обладать высокой эффективностью и мореходностью, а также способностью решать широкий спектр задач патрульной, противопиратской и природоохранной деятельности. Корабль должен действовать в исключительной экономической зоне, в открытых акваториях морей и океанов, осуществлять поиск пострадавших при морских катастрофах и оказывать им помощь, а также проводить экологический мониторинг окружающей среды. Для выполнения этих задач кораблю не нужно ударное

и зенитное ракетное вооружение, но при этом в кормовой части под вертолетной палубой устанавливаются два стандартных 40-футовых контейнера, в которых можно разместить различное вооружение либо специальное оборудование (например, водолазное, медицинское, природоохранное), подключив их к системам управления и жизнеобеспечения корабля, предусмотренным в проекте.

Патрульные корабли пр. 22160 создавались для Российского ВМФ, но уже на стадии проектирования была предусмотрена возможность предложения этих кораблей в варианте легкого корвета на экспорт, был всесторонне изучен и учтен опыт проектирования и эксплуатации подобных кораблей как в Российском ВМФ, так и за рубежом.

Такой подход позволил создать базовую платформу, которая отлично вписывается в концепцию и отечественного и зарубежных флотов. Заложенный в нее большой модернизационный потенциал для дооснащения корабля необходимыми средствами в особый период, а также для оптимизации под конкретные требования заказчика позволяет варьировать состав вооружения и создавать на единой платформе корабли различного назначения в зависимости от поставленных задач и потребностей рынка. Возможна установка комплексов вооружения и комплектующего оборудования с учетом требований заказчика.



Экспортный вариант корвета пр. 22160 (вид сбоку и сверху)



Головной патрульный корабль «Василий Быков»

Созданный на основе базового проекта экспортно-ориентированный вариант корабля, который в иностранном флоте может выполнять функции легкого корвета, имеет ряд серьезных преимуществ перед иностранными конкурентами. Это мощное универсальное вооружение, высокая мореходность, возможность приема на борт вертолета или БПЛА вертолетного типа и его обслуживания. С учетом применения технологий по снижению заметности, водоизмещения, заложенных в проект модернизации возможностей, а также возможности приема на борт стандартных контейнеров с самым разнообразным оборудованием пр. 22160 в значительной степени превосходит иностранные аналоги. Их сравнительные характеристики приведены в таблице.

Корабли пр. 22160 могут быть оснащены универсальным ракетным комплексом «Калибр-НКЭ» с тактическими, противокорабельными и противолодочными ракетами. Этот комплекс прекрасно зарекомендовал себя при выполнении боевых задачи в Сирии группировкой надводных кораблей российского флота. Для поражения средств воздушного нападения возможна установка зенитного ракетного комплекса. Для стрельбы по надводным береговым и воздушным целям в зависимости от пожеланий заказчика могут быть установлены российские или зарубежные артиллерийские комплексы калибром от 57 до 100 мм. Для борьбы с подводными целями корабли могут быть оснащены торпедными аппаратами калибром 324 мм. Также может быть установлен комплекс противодиверсионных средств, включающий опускаемую гидроакустическую станцию для обнаружения малоразмерных целей, таких как мини-подводные лодки, средства доставки боевых плов-

цов, мины, в том числе и на мелководье, и малогабаритный дистанционно управляемый гранатометный комплекс. Дополняют вооружение корабля два пулемета калибром 12,7 мм. Для обнаружения надводных и воздушных целей устанавливается трехкоординатная радиолокационная станция.

При полном водоизмещении около 1800 т корабль пр. 22160 имеет мореходные качества не хуже, чем у кораблей с вдвое большим водоизмещением. Это достигается благодаря инновационной форме корпуса, которая отработывалась в ходе многочисленных модельных испытаний в опытовом бассейне. Правильность решений, принятых при создании корпуса корабля и отработанных на моделях, была подтверждена мореходными испытаниями головного корабля проекта.

Корпус имеет форму типа «модифицированное глубокое V» с одноостровной надстройкой и закрытой швартовкой. Он оптимизирован для длительного движения с высокими скоростями на развитом волнении. Мореходные качества корабля позволяют использовать его вооружение на волнении моря до 5 баллов включительно. Непотопляемость корабля обеспечивается при затоплении любых двух смежных водонепроницаемых отсеков.

Корпус и надстройка выполнены из стали без использования легких сплавов. Элементы корпуса имеют обводы без двойной погни, что упрощает и удешевляет строительство и ремонт. Ходовая рубка имеет защиту от пуль и осколков, что особенно актуально при выполнении специфических задач, которые в последнее время возлагаются на корабли данного класса.

В варианте всережимной главной энергетической установки предлагается использовать дизельную ЭУ с сов-

ременным движительным комплексом с двумя винтами регулируемого шага.

Конфигурация ГЭУ построена таким образом, что позволяет осуществлять работу любого из главных двигателей на оба гребных винта. Таким образом повышается экономичность энергетической установки, увеличивается ее ресурс.

Корабль оборудован взлетно-посадочной площадкой, способной принимать вертолеты массой до 12 т и беспилотные летательные аппараты вертолетного типа.

Наличие вертолетов и беспилотников на современном боевом корабле — непременное условие, значительно повышающее его функциональные возможности. Предлагается постоянное базирование со стационарным ангаром, системой транспортировки вертолета и хранилищем, вмещающем около 20 т авиатоплива. Авиационный комплекс способен эффективно функционировать днем и ночью при волнении моря до 5 баллов.

Еще одна ключевая особенность корабля — наличие в его кормовой части специального ангара со слипом, в котором располагается десантно-штурмовой катер. Его задача — переброска разведывательных и диверсионных групп на берег. Катер спускается на воду через кормовой лацпорт, причем спуск и прием катера могут осуществляться на ходу корабля. Для высадки досмотровых партий на задержанное судно могут быть применены скоростные бортовые катера.

Традиционно, корабли АО «Северное ПКБ» отличаются хорошей обитаемостью личного состава. Пр. 22160 подтверждает это правило. Экипаж корабля размещается в соответствии с современными стандартами в одно-, двух- и четырехместных каютах с сан-

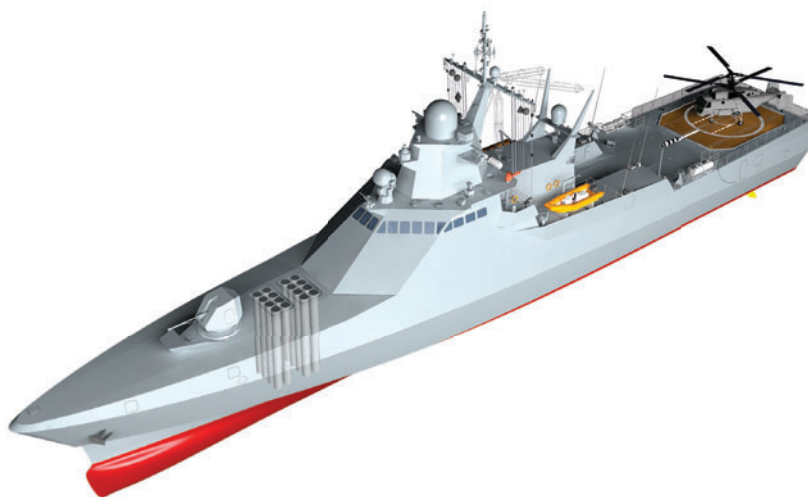
**Сравнительные характеристики экспортного варианта корвета пр. 22160
и иностранных корветов близкого водоизмещения**

Характеристика	Россия	Германия	Франция	Испания
Строитель/ проектант	Северное ПКБ	Lürssen	DCNS	Navantia
Проект	22160	K130	Gowind 2500	Avante 2200
Водоизмещение полное, т	1800	1840	2500	2500
$L \times B \times T$, м	94,0×14,0×3,4	89,1×13,3×3,4	102×16×3,6	98,9×13,6×3,8
Скорость полного хода, уз	27	26	25	25+
Ракетное вооружение	Универсальный комплекс «Калибр-НКЭ» ЗРК ПЗРК	ЗРК, ПКР	ЗРК, ПКР	ЗРК, ПКР
Противолодочное вооружение	2×4 ТА	–	2×3 ТА	1×ТА
Артиллерийское вооружение	1×57 АУ 2×14,5-мм пулемета	2×27 АУ	1×76 АУ 2×20 АУ	1×76 АУ 1×30 АУ
Авиационное вооружение	Вертолетная площадка и телескопический ангар	Вертолетная площадка и ангар для БПЛА	Вертолетная площадка и ангар	Вертолетная площадка и ангар

узлами. Дополнительный контингент (морская пехота) располагается в кубриках с двухъярусными койками. Также имеются все необходимые бытовые помещения, позволяющие организовать отдых личного состава.

Прекрасно известно, что наибольший интерес у заказчика вызывают те корабли, которые строятся серийно и уже включены в состав флота, как говорят «прошли проверку морем».

Головной корабль пр. 22160 прекрасно показал себя как на испытаниях, так и во время службы. Его мореходные качества, условия, созданные для работы и отдыха экипажа, получили самую высокую оценку. Вне конкуренции остается и модернизационный потенциал, который значительно расширяется за счет применения стандартных контейнеров с вариативным наполнением, а также возможности установки вооружения и оборудования по конкретным пожеланиям заказчика.



Экспортный вариант корвета пр. 22160 с усиленным ракетным вооружением

Вне всякого сомнения, корабли, созданные на основе отлично зарекомендовавшего себя пр. 22160 станут основой легких сил любого военно-морского

флота, придав ему своим наличием абсолютно новые возможности и поставив его на качественно более высокую ступень. ■



Первый серийный патрульный корабль «Дмитрий Рогачёв» на испытаниях

В июне 1963 г. на ходовые испытания вышла новая советская атомная подводная лодка (АПЛ) «К-27». Внешне она почти не отличалась от серийной АПЛ первого поколения пр. 627А. И все же АПЛ «К-27» имела кардинальное отличие: это была первая в Советском Союзе опытная АПЛ пр. 645 с паропроизводящей установкой (ППУ), в ядерных реакторах которой использовался жидкометаллический теплоноситель (ЖМТ).

Подводное кораблестроение осваивало ядерную энергетику. Шел поиск наиболее перспективных направлений создания корабельных ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Наиболее приемлемыми считались два альтернативных варианта: водо-водяная установка и установка с ЖМТ.

По сравнению с водой ЖМТ не требовал создания в первом контуре высокого давления для удержания жидкой фазы. Снижение давления обуславливало упрощение и экономию массы корабельной ЯЭУ. Большим достоинством установок с ЖМТ считалась возможность получения во втором контуре пара с более высокими параметрами, т.е. с большими температурами и давлением. Это позволяло повысить коэффициент полезного действия ЯЭУ и сократить массогабаритные характеристики паратурбинной установки.

История создания отечественных подводных лодок (ПЛ) с реакторами на ЖМТ ведет отсчет с сентября 1952 г., когда по решению Правительства СССР началось проектирование первой отечественной АПЛ. В качестве основного тогда был выбран вариант водо-водяной ЯЭУ, но работы по корабельной ЯЭУ с ЖМТ не прекратили. Их осуществлял Физико-энергетический институт (ФЭИ) под научным руководством академика А.И. Лейпунского. Непосредственную разработку жидкометаллической ППУ, получившей обозначение ВИ, вело АО «ОКБ «Гидропресс». Подольского машиностроительного завода им. Орджоникидзе под руководством главного конструктора Б.М. Шолковича.

При этом согласно постановлению правительства 1953 г. одновременно с разработкой ЯЭУ для ПЛ предусматривалось создание стендов для испытания наземных прототипов первых ЯЭУ. Стенды создавались для наземных прототипов ЯЭУ с реакторами, охлаждаемыми водяным (стенд 27/ВМ) и жидкометаллическим (стенд 27/ВТ) теплоносителями. На каждом из стендов испытанию подлежали установки одного борта корабля в составе одного ядерного реактора и одного главного турбозубчатого агрегата с их вспомогательными механизмами и системами. Испытуемые стендовые установки должны были в максимальной степени приближаться к штатным корабельным. Оборудование установки другого борта, не испытываемое на стенде, в необходимой степени макетировалось.

В разработке проекта стенда 27/ВТ принимали участие сотрудники СКБ-143, ныне АО «СПМБМ «Малахит». Бюро выпустило рабочие чертежи, приняло участие в монтаже конструкции на стендовой площадке. Монтажные работы на стенде, длившиеся около четырех лет, были закончены в ноябре 1958 г. Основная причина задержки заключалась в несвоевременной поставке оборудования на стенд. В январе 1959 г. был загружен жидкометаллический сплав, а в марте этого же года стендовая установка вышла на 60%-ную мощность. С 18 марта по июль 1960 г. шли основные испытания установки на мощности до 100% от номинальной. 22 июня 1960 г. начались ресурсные испытания ЯЭУ. Были проведены проверки надежности работы реактора и ЯЭУ. Испытания подтвердили хорошие маневренные свойства при устойчивой работе всех узлов и механизмов. В результате проведенных

ОБЪЕКТЫ АО «СПМБМ «МАЛАХИТ» С ЯДЕРНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

В.В. Замуков, канд. техн. наук, доцент, науч. руководитель по ЭУ и СУ ЭУ,
М.И. Говоровская, инженер-конструктор 2-й категории,
Д.В. Сидоренков, канд. техн. наук, начальник сектора,
И.И. Курдюков, начальник сектора, АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 8517

стендовых испытаний опытной ЯЭУ в дальнейшем был внесен ряд изменений в ЯЭУ для АПЛ пр. 645.

В качестве теплоносителя отечественные физики выбрали эвтектический сплав свинец-висмут, который, хотя и уступал натрию по теплофизическим свойствам, был значительно менее химически активен и опасен в случае аварии.

Значительно отличались друг от друга парогенераторы этих двух установок. Использование в первом контуре ППУ типа ВИ более низкого давления, чем во втором, исключало распространение радиоактивности при нарушении плотности парогенераторов.

Кроме того, предусматривался доступ к трубным поверхностям парогенераторов для глушения отдельных трубок в случае выхода их из строя. Таким образом решалась проблема АПЛ первого поколения, имевших водо-водяные реакторы.

Но использование ЖМТ имело и свою обратную сторону. При эксплуатации ПЛ необходимо было постоянно поддерживать сплав в жидком разогретом состоянии. Во избежание его замораживания установка не могла быть просто заглушена (остановлена), как это делалось на ПЛ с водо-водяными реакторами. Придя в базу, АПЛ должна была подключиться к базовой системе парового обогрева первого контура, и только после этого реактор мог быть заглушен. Это значительно усложняло и удорожало систему базирования.

Кроме того, поскольку часть оборудования ППУ все же оставалась в работе даже в базе, происходило расходование ресурса корабельных механизмов.

В октябре 1955 г. Совет Министров СССР принял постановление о разработке опытной АПЛ пр. 645 с жидкометаллической ППУ типа ВИ. В общетехническом плане АПЛ пр. 645 сохраняла родство с первой АПЛ и, по существу, являлась модификацией пр. 627. Поэтому работы по ее проектированию начались в СКБ-143 сразу со стадии технического проекта. Главным конструктором АПЛ стал А.К. Назаров, которого в СКБ-143 пригласил начальник бюро и главный конструктор АПЛ пр. 627 В.Н. Перегудов, курировавший работы по АПЛ с жидкометаллической ЯЭУ на начальном этапе работ в 1952–1955 гг.

Согласно первоначальному замыслу предполагалось, что для большей сопоставимости жидкометаллическая и водяная ППУ будут иметь равную мощность и будут установлены на



Атомная подводная лодка пр. 645

ПЛ одного проекта. Соответственно, при разработке ППУ типа ВИ ориентировались на ее размещение в реакторном отсеке АПЛ пр. 627. Сохранялась и единая структурная схема всей энергетической установки. Несмотря на большое внешнее сходство с серийными АПЛ пр. 627А, АПЛ пр. 645 все-таки отличалась по составу и размещению технических средств.

Разработка технического пр. 645 завершилась в 1956 г. По своим тактико-техническим элементам АПЛ этого проекта была близка к серийным АПЛ пр. 627 А. Не уступала она и АПЛ США «Сивулф», а по скорости хода и глубине погружения даже превосходила ее.

В течение следующего 1957 г. СКБ-143 разработало чертежи АПЛ, а в 1958 г. выпустило техническую документацию по проекту (кораблестроительные расчеты, инструкции по эксплуатации и т.д.), что позволило в сентябре приступить к строительству корабля на заводе №402, в том же цехе №42, где проходило строительство АПЛ пр. 627 и пр. 627А под руководством главного строителя корабля А.А. Овчинникова.

Официальная церемония закладки будущей АПЛ состоялась 15 июня 1958 г. Первоначально намечалось сдать АПЛ флоту уже в конце 1960 г., однако из-за задержки готовности ППУ сдерживалась постройка корабля. Дорабатывавшееся оборудование поступало с опозданием до шести–восьми месяцев против плановых сроков. Полностью поставка оборудования ЯЭУ была завершена только в начале 1962 г. В результате спуск на воду АПЛ состоялся лишь 1 апреля 1962 г., а в мае начались швартовые испытания по проверке общекорабельных систем, механизмов и вооружения.

Параллельно велись работы по приготовлению к вводу в действие ЯЭУ корабля. Кульминация этого этапа наступала в начале декабря, когда установка приняла сплав, приготовленный и доведенный до необходимых кондиций на заводе № 402. После этого начался весьма ответственный период эксплуатации ППУ – принятый сплав требовал поддержания в разогретом состоянии и готовности к работе вспомогательных механизмов ЯЭУ. Вскоре были осуществлены физические пуски обоих реакторов. С первых дней нового 1963 г. начались испытания главной энергетической установки, проводившиеся испытательной партией, ядро которой составили специалисты СКБ-143, ныне АО «СПМБМ «Малахит». При этом они непосредственно выполняли функции сдаточных операторов ЯЭУ и вспомогательных систем.

А летом 1963 г. АПЛ под командованием капитана 1 ранга И.И. Гуляева вышла в море на испытания. Для сокращения сроков сдачи АПЛ заводские и государственные испытания были совмещены. Принимала лодку специально назначенная Правительственная комиссия под председательством вице-адмирала Г.Н. Холостякова. На испытаниях АПЛ практически полностью подтвердила условия договорной сертификации. Выявленные недостатки и неисправности оперативно устранены заводскими специалистами. 30 октября 1963 г. Правительственная комиссия подписала Приемный акт опытной АПЛ пр. 645 и рекомендовала применение ЯЭУ со сплавом свинец-висмут на АПЛ новых проектов, а в качестве ближайшей перспективы предложила организовать длительный автономный поход АПЛ «К-27» с целью более глубокого изучения ее эксплуатационных качеств и ЯЭУ. Только в период сдаточных испытаний АПЛ без особых осложнений прошла за 528 ходовых часов 5760 мор. миль (в 1,5 раза больше, чем первая АПЛ с ВВР), из которых 3370 миль (59%) в подводном положении.

За успешное выполнение работ в 1964 г. главному конструктору АПЛ А.К. Назарову в составе группы создателей корабля и его ЯЭУ была присуждена Ленинская премия.

После сдачи АПЛ вошла в состав Северного флота и перешла к месту своего постоянного базирования, где построили специальную котельную, необходимую для поддержания в

межпоходный период теплоносителя в разогретом состоянии.

Первый поход АПЛ носил испытательный характер. Предстояло проверить механизмы и технические средства корабля в работе в течение полной автономности в различных климатических зонах, определить оптимальные режимы использования ЯЭУ. Поэтому курс АПЛ был проложен в экваториальную часть Атлантики. В связи с необычными задачами похода расширили состав экипажа. Кроме штатного личного состава в поход шли председатель Правительственной комиссии вице-адмирал Г.Н. Холостяков (руководитель похода), контр-адмирал И.Д. Дорофеев и другие представители флота, а также группа специалистов промышленности, в которую входили главный конструктор АПЛ А.К. Назаров и ведущий конструктор СКБ-143 Г.Д. Морозкин, возглавлявший при сдаче АПЛ испытательную партию энергетической установки.

АПЛ вышла в море 21 апреля и вернулась в базу через 51 сутки 11 июня 1964 г. За 1240 ходовых часов она прошла 12 425 миль, из них 12 278 миль (89%) под водой. В походе энергетическая установка работала устойчиво во всех широтах, в том числе и в экваториальных, где температура воды доходила до плюс 25–27 °С, и система охлаждения действовала на пределе своих возможностей. Результаты этого похода еще больше укрепили уверенность моряков в надежности и безопасности ППУ с ЖМТ.

В октябре 1965 г. АПЛ, совершив, как и АПЛ «Сивулф», два автономных похода и оставив за кормой более 44 000 миль, вернулась для ремонта в Северодвинск. Предстояло также частично обновить электронное вооружение АПЛ. Из-за увеличения объема работ, не связанных с ЯЭУ, продолжительность ремонта значительно возросла.

В начале 1967 г. выполнили перегрузку активных зон, а летом установки вновь приняли сплав. Только в сентябре 1967 г., почти через два года после начала ремонта, АПЛ возвратилась в состав Северного флота и приступила к отработке задач боевой подготовки.

И тут началась цепь неудач, приведшая к трагедии. 13 октября, когда АПЛ находилась в море, произошел заброс сплава в газовую систему первого контура реактора правого борта. Его причиной стали отложения шлаков (окислов сплава свинец-висмут), закупорившие проход для теплоносителя, который стал поступать в газовую систему. В результате этой аварии два насоса были залиты застывшим сплавом. Пришлось вывести из работы ППУ правого борта, а АПЛ прервать поход и вернуться в базу.

21 мая 1968 г. АПЛ вновь вышла в море для отработки задач боевой подготовки и испытаний ЯЭУ. 24 мая около 12.00 во время вывода установок на режим полного хода случилась авария с реактором левого борта. В результате нарушения теплоотвода от активной зоны произошли перегрев и разрушение тепловыделяющих элементов. Это привело к выносу радиоактивных продуктов в первый контур сплава и газовый контур, выбросу радиоактивного газа в реакторный отсек. Авария сопровождалась резким ростом гамма-излучения.

В 12.15 АПЛ всплыла в надводное положение. Реактор левого борта был заглушен, и последующий шестичасовой переход в базу совершался при работе реактора правого борта на обе турбины. Большинство участников похода получило значительные дозы облучения и было госпитализировано. Жизни девяти человек спасти не удалось.

В начале 1968 г. корабль обследовала специальная комиссия, которая пришла к выводу о необходимости проведения дорасхолаживания реакторов и замораживания сплава в реакторах обоих бортов. По существу, это был смертельный приговор АПЛ пр. 645 – после замораживания сплава ввести реакторы в действие становилось практически невозможным. Но комиссия пошла на этот вынужденный шаг из-за тяжелой радиационной обстановки, сохранявшейся на корабле. К 20

июня 1968 г. необходимые операции по расхолаживанию ППУ и замораживанию сплава завершились. Все механизмы ППУ были выведены из действия и законсервированы.

В мае 1981 г. АПЛ поставили в док северодвинского предприятия «Звездочка». Полости оборудования ППУ и ее трубопроводы были заполнены специальным составом, который после затвердевания предотвращал вымывание и выход из реактора радиоактивных материалов. Свободные объемы отсека и цистерну водо-свинцовой защиты заполнили битумом. Всего в отсек было залито 270 т битума, который полностью заполнил реакторы. Этим достигалось полное исключение попадания воды к загрязненному оборудованию и последующего заражения окружающей среды в месте затопления. Консервация реакторного отсека позволила довести уровень проникающего излучения на поверхности легкого корпуса до фоновых значений.

Для сохранения плавучести АПЛ во время буксировки через беспокойное Баренцево море четыре цистерны главного балласта заполнили вспененным полистиролом.

Все операции были выполнены предприятием «Звездочка» в течение лета, и вскоре АПЛ отправилась в свой последний путь. Силами ВМФ она была отбуксирована в Карское море и осенью 1981 г. затоплена у Новой Земли на глубине около 75 м.

Такова судьба АПЛ пр. 645 – корабля, открывшего нашему флоту дорогу к использованию ППУ с ЖМТ. Несмотря на короткую жизнь и трагический финал, эта АПЛ выполнила возлагающиеся на нее задачи опытного корабля.

В отличие от американцев, не сумевших решить проблемы использования теплоносителя из щелочного металла, отечественная ППУ со сплавом свинец-висмут не только подтвердила свою работоспособность, но и доказала, что может успешно конкурировать по эксплуатационным качествам с водо-водяными установками.

Не менее знаменательной вехой подводного кораблестроения стали работы по проектированию титановой, комплексно-автоматизированной АПЛ пр. 705 (705К). Инициатива создания такой ПЛ принадлежит начальнику и главному конструктору СКБ-143 В.Н. Перегудову, доктору физико-математических наук, академику А.П. Александрову и инженеру-адмиралу П.Г. Котову.



Атомная подводная лодка пр. 705К

При разработке этого проекта был осуществлен качественный прорыв к более совершенным решениям в области кораблестроения, электромашиностроения, материаловедения, автоматизации процессами управления ПЛ и всего электронного оборудования, а также глубокий поиск более рациональных принципов и норм проектирования боевых лодок. Все это позволило создать относительно малую ПЛ с высокой боевой эффективностью. В ее проекте был впервые реализован целый ряд революционных технических решений, в том числе:

- комплексная автоматизация управления работой всех технических средств на корабле в целом из единичного главного командного пункта;
- использована ядерная паропроизводящая установка с реактором, охлаждаемым ЖМТ с прогрессивными массогабаритными параметрами;
- использована малогабаритная блочная паротурбинная установка;
- применены новые материалы корпуса;
- внедрена электроэнергетическая система с использованием переменного тока с повышенной частотой.

Для наземного прототипа ЯЭУ ПЛ пр. 705 на основании постановлений правительства был создан стенд КМ-1. СКБ-143 было привлечено к участию в проектировании стенда в статусе головного разработчика стенда. По техническому заданию ИАЭ, утвержденному ГКАЭ и ФЭИ, СКБ-143 выполнило технический проект прототипа кормовой части АПЛ, включающей ЯЭУ.

В целом монтаж стенда КМ-1 был завершён в 1969 г., в декабре 1977 г. на стенде был осуществлён «холодный», а в марте 1978 г. – «горячий» физический пуск ЯЭУ. Комплексные сдаточные испытания закончились в июне 1978 г. Во время комплексных испытаний впервые был осуществлён выход реактора на 100%-ную мощность и проверена устойчивость работы ЯЭУ на этом уровне мощности.

ЯЭУ эксплуатировалась одну кампанию с 1978 по 1986 г. В настоящее время ЯЭУ находится на этапе вывода из эксплуатации с последующей реконструкцией для размещения перспективной установки типа АМБ-8КМ1 с тяжёлым ЖМТ.

Технический проект ПЛ пр. 705 был разработан в 1963 г. Построенная на «Судомехе» (ныне АО «Адмиралтейские верфи») опытная лодка прошла ходовые испытания и в 1971 г. была передана флоту в опытную эксплуатацию.

Пр. 705 намного опередил свое время и проложил путь для дальнейшего совершенствования ПЛ следующих поколений.

Главным конструктором был назначен талантливый конструктор М.Г. Русанов. В 1974 г. его сменил на этом посту В.В. Ромин.

Постройка серии была завершена в 1992 г. АПЛ строились на двух заводах: «Адмиралтейские верфи (4 ед.) и ПО «Севмаш» (3 ед.).

На счету лодок этих проектов – успешные походы в различные точки Мирового океана. И все же сложность этой техники, серьезные трудности по обеспечению базирования, связанные с требованием постоянного поддержания первого контура в горячем состоянии, а также сложность выполнения специальных операций по предотвращению окисления сплава, контролю за его состоянием и периодической регенерацией (удаление окислов) создали предпосылки к решению о выводе этих лодок из боевого состава ВМФ.

Кроме проектов АПЛ с ЖМТ в АО «СПМБМ «Малахит» в 2008 г. в инициативном порядке совместно с АО «ОКБ «Гидропресс» и ФГУП «ГНЦ «ФЭИ» был выполнен аванпроект атомной теплоэлектростанции на базе плавучего энергоблока с РУ СВБР-75/100 с ЖМТ для г. Вилюйинск с обоснованием пункта размещения АТЭС, основных технологических решений, обоснованием безопасности, охраны окружающей среды и экономического обоснования проекта. Полное водоизмещение ПЭБ – 8000 т.

В настоящее время АО «СПМБМ «Малахит» не отказалось от рассмотрения энергетической установки с ЖМТ в своих перспективных разработках, в том числе в обеспечение объектов гражданской энергетики. ■

Николай Михайлович Вихров родился 16 мая 1949 г. в с. Залучье Старорусского района Новгородской области. Окончил Ленинградский институт водного транспорта (1971) по специальности судовые машины и механизмы. Проходил службу в армии, в 1972–1987 гг. трудился на «Канонерском судоремонтном заводе» мастером, начальником слесарного участка, начальником отдела труда и заработной платы, заместителем директора по кадрам; возглавлял базу техобслуживания флота Балтийского морского пароходства. В 1989 г. Н. М. Вихров, которого отличали высокий профессионализм, умение четко поставить задачи и добиваться их выполнения, был избран на конкурсной основе директором «Канонерского судоремонтного завода». Доброжелательность и умение заинтересованно относиться к людям сыграли при этом не последнюю роль. Сегодня он – генеральный директор этого предприятия, который вносит заметный вклад в сохранение и развитие судоремонтной отрасли России и совершенствование производственно-технологических процессов судоремонта.

В 90-е гг., в сложных условиях перехода российской экономики на рыночные принципы хозяйствования, при резком снижении объема заказов на ремонт российского флота Н. М. Вихров за счет высоких организаторских способностей и деловых качеств сумел переориентировать производство на выполнение ремонта иностранного флота и государственных заказов, что позволило предприятию продолжить работу с постепенным наращиванием производственных показателей.

В 1998 г. завод в жесткой конкурентной борьбе выиграл тендер на установку ракетно-космического комплекса на сборочно-командном судне «Си Ланч Коммандер» для международного проекта «Морской старт» для запуска ракет с плавучей пусковой платформы из района экватора, что позволяет значительно сократить расход топлива носителей и увеличить массу выводимых на орбиту спутников.

В 2000 г. завод прошел тщательную проверку и получил лицензию на ремонт вооружения и военной техники, а также освоил новейшие технологии ремонта титановых корпусов автономных спасательных глубоководных аппаратов для спасения экипажей подводных лодок ВМФ. Были отремонтированы и модернизированы спасательные аппараты для Балтийского (АС-26), Тихоокеанского (АС-30) и Северного флотов (АС-34, АС-36). В настоящее время завод приступает к ремонту спасательного аппарата для Черноморского флота РФ (АС-28).

С 2003 по 2008 г. выполнен большой объем работ по ремонту и модернизации ледокольного флота России – ледоко-

Н.М. ВИХРОВУ - 70 ЛЕТ

ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»,
контакт. тел. (812) 746 9852



лов «Семён Дежнёв», «Ермак», «Иван Крузенштерн». В 2006 г. выполнены уникальные, нестандартные работы по реставрации деревянных конструкций учебных парусников «Мир» и «Седов». В 2015 г. отремонтировано и подготовлено к кругосветной экспедиции через Северный морской путь океанографическое исследовательское судно «Адмирал Владимирский». В 2015 и 2016 гг. отремонтированы и подготовлены к антарктическим экспедициям научные суда «Академик Трёшников», «Академик Александр Карпинский». В 2016 г. реализован масштабный и сложный проект по ремонту и модернизации научно-исследовательского судна Полярной морской геологоразведочной экспедиции «Профессор Логачёв».

В 2016 г. проведены работы по сервисному обслуживанию, ремонту и модернизации технических средств и систем обеспечения экспериментальной научно-исследовательской базы Военно-морской академии.

В 2015–2018 гг. выполнен ремонт и техническое обслуживание судов и кораблей Балтийского флота, таких как морские танкеры «Ельня», «Лена», буксир «Евгений Хоров», десантный корабль «Королёв». Ежегодно заводом выполняются работы по ремонту ледокольного флота, который обеспечивает проводку судов в Санкт-Петербург во время ледовой навигации и работает в Северном Ледовитом океане на Северном морском пути.

По инициативе и под личным контролем Николая Михайловича заводская система качества приведена к международным стандартам, и получен сертификат соответствия системы качества ИСО

9001:1994. Это дало возможность повысить уровень организации производства, улучшить качество выпускаемой продукции, ремонтировать иностранные суда. Такие конкурентные преимущества укрепили репутацию завода как надежного партнера на рынке судоремонта.

Николай Михайлович проводит огромную работу по реконструкции и техническому перевооружению завода. Производственные цеха оснащены современным оборудованием, технические и управленческие подразделения завода полностью снабжены современными средствами вычислительной техники и программным обеспечением, благодаря чему производственные мощности и оснащение позволяют ремонтировать суда, отвечающие самым строгим международным требованиям.

В 1995 г. Николай Михайлович защитил кандидатскую, а в 2004 г. – докторскую диссертацию.

С 1996 г. по февраль 2016 г. Н. М. Вихров был заведующим кафедрой судоремонта ФГБОУ ВО «ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова».

Н. М. Вихров – академик Российской академии транспорта (1999), член Президиума СЗРО Российской академии транспорта (2002). Он – автор более 50 публикаций, член редакционного совета журнала «Морской вестник».

Н. М. Вихров – заслуженный работник транспорта РФ, президент Ассоциации судоремонтных заводов России, член Морского совета при Правительстве Санкт-Петербурга, член Ассоциации промышленных предприятий города, член Совета старшин Морского Собрания. Проводит большую работу по повышению престижа морских профессий, основанных на чести и благородстве, патриотизме и беззаветности служения Отечеству. Он – полный кавалер наград Санкт-Петербургского Морского Собрания. Награжден орденом Почета, орденом «За заслуги перед Отечеством» 4-й степени, медалями «300 лет Российского флота», «300 лет Санкт-Петербургу». Трудовая деятельность Н. М. Вихрова отмечена наградами знаками «Почетный работник морского флота», «Почетный работник транспорта России».

Друзья и коллеги поздравляют Николая Михайловича с юбилеем и желают ему доброго здоровья и дальнейших свершений на благо Отечества.

Редакционный совет и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру благополучия и успехов в работе. ■

Повышение эффективности общественного производства стало ключевой проблемой на современном этапе развития экономики. Если раньше рост промышленного производства в значительной степени происходил за счет увеличения численности работающих и высоких темпов наращивания капиталовложений, то в настоящее время первостепенное значение придается интенсивным факторам использования производственных фондов, научной организации труда, производства и управления.

Существует много аспектов решения этой проблемы: совершенствование организационных структур управления, использование новейших методов управления и др.

Проведенные исследования показали, что для российских предприятий (в том числе и предприятий судостроительной отрасли) характерны такие недостатки, как стремление получить прибыль в ближайший период в ущерб долгосрочному развитию, слабая координация работы подразделений, а также отсутствие четких контрольных показателей. Кроме того, зачастую отсутствует управленческий учет, вместо него используются данные бухгалтерского учета, которые не всегда актуальны для принятия управленческих решений.

Системы контроля, действующие в настоящее время на предприятиях, не решают поставленных задач роста эффективности производства, так как обеспечивают лишь выборочную промежуточную оценку работы, в результате чего искажаются конечные результаты. Все это не позволяет оперативно моделировать ситуацию и корректировать управленческие решения и реализовывать их в конкретных производственных условиях.

Контроллинг управленческих решений представляет собой систему, обеспечивающую координацию и информационно-экономическое сопровождение вертикальных и горизонтальных управленческих потоков всех уровней управления и функциональных направлений, в частности, процессов постановки целей, разработки, принятия и реализации управленческих решений; интеграцию в них различных групп работников. При этом управленческие решения охватывают широкий спектр проблем и характеризуются высокой степенью сложности, а организационная структура требует разработки соответствующей информационно-коммуникационной базы.

Как известно, периодический контроль на фоне размытости целей, зон ответственности и несбалансированности прав и обязанностей приводит к снижению ответственности и инициативности. Если рассматривать контроллинг уп-

равленческих решений как временный или точечный процесс, то он может оказаться малоэффективным. Процессный контроллинг следует рассматривать как основу синхронизации всех управленческих решений на предприятии, их согласованность и соответствие общим целям для достижения синергетического эффекта. Это особенно важно в условиях высоко динамичной внешней среды, так как из-за высоких темпов развития техники и технологии, изменчивости рынков частота принятия управленческих решений существенно возрастает, что приводит к быстрому устареванию принятых ранее управленческих решений и сложности контроля реализации этих решений.

Важным инструментом в достижении целей организации и конкретно финансового управления является бюджетирование. Необходимо отметить, что в данной статье более целесообразно термином «бюджетирование» обозначить управленческую технологию, используемую для реализации стратегических целей предприятия посредством организации планирования, нормирования, контроля и анализа.

Системный подход в области бюджетирования, как и повышение эффективности деятельности предприятия, в настоящее время может быть достигнут за счет использования различных математических моделей.

В данной статье для описания модели бюджетирования применены линейная регрессия и так называемые нормальные уравнения, которые являются наиболее распространенным видом математической обработки результатов наблюдений.

Несмотря на то, что линейные модели не позволяют ввести вместо нескольких регрессионных коэффициентов один интегральный параметр, подходящий для описания результата, они более практичны в силу своей простоты и могут быть использованы на любых уровнях управления.

Рассмотрим модель прогнозирования денежных потоков и управления платежеспособностью и ликвидностью предприятия (т.е. применения одного

из финансовых бюджетов предприятия - бюджета движения денежных средств).

Математически такую модель можно представить следующим образом:

$$\Delta C = f[(C_0 + C_{op}), E] - C_0 \rightarrow \max, \quad (1)$$

где ΔC – изменение денежных средств, находящихся в распоряжении предприятия; f – действия руководства в течение рассматриваемого периода в зависимости от величины остатка денежных средств C_0 в начале периода, управления денежными потоками в течение периода C_{op} и внешних факторов E .

В таком случае функцию одноэтапного стратегического плана предприятия можно описать так:

$$C_t(I_{t1}) = \varphi(I_{t1}, d\omega) \rightarrow \max, \quad (2)$$

где C_t – изменение объема денежных средств, которыми располагает предприятие в период времени t ; I_{t1} – объем инвестиций; φ – функция дохода предприятия в период времени t в зависимости от объемов инвестиций I_{t1} при соответствующей структуре капитала; d – доля заемного капитала (ЗК) в структуре капитала предприятия; ω – доля прибыли, относимая на дивиденды.

Тогда функция стратегии предприятия с учетом требования ликвидности имеет вид

$$\begin{cases} C_t = \sum_{t=1}^T \frac{\varphi_t(I_{t1}, d\omega)}{(1+r_t)^t} \rightarrow \max, \\ I_{t1} \leq C_t + \varphi_t(I_{t1}, d\omega) + I_{t2}, \end{cases} \quad (3)$$

где r_t – средневзвешенная стоимость капитала в период t ; I_{t2} – объем привлекаемого дополнительного капитала.

Таким образом, оптимизация денежных потоков предприятия на основе бюджетной математической модели может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{cases} \Delta C = \sum_{t=1}^T R_t - \sum_{t=1}^T S_t(V) \rightarrow \max, \\ \sum_{t=1}^T A + I_{t1} \leq \sum_{t=1}^T E_t + I_{t2}, \end{cases} \quad (4)$$

при этом ΔC – изменение денежных средств, находящихся в распоряжении предприятия в рассматриваемый период t ; R_t – выручка в период t ; $S_t(V)$ – затра-

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОБЛАСТИ БЮДЖЕТИРОВАНИЯ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

А.В. Иванкович, канд. эконом. наук, зам. начальника финансового отдела АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. +7 (921) 377 0968, (812) 714 8575

ты на производство в зависимости от объемов производства и загрузки производственных мощностей в период t ; A_t – расходы на осуществление хозяйственной деятельности в период t ; E_t – поступления в период t .

Если же рассматривать долгосрочный бюджет как многоступенчатый инвестиционный процесс, то приток денежных средств предприятия в долгосрочном периоде выглядит следующим образом:

$$C(N) = \sum_{t=1}^N \lambda^t \left(\sum_{i=1}^N EBIT - dZK_0 \right) \times (1-T) - \sum_{t=1}^N [\lambda^t dZK_t (1-T) - \omega_t] \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$\text{где } \lambda^t = \frac{1}{d\omega(1-T) + e(1-\omega)}.$$

При необходимости в модель также можно ввести ограничения по параметрам ликвидности, платежеспособности, величины оборотных активов и текущих

обязательств, величины процентов к уплате, а также корректировки обеспеченности собственными средствами и ограничения на использование собственного капитала для инвестиционной деятельности. Кроме того, модель можно использовать для формирования нормы оборачиваемости оборотного капитала и общей потребности в инвестициях.

Таким образом, при внедрении данной модели становится доступным решение следующих задач процесса бюджетирования:

- получение прогнозов финансово-хозяйственной деятельности предприятия;
- повышение согласованности действий различных подразделений;
- усиление направленности деятельности подразделений на выполнение стратегических задач;
- получение возможности своевременно реагировать на информацию об

ухудшении финансовых показателей и принятию мер по недопущению кризисных явлений;

- усиление контроля за эффективным использованием ресурсов и денежных средств структурными подразделениями компаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романовский М.В., Вострокнутова А.И. Корпоративные финансы: Учеб. для вузов. Стандарт третьего поколения. – СПб.: Питер, 2011.
2. Глухов В.В. и др. Математические методы и модели для менеджмента. Учеб. пособие. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2005.
3. Осипов Я.И. Финансовая стратегия компании и модель EVA // Российское предпринимательство. – 2011. – № 9. – Вып. 1. – С. 66-71;
4. Шеряй К.И. Оценка эффективности функционирования компании на основе динамики ее внутренней стоимости // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 36 (243). – С. 61-64. ■

В настоящее время создание сложной техники, к которой относятся и суда, применение 3D-моделирования стало уже привычным. Системы автоматизированного проектирования (САПР) достаточно давно и прочно используются при разработке проектной документации для судов и кораблей, и практически все проектные организации и верфи обладают лицензиями той или иной системы. И хотя до сих пор есть люди, искренне считающие, что 3D модель – это красивая картинка на мониторе, задача которой стать основой для буклетов и роликов, на деле это прежде всего математическая модель судна, база данных (БД), содержащая помимо геометрических характеристик множество другой информации о свойствах проектируемого объекта. В атрибутах элементов модели задаются марка материалов, стандарты на производство, масса, координата ЦТ, а также технологическая информация – привязка к блоку, секции, узлу, порядок установки, обработка кромок и др.

Вся эта информация, хранящаяся в БД САПР, является также исходной для систем планирования (ERP), и ее использование позволяет повысить скорость и качество планирования закупок и работ при строительстве заказов, получать достоверные отчеты о движении материалов и продвижении хода работ и т.д.

Преимущества применения САПР неоспоримы, это:

- возможность проработать конструкции судна до мельчайших подробностей на стадии проектирования с минимальными временными затратами;

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ САПР В ОТЕЧЕСТВЕННОМ СУДОСТРОЕНИИ

А.Е. Ермаков, исполняющий обязанности технического директора
ПАО «Выборгский судостроительный завод»,
контакт. тел. (81378) 264 32, 286 86

- возможность выполнения всех требуемых расчетов по теории корабля, а также использования данных модели для расчетов прочности и исследований ходовых качеств (в других прикладных программах);
- автоматизированный выпуск рабочих конструкторской (РКД) и плазово-технологической (ПТД) документации по всем специализациям;
- автоматизированное получение ведомостей материалов и комплектующих (для закупочной деятельности, учета);
- максимальное исключение на стадии проектирования возможных пересечений конструкций судна, трубопроводов, кабельных трасс, соответственно снижение затрат на возможные исправления уже в «железе» во время строительства судна.

На Выборгском судостроительном заводе с 1993 г. для разработки РКД и ПТД используется САПР FORAN. Основные работы в САПР велись по моделированию корпусных конструкций, размещению основного судового оборудования, проектированию фундаментов и судовых систем. На базе 3D модели генерировались сборочные

и монтажные чертежи, карты раскроя листовых и профильных деталей, а также эскизы труб.

Внедрение САПР позволило отказаться от масштабного плаза, значительно сократить персонал, занятый технологической подготовкой производства, при этом без потери качества работ, и, наоборот, взять на себя функции, ранее несвойственные инженерной службе завода, а именно самостоятельный выпуск чертежей рабочего проекта. При этом надо отметить, что качество рабочих документов, разработанных инженерами завода, было и остается в целом выше, чем у сторонних проектных организаций. Объяснение этому видится простое – у заводских инженеров лучшая по сравнению со сторонними проектантами мотивация к разработке документов в срок и с надлежащим качеством, поскольку ошибки обнаруживаются сразу и от итогов работы во многом зависит финансовый результат деятельности по строительству судна в целом.

С какими трудностями приходится сталкиваться верфям и проектным организациям при совместной работе в САПР и что мешает в полной мере использовать те преимущества, которые предоставляет использование САПР и ERP?

Оптимальный порядок разработки проекта в САПР предполагает поэтапную разработку 3D модели с насыщением ее информацией (наполнением базы данных проекта) в зависимости от стадии проектирования.

1. Эскизный проект (концепт проект) – на данном этапе формируется основной облик судна и определяются его основные данные (размерения, основные технические характеристики, положение переборок и отсеков), выполняются первичные расчеты по теории корабля. 3D модель может быть достаточно примитивной (обводы корпуса и основные связи).

2. Технический проект – на данном этапе определяются все связи корпуса, включая узлы, размещается основное оборудование, компонуются помещения, прокладываются основные трубопроводы судовых систем и прокладываются кабельные магистрали. Выполняются необходимые для согласования классификационным обществом расчеты по теории корабля и прочности. Но на данном этапе 3D модель еще недостаточно детализирована, в ней практически отсутствует технологическая информация. С целью сокращения сроков проектирования конструкции (например, обшивка, основные переборки), продольные связи могут выполняться упрощенно, от борта до борта или с кормы в нос одной или несколькими позициями в зависимости от толщины.

3. Проектная документация судна в постройке (ПДСП) или стадия рабочего проекта – на этом этапе 3D модель должна максимально соответствовать строящемуся судну с учетом технологии строительства, поскольку на этой стадии из модели генерируются сборочные и монтажные чертежи для проведения работ. При этом дорабатывается все та же модель, которая «нарезается» на отдельные элементы с учетом казачного материала, технологии строительства. Также прокладываются отдельные кабели, помещения насыщаются мелким оборудованием, основное оборудование корректируется по результатам закупок.

В идеале на данном этапе 3D модель полностью соответствует судну, которое должно быть построено, причем не только его геометрическим характеристикам, но и с необходимыми атрибутами по составу и количеству материалов и изделий, положению ЦТ.

Традиционно в нашей стране судостроительные заводы, за редким исключением, не разрабатывают проекты судов. До этапа технического проекта работы выполняются специализированными проектными бюро (ПКБ, ЦКБ). При этом заказчиком проекта

может выступать как верфь, так и заказчик судна.

Что касается РКД, то эта документация может разрабатываться и ПКБ, и силами заводского КБ, или в кооперации. Так, например, после внедрения и освоения САПР FORAN инженеры завода разрабатывали РКД для нескольких строящихся на заводе проектов – малого спасательного судна пр. 6010, платформы MOSS CS-50, нефтемусоросборщика пр. 21460, танкера пр. 00210 и пр. 00230, нижних оснований ППБУ «Полярная звезда» и «Северное сияние». При этом собственных инженерных ресурсов Выборгского судостроительного завода хватает для разработки РКД максимум для одного проекта судна (3000 – 5000 т порожнем) в год, и не по всем специализациям. При большей загрузке (в настоящее время завод ведет строительство четырех судов одновременно) требуется привлечение подрядчиков на проектные работы. И здесь мы сталкиваемся с поиском такого подрядчика, желательного использующего ту же САПР, что и завод.

Исторически сложилось, что с начала 1990-х гг. КБ и верфи в нашей стране начинали оснащаться САПР в разное время и выбирали по разным причинам различные системы. В настоящее время в судостроительной отрасли получили широкое применение несколько САПР иностранных разработчиков – AVEVA, CADMATIC (бывший Nupac-Cadmatic) и меньше FORAN. И так получилось, что традиционные партнеры завода по проектированию и разработке РКД используют не САПР, имеющийся у нас, а AVEVA и CADMATIC. Соответственно, в данной ситуации даже технически не получается воспользоваться выгодами работы в одной САПР и 3D модели.

Заказывая же разработку РКД проектанту, заводской отдел конструкторской подготовки производства тратит значительные усилия на проверку поступающих документов, что без доступа к полноценной 3D модели трудоемко и малоэффективно. Наличие же ошибок в плазовой документации выявить проверкой практически невозможно, они обнаруживаются уже при сборке конструкций. Все это приводит к дополнительным затратам как времени, так и материальных ресурсов.

Поскольку в гражданском судостроении давно является нормой заключение контрактов на строительство «под ключ», включая разработку проектной документации (заказчик в лучшем случае предоставляет концепт-проект), целесообразно, чтобы владельцем 3D модели на стадии РКД являлась верфь. Основную ценность работа в САПР представляет именно для верфи, у ко-

торой цикл использования базы данных САПР длительнее (верфь приступает к реализации проекта, когда проектант фактически завершил все основные работы). При этом выбранный подрядчик на разработку проектной документации и РКД должен работать в той же модели и, разумеется, в той же САПР, что и верфь. Хочется также отметить один момент. Для некоторых проектантов работа в 3D модели – лишь способ ускорить процесс создания именно чертежа как основной контрактной единицы. При этом чертеж генерируется из модели и дорабатывается до приемлемого вида методами двухмерного черчения. При этом увеличивается количество ошибок в документации, появляются несоответствия между ПТД и РКД. Может быть, в этом причина выделения в договорах на проектирование предоставление 3D модели как отдельной услуги, с отдельной ценой, лишь косвенно связанной с разрабатываемым проектом?

В ситуации, когда по тем или иным причинам разработка технического проекта и 3D модели ведется КБ в собственной САПР, верфь должна иметь возможность доступа к модели. При этом надо отметить, что во всех современных САПР предусмотрена возможность удаленного доступа для работы, так что технически проблем нет, кроме разве что производительности Интернет-связи.

Но иметь в своем распоряжении несколько САПР для выбора проектантов – дорогое удовольствие. Аренда лицензий может стать выходом, но только при непродолжительном времени аренды.

Как один из выходов, по крайней мере, для предприятий группы ОСК, видится создание некоего «банка» лицензий различных САПР, из которого можно было бы предоставлять требуемое количество лицензий о конкретной САПР или проектанту, или верфи для работы над одним проектом. При этом материнская компания и могла бы стать таким «банком», содержащим лицензии САПР уже по факту используемых на предприятиях группы ОСК. Лицензионными соглашениями предусматривается возможность передачи прав на использование лицензий от лицензиара его обособленным подразделениям или аффилированным компаниям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шорин В. Н. ОАО «Выборгский судостроительный завод». 1948–2012. – СПб., ЛеКо, 2012. ■

В продолжении программы импортозамещения [1] на надводных кораблях и судах ВМФ проводится замена импортного неремонтопригодного оборудования на отечественное. Одним из важнейших элементов каждого судна является его вспомогательная энергетическая установка (ВЭУ). Практически на 90% всех плавсредств это дизель-генераторы (ДГ). В связи с неремонтопригодностью вследствие выработки своего моторесурса, снятия с производства и исчерпания запасов ЗИП установленные ранее импортные ДГ необходимо заменять на отечественные аналоги. Традиционными отечественными производителями судовых ДГ являются АО «Завод Дагдизель», ПАО «Звезда», АО «Волжский дизель им. Маминых», АО «Барнаултрансмаш» и пр. Также у компаний, ранее являвшихся дистрибьюторами импортного оборудования, появились линейки новых отечественных ДГ на базе импортных дизелей и генераторов. Данные ДГ далее будем называть «локализованными».

Отличительными особенностями новых отечественных производителей ДГ являются их гибкость и скорость в предоставлении необходимых конструкторских решений для будущего проекта. Так как комплектующие, применяемые в данных ДГ, в основном современной разработки, то и массогабаритные характеристики их гораздо меньше характеристик существующих отечественных ДГ, разработанных в прошлом веке. Не меньшим преимуществом является и наличие системы управления (СУ), применяемой на локализованных ДГ, современных, эргономичных и интуитивно понятных.

Тем не менее зачастую главным недостатком современных локализованных ДГ является недостаточный уровень наполнения отечественными комплектующими, что иногда представляется ключевым аспектом при выборе оборудования для применения в технике Вооруженных сил Российской Федерации.

К преимуществам отечественных ДГ можно отнести высокий уровень применения российских компонентов при их производстве (хотя в настоящее время элементы автоматик и генераторы все чаще используются из номенклатуры зарубежных производителей). Не менее важно и то, что производства ЗИП находятся на территории Российской Федерации, а также отсутствие законодательных препятствий к их поставке для Вооруженных сил РФ. Однако отечественные ДГ не лишены таких недостатков, как большие массогабаритные характеристики, высокая стоимость и низкий уровень технологичности. Длительны и сроки их поставки.

ОСОБЕННОСТИ ЗАМЕНЫ ИМПОРТНОГО НЕРЕМОНТОПРИГОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ АНАЛОГИ

П.А. Копров, *вед. инженер-конструктор АО «51 ЦКТИС»,
контакт. тел. (812) 423 1600, (812) 315 4945*

В большинстве случаев ДГ, предлагаемые отечественными производителями, это разработки 70–80-х гг. прошлого века. На тот момент уровень техники был гораздо ниже, чем сейчас, к тому же требования к экологичности и экономности значительно выросли за последние 30 лет.

Поскольку срок службы некоторых кораблей и судов ВМФ, построенных за границами России, выходит или уже вышел, требуется полная замена ДГ на современные отечественные аналоги.

В связи с этим АО «51 ЦКТИС» разработало проект по замене стояночных ДГ на одном из судов обеспечения ВМФ на отечественные ДГ.

ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВЫБОРА ДГ

На основании договора между АО «51 ЦКТИС» и заводом, на котором будет проводиться модернизационная работа, ДГ должен быть отечественным.

На судне было два стояночных ДГ, состоящих из дизеля 6VD18/15A-2 и генератора S315M4. Номинальная мощность ДГ – 192 кВт при частоте вращения 1500 об/мин. Характеристики ДГ указаны в таблице.

Для подбора отечественного аналога были запрошены аналоги у компаний ООО «Ремдизель», ООО «АЗДА», АО «Барнаултрансмаш», АО «Волжский дизель им. Маминых» и ООО «МПС».

В связи с требованиями заказчика заменяющий ДГ должен целиком производиться на территории РФ. Этому условию на момент выпуска проекта соответствовали ДГ ООО «АЗДА» и АО «Барнаултрансмаш». Так как ДГ-200 в то время не имели одобрения Российского морского регистра судоходства (РМРС), единственным аналогом, удовлетворявшим требованиям контракта, был ДГ АДГФ-200/1500М (У30АМ) по ТУ24.06.8602–73.

Вспомогательные судовые ДГ типа АДГФ-200/1500М У30АМ предназначены для использования в составе неавтоматизированных энергетических установок в качестве источника питания электроэнергией силовых и осветительных устройств судов с неограниченным районом плавания. ДГ могут работать

как автономно (раздельно), так и параллельно с другими ДГ, имеющими идентичные характеристики регулирования частоты вращения и напряжения, а также кратковременно с электрической сетью неограниченной мощности.

Пуск двигателя осуществляется сжатым воздухом. Минимальное давление пускового воздуха, поступающего в воздухораспределитель дизеля – 4,0 МПа (40 кгс/см²) при емкости баллона не менее 0,04 м³ (40 л). Максимально допускаемое давление пускового воздуха – 15 МПа (150 кгс/см²).

В соответствии с техническими условиями на дизель Д12 (12Ч15Х18) на один пуск требуется 150 нл воздуха. По требованиям Правил классификации и постройки морских судов РМРС [2] для пуска вспомогательных двигателей должен быть предусмотрен, по крайней мере, один воздухохраниТЕЛЬ вместимостью, достаточной для выполнения шести пусков подготовленного к действию одного двигателя наибольшей мощности. По согласованию с РМРС такой воздухохраниТЕЛЬ может не устанавливаться. В этом случае должна быть предусмотрена возможность пуска вспомогательных двигателей от одного воздухохранителя или одной группы воздухохранителей главных двигателей [3].

Исходя из того, что стандартный транспортный баллон при давлении 15,0 МПа (150 кгс/см²) вмещает 4140 нл воздуха при нормальном атмосферном давлении, количество пусков составит 27,6, что удовлетворяет нормативу.

Для пуска двух ДГ будет необходимо установить один баллон транспортным объемом 40 л. Заполнение баллона сжатым воздухом возможно от системы сжатого воздуха высокого давления, имеющегося на объекте.

Существующая корабельная система сжатого воздуха среднего давления (ВСД) не может развить давление свыше 3 МПа. Поэтому применение ДГ на базе дизеля 7Д12 возможно только при электростартерном пуске на данном судне [4]. В связи с этим на корабле необходимо разместить аккумуляторные шкафы в помещении ВЭУ вблизи ДГ. Так как конструкция судна при проек-

Характеристика	Производитель дизель-генератора					
	Проектный ДГ	ООО «Рем-дизель»	ООО «АЗДА»	АО «Барнаул-трансмаш»	ООО «МПС»	АО «Волжский дизель им. Маминых»
Модель ДГ	6VD18/15A-2 SRW	ДГР 259/1500	ДГ-200	АДГФ-200/1500М (У30АМ)	ДГА-224-МПС	ДГРС 264
Мощность ДГ номинальная, кВт	192	259	200	200	224	264
Модель генератора	S315M4	Siemens	БГ-200; SK250ML200	МСК 103-4	Stamford	Stamford HCM636H
Напряжение, В	400	230/400	230/400	400	400	400
Модель двигателя	6VD18/15A-2	WP12CD317E (STEYR)	ТМ3 8481	7Д12 (12С15Х18)	BF6M1015MC	4СН21/21
Частота вращения двигателя, об/мин	1500	1500	1500	1500	1500	1000
Число и расположение цилиндров	6L	6L	V4	6L	V6	4L
Пуск двигателя	Воздушный 3,0 МПа (30 кгс/см ²)	Воздушный 3,0 МПа (30 кгс/см ²) или электростартерный	Воздушный 3,0 МПа (30 кгс/см ²) или электростартерный	Воздушный 4,0 МПа (40 кгс/см ²) или электростартерный	Воздушный 3,0 МПа (30 кгс/см ²) или электростартерный	Воздушный 3,0 МПа (30 кгс/см ²) или электростартерный
Удельный расход топлива, г/кВт·ч		190	250	250	250	201
Удельный расход масла, г/кВт·ч		0,5	1,5	1,8-2,25	1,8-2,25	0,5
Габаритные размеры агрегата, L×B×H, мм		2900×1035×1380	2550×1200×1300	3030×1052×1355	2900×1350×1400	4200×1095×2220
Масса агрегата, кг		2600	3350	3300	2500	6700
Наработка до среднего ремонта, ч		15 000	7000	7000	15 000	15 000
Наработка до капитального ремонта, ч		30 000	12 000	12 000	30 000	60 000

тировании не предполагала электростартерного пуска, поиск места под аккумуляторные шкафы оказался непростой задачей. В соответствии с Правилами РМРС аккумуляторные шкафы должны иметь вентиляцию [5], наличие которой в проекте корабля не заложено.

АО «51 ЦКТИС» выполнило проектно-конструкторские работы по размещению ДГ и вспомогательного оборудования с подсоединением всех необходимых систем судна. За неимением на судне возможности подведения воздуха давлением 4,0 МПа стояночные ДГ будут запускаться только электростартерным пуском, что требует регулярно наблюдения за аккумуляторными и их состоянием, так как в случае выхода из строя последних запуск стояночных ДГ будет невозможен.

ОБОБЩЕНИЕ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ

На сегодняшний день в России существует большое количество отечественных производителей ДГ различной мощности со всеми необходимыми характеристиками. Одни производители имеют корни в Советском Союзе и даже раньше, другие же были созданы в периоды независимой Российской Федерации. Из-за отсутствия новых разработок отечественных проектантов дизелей, имеющиеся отечественные ДГ не могут конкурировать по техническим характеристикам с локализованными дизелями и ДГ на их основе. Однако нормативно-правовые документы обязывают проектантов кораблей использовать только

отечественные ДГ, несмотря на то, что по определенным важным характеристикам локализованные ДГ превосходят отечественные.

На заказе, для которого АО «51 ЦКТИС» разрабатывал проект модернизации ВЭУ, была разработана КД для замены импортного ДГ на отечественный аналог. В соответствии с условиями контракта более подходящий аналог локализованного ДГ установить не представилось возможным, хотя установка вышеуказанного оборудования привела бы к меньшим трудозатратам и изменениям существующих систем судна.

Установка отечественного ДГ на заказе привела к необходимости изменения принципа пуска ВЭУ и, соответственно, ее надежности. Так как по проекту все ДГ на корабле запускались за счет системы ВСД, на корабле предусмотренны два компрессорных агрегата, один из которых резервный. В результате, стояночные ДГ не имеют возможности пуска ВСД и зависят от состояния аккумуляторных батарей и систем пуска-зарядки.

Отсутствие российских аналогов ДГ, имеющих схожие характеристики пуска ВСД, приводит к невозможности простой замены существующих ВЭУ. Данная ситуация сложилась вследствие различных обстоятельств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время Российская Федерация не испытывает проблем с производством и поставкой новых изделий судостроительной отрасли, в частности дизель-генераторов. Однако, если дело

касается модернизации плавсредств, системы которых не могут быть легко адаптированы под требования отечественных производителей, то тут возникает некий вакуум предложений, который могут заполнить производители локализованных в России изделий. Дальнейшим путем разрешения сложившейся ситуации видится сотрудничество проектных организаций и представителей промышленности в нахождении общих точек соприкосновения для производства техники, необходимой для модернизации существующих сложных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копров П. А. Импортозамещение для кораблей ВМФ РФ иностранной постройки. – Тр. Международ. конф. по судостроению и океанотехнике: Сб. ст. – СПб., 2016, с. 344 – 346.
2. НД № 2-020101–104 «Правила классификации и постройки морских судов. Т. 2. Ч. VIII. Системы и трубопроводы», ст. 16.1.5. – Санкт-Петербург, ФАУ Российский морской регистр судоходства, 2018. – 116 с.
3. ТУ 24.06.8602–73. Дизель-генераторы ДГР2А-200/1500 (У30А) и ДГР-200/1500 (У30).
4. ТУ 24.06.5608–73. Дизель 7Д12. – Москва, ЦКБ, 1988. – 162 с.
5. НД № 2-020101–104 «Правила классификации и постройки морских судов. Т. 2. Ч. XI. Электрическое оборудование», ст. 13.2.1 – Санкт-Петербург, ФАУ Российский морской регистр судоходства, 2018. – 138 с. ■

К настоящему времени отечественным энергомашиностроительным предприятием ПАО «ОДК-Сатурн» освоено производство корабельных ГТД 4-го поколения М75РУ и М70ФР мощностью соответственно 5000 кВт и 10 000 кВт, а также завершена локализация производства ГТД М90ФР мощностью 20 000 кВт.

В то же время ведущими зарубежными энергомашиностроительными фирмами было освоено производство корабельного ГТД 5-го поколения. К двигателям такого поколения, бесспорно, относится самый мощный в линейке корабельных ГТД двигатель МТ30 корпорации «Rolls-Royce» мощностью 36 МВт и КПД более 40%. Также по топливной

экономичности к двигателям 5-го поколения можно отнести двигатель сложного цикла WR-21 мощностью 25,9 МВт и КПД 43,7% англо-американских корпораций «Rolls-Royce-Northrop Grumman» и «Westinghouse Marine Division».

Для отечественного ВМФ корабельный перспективный ГТД 5-го поколения пока не разрабатывался, хотя предпосылки к началу подобных работ имеются и исходят от предприятия, олицетворяющего базу отечественного корабельного газотурбостроения – ПАО «ОДК-Сатурн» [1, 2].

Целесообразность либо нецелесообразность разработки перспективного корабельного ГТД можно рассматривать, исходя из множества аспектов, основными из которых являются, во-первых, обеспечение целевого предназначения главной энергетической установки (ГЭУ) корабля и, во-вторых, повышение его топливной экономичности и, как следствие, снижение эксплуатационных затрат, обусловленных расходами на топливо.

Основные предпосылки, обуславливающие целесообразность разработки перспективных ГТД в соответствии с их целевым предназначением, т. е. в обеспечение ходкости и маневренности надводных кораблей основных классов, авторами этой статьи были рассмотрены раньше.

Подразумевая, что кроме свойств, определяющих целевое предназначение ГТД, последние должны обладать еще комплексом других (сервисных) свойств, таких как, например, надежность или топливная экономичность и др., которые также могут либо сужать, либо расширять сферу использования ГТД в корабельной энергетике, предопределяя целесообразность либо нецелесообразность их совершенствования. Рассмотрим

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ОБЕСПЕЧЕНИЕ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МНОГОЦЕЛЕВЫХ КОРАБЛЕЙ ВМФ

В.В. Барановский, д-р техн. наук, проф.,

К.А. Ефремов, капитан 2 ранга, адъюнкт, ВУНЦ ВМФ «ВМА»,
контакт. тел. +7(905) 255 2546, +7(911) 218 2272

предпосылки, обуславливающие необходимость разработки перспективных ГТД в обеспечение повышения топливной экономичности кораблей.

Исследованиями, проведенными авторами ранее, были установлены основные способы разработки и создания перспективных корабельных ГТД, представленные в табл. 1, а также возможные варианты использования базовых и потенциальных перспективных корабельных ГТД в составе энергетических установок кораблей различных классов (табл. 2).

Абстрагировавшись от выводов о желательности разработки перспективных ГТД мощностью 25 МВт, а в отдельных случаях даже 34–35 МВт (см. табл. 2), проведем технико-экономическое исследование целесообразности разработки последних, подразумевая, что экономический эффект от использования перспективных ГТД, выражающийся в снижении затрат на топливо, многократно превзойдет затраты на разработку и создание двигателей, обозначенные в табл. 1.

Для этих целей выполним сравнительную оценку расхода топлива кораблем в течение года или даже большего времени (более 10 лет) для заданной модели эксплуатации корабля, т. е. рассчитаем коэффициент оперативного напряжения $K_{оп}$ и определим спектр скоростей мирного времени при комплектовании ГЭУ либо базовыми двигателями (уже созданными), либо перспективными двигателями, которые могут быть разработаны сообразно различным вариантам, представленным в табл. 1.

Расход топлива кораблем в течение года

$$B_{\Gamma}^T = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n (b_{ei} \cdot Ne_i) \cdot t_{X^q} \right) \cdot \bar{t}_j, \quad (1)$$

где B_{Γ}^T – суммарный расход топлива кораблем в течение года,

Способы разработки перспективного корабельного ГТД и ожидаемые результаты

Таблица 1

Характеристика ГТД	Способы разработки перспективного корабельного ГТД					
	Вариант 1 поколение 4+	Вариант 2 поколение 4+	Вариант 3 поколение 4+	Вариант 4 поколение 4++	Вариант 5 поколение 4++	Вариант 6 поколение 5
	Развитие семейства морских ГТД на базе ГТД М90ФР				Разработка принципиально нового двигателя, схема 5+5/1+1+3	Конвертация ГТД из авиационного двигателя типа ПД-14 (ПД-35)
	М90М максимальный суперсплав	М90М1 с нулевой ступе- нью $N_{ном}$	М90М2 с двумя доп. ступенями $N_{ном}$	М90М2 с двумя доп. ступе- нями, максималь- ный суперсплав		
Мощность N_e , МВт	25	25	25	34	34	15 (35)*
КПД η_a	0,359	0,359	0,357	0,378	0,381	0,40÷0,41*
Удельный расход топлива b_e , кг/(кВт×ч)	0,234	0,234	0,236	0,223	0,221	~0,205*
Степень повышения давле- ния π_k	21,1	23,75	24,63	29,19	32,2	~35*
Расход воздуха G_a , кг/с	74,5	83,8	89,0	101,1	110,1	-
Температура газа перед турбиной $T_{гп}$, К	1561	1503	1480	1597	1591	~1650*
Предполагаемые затраты на ОКР, млрд. руб.	Не менее 3	Не менее 1,5	Не менее 2	Не менее 5	~ 40 ÷ 60	~ 20

* Предполагаемая информация (на основе зарубежного опыта создания ГТД МТ-30)

$j = \overline{1, m}$ – число полос спектра мощностей использования ГЭУ, определяемое сообразно числу полос спектра скоростей использования корабля, b_{ei} – удельный расход топлива i -го двигателя на j -м режиме, $i = \overline{1, n}$ – количество главных двигателей в составе ГЭУ, Ne_i – нагрузка (развиваемая мощность) i -го главного двигателя на j -м режиме, определяемая с учетом спектра мощностей, $t^{xч}$ – количество ходовых часов корабля в течение года, t_j – относительная длительность j -го режима.

Спектр мощностей использования ГЭУ строится на основе модели использования корабля, определяемой спектром скоростей ходового времени. Каждой полосе спектра скоростей использования корабля соответствует определенное значение валовой мощности в соответствии с буксировочными кривыми, т. е. зависимости валовой мощности от скорости хода корабля. В соответствии со значением валовой мощности в каждой полосе спектра можно рассчитать значение суммарной мощности главных двигателей в обеспечение данной скорости, построив, таким образом, спектр мощностей использования ГЭУ:

$$\sum Ne = \frac{WPS}{\eta_B \cdot \eta_P}, \quad (2)$$

где $\eta_B \approx 0,98$ – КПД валопровода; $\eta_P \approx 0,96 \div 0,98$ – КПД редукторной передачи.

В качестве примера возьмем приблизительный вид спектра мощностей использования ГЭУ для корвета пр. 20386, построенный в соответствии со спектром скоростей и буксировочной кривой (рис. 1).

Для расчета годового расхода топлива кораблем с использованием зависимости (1) необходима информация либо об удельном расходе топлива ГТД, либо о его часовом расходе топлива.

Удельный расход топлива b_{ei} – индивидуальная характеристика каждого двигателя, которая обычно предоставляется

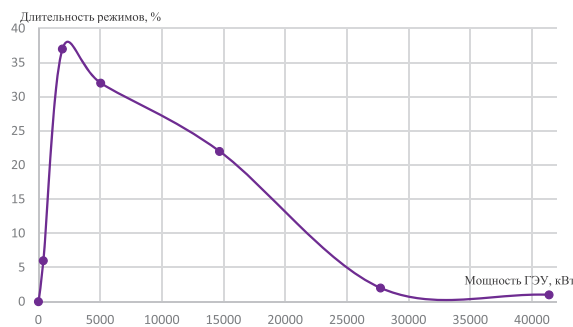


Рис. 1. Вид спектра мощностей использования ГЭУ корвета пр. 20386
предприятием-изготовителем при поставке двигателя потребителю (на корабль). Например, для базового ГТД М90ФР зависимость удельного расхода топлива от мощности, развиваемой двигателем, имеет вид (рис. 2).

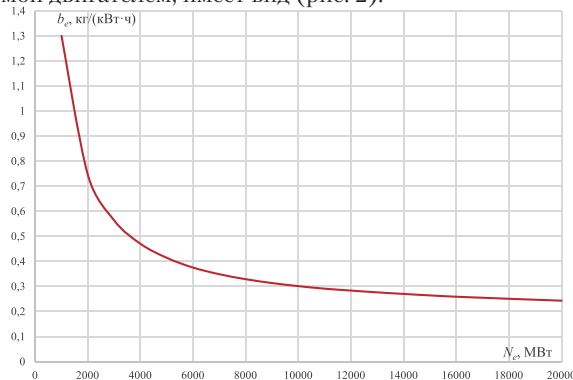


Рис. 2. Удельный расход топлива ГТД М90ФР

Анализ предполагаемых схемных решений ГЭУ, при использовании на кораблях базовых (созданных) или перспективных газотурбинных двигателей

Таблица 2

Схемное исполнение агрегатов ГЭУ	Базовый ГТД М90 ФР 20 МВт	Способы разработки перспективного корабельного ГТД					
		Вариант 1 поколение 4+ 25 МВт	Вариант 2 поколение 4+ 25 МВт	Вариант 3 поколение 4+ 25 МВт	Вариант 4 поколение 4++ 34 МВт	Вариант 5 поколение 4++ 34 МВт	Вариант 6 поколение 5 35 МВт
Скорость полного хода корабля при работе двигателей в составе агрегатов, уз							
Перспективный корвет пр. 20386, $D = 3400$ т							
МА3	3	2	-	-	-	-	-
2×М55Р	3	2	-	-	-	-	-
Фрегат пр. 22350, $D = 4500$ т							
2×М55Р	30	32	32	32	-	-	-
М7Н (М9	3	3	-	-	-	-	-
Перспективный фрегат пр. 22350М, $D = 6500$ т							
М7Н (М9)	31	32	32	32	-	-	-
2×М55Р	-	-	-	-	32,5	32,5	32,5
2×МА4 (спарка)	3	4	-	-	-	-	-
Перспективный фрегат пр. 22350М, $D = 8000$ т							
М7Н (М9)	30	32	32	32	33	33	33
2×М55Р	-	-	-	-	32	32	32
2×МА4 (спарка)	3	3	-	-	-	-	-
Перспективный эскадренный миноносец пр. 23560 (шифр «Лидер»), $D = 10\,000$ т							
2×МА4 (спарка)	31,5	33	33	33	-	-	-
2×М2	1 3	3	-	-	-	-	-
Перспективный эскадренный миноносец пр. 23560 (шифр «Лидер»), $D = 14\,000$ т							
2×М21	31	32	32	32	-	-	-
2×МА4 (спарка)	-	31,5	31,5	31,5	-	-	-
Перспективный легкий авианосец, $D = 44\,000$ т							
2×МА4 (спарка)	-	-	-	-	30	30	30
2×М21	27,5	29	29	29	-	-	-
Перспективный тяжелый авианосец (шифр «Шторм»), $D = 100\,000$ т							
4×М21	29	31	31	31	-	-	-
4×МА4 (спарка)	-	29,5	29,5	29,5	-	-	-

Как правило, предприятия-изготовители вместо удельного расхода топлива предоставляют характеристики часового расхода топлива (рис. 3), что, в принципе, в одинаковой степени характеризует топливную экономичность двигателя. Производство удельного расхода топлива на мощность двигателя (выражение в скобках зависимости (1)) представляет собой тот же часовой расход топлива ($b_e \cdot N_e$) = B_q (рис. 3).

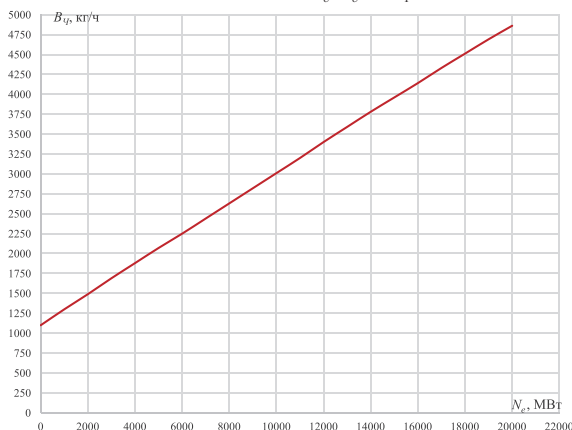


Рис. 3. Часовой расход топлива ГТД М90ФР

Количество ходовых часов корабля в течение года в выражении (1) определяется в соответствии с моделью использования корабля в зависимости от коэффициента оперативного напряжения:

$$t^{ch} = \kappa_{он} \cdot 365 \cdot 24, \quad (3)$$

где $\kappa_{он} = T_m / T_{ц}$ – коэффициент оперативного напряжения, T_m – время пребывания корабля в море в часах, $T_{ц}$ – время большого цикла в часах.

Коэффициент оперативного напряжения обычно выдается проектанту при проектировании корабля и является одним из граничных условий. Значения коэффициентов оперативного напряжения обосновывают соответствующие профильные научные организации, исходя из моделей использования кораблей. При эксплуатации корабля в составе ВМФ коэффициент оперативного напряжения может определяться расчетными способами, что впоследствии позволяет проводить сравнительную оценку теоретического значения кон со значениями, подтверждаемыми практикой эксплуатации.

Относительная длительность j -го режима (t_j) в выражении (1) определяется как относительная доля ходового времени корабля в конкретной j -й полосе спектра скоростей.

Таким образом, при наличии характеристик топливной экономичности базовых и перспективных ГТД в виде кривых удельного расхода топлива (см. рис. 2) или линейных зависимостей для часового расхода топлива (см. рис. 3), а также при заданной модели использования корабля (коэффициента оперативного напряжения и спектра скоростей), можно оценить с использованием выражения (1) годовой расход топлива при работе ГТД в составе конкретных агрегатов, представленных в табл. 2.

Определенную сложность в данном исследовании представляет отсутствие характеристик топливной экономичности перспективных двигателей, предполагаемых к разработке способами, представленными в табл. 1, в виде кривых удельного расхода топлива или зависимостей для часового расхода топлива. Преодолеть ее можно путем использования имеющейся, пусть даже ограниченной, информации об экономичности перспективных двигателей, в виде значений удельных расходов топлива на номинальном режиме, представленных в [1].

Для перспективного двигателя, предлагаемого к разработке ПАО «ОДК-Сатурн» (вариант 5), в [1] имеются характеристики удельного расхода топлива для четырех точек его нагрузки, используя которые, можно рассчитать значения часового

расхода топлива для указанных точек (точки 1–4 на рис. 4) и построить соответствующую графическую зависимость.

Учитывая линейный характер зависимости, можно продолжить линию до пересечения с осью ординат (рис. 4, штриховая линия) для получения значения расхода топлива на холостом ходу ($N_e^{xx} = 0$).

Для удобства сравнения на рис. 4 отложим значения часового расхода топлива на номинальных режимах остальных перспективных ГТД (точки 5, 6 и 7), которые рассчитываются с использованием информации об удельных расходах топлива, представленных в [1].

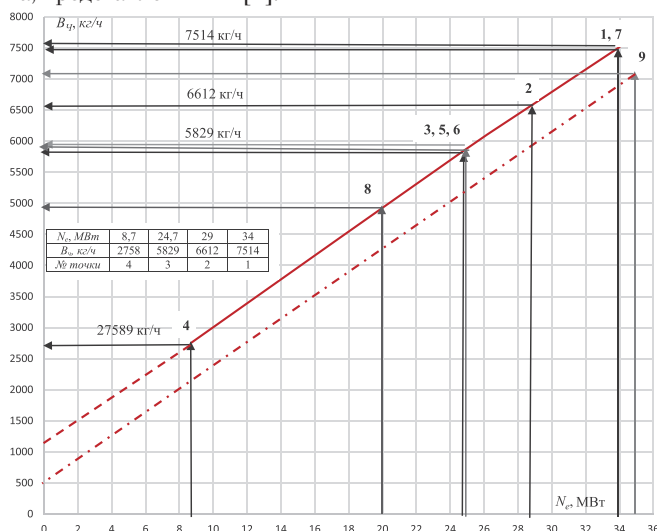


Рис. 4. Часовой расход топлива перспективных ГТД ПАО «ОДК-Сатурн» и ПАО «Авиадвигатель»

— — перспективные двигатели ПАО «ОДК-Сатурн» (варианты 1–5);
— — перспективный двигатель, конвертированный из авиационного ПД-35 (вариант 6)

Из анализа полученных результатов видно, что точка 5, характеризующая часовой расход топлива перспективных двигателей, разрабатываемых по вариантам 1 и 2 (удельные расходы совпадают), практически сливается с точкой 3, характеризующей расход топлива ГТД, разрабатываемого по варианту 5 на нагрузке, близкой к 25 МВт. Точка 6, характеризующая расход топлива ГТД, разрабатываемого по варианту 3 на нагрузке 25 МВт, также практически сливается с точкой 3. Аналогично точка 7, характеризующая расход топлива ГТД, разрабатываемого по варианту 4 на нагрузке 34 МВт, практически сливается с точкой 1, характеризующей расход топлива ГТД, разрабатываемого по варианту 5 на номинальной нагрузке (34 МВт). Более того, отложив на данном рисунке часовой расход топлива базового ГТД М90 ФР (точка 8), представленного выше на рис. 3, мы увидим, что кривые также сольются практически в одну линию.

На рис. 4 обозначим точку 9, характеризующую часовой расход топлива на номинальном режиме перспективного двигателя ПАО «Авиадвигатель» (вариант 6 конвертации из авиационного). Можно убедиться в том, что точка ложится ниже прямой, характеризующей расход топлива двигателей ПАО «ОДК-Сатурн», что свидетельствует о совершенстве двигателя в плане топливной экономичности. Проведя из точки 9 линию, параллельную прямой часового расхода топлива двигателей ПАО «ОДК-Сатурн» (штрих-пунктирная линия), можно с погрешностью инженерных расчетов предположить характер изменения часового расхода топлива перспективным двигателем ПАО «Авиадвигатель».

Таким образом, можно сделать предварительный вывод о том, что изменение часового расхода топлива ГТД разработкой ПАО «ОДК-Сатурн», как базовых, так и перспективных (варианты 1–5), с несущественной погрешностью (в 1–2%) может быть описано одной линейной зависимостью. Это означает, что

применение на кораблях перспективных двигателей, предлагаемых к разработке ПАО «ОДК-Сатурн» никак не повлияет на годовой расход топлива, по сравнению с применением на них базовых двигателей типа М90ФР. Другими словами, целесообразность разработки перспективных ГТД (варианты 1–5) в обеспечение снижения эксплуатационных затрат (имеется в виду затрат на топливо) ОТСУТСТВУЕТ.

Сказанное поясним примером. Так, при сравнении расхода топлива в течение года кораблем класса «фрегат» для двух вариантов ГЭУ: с базовыми ГТД М90ФР мощностью 2×20 МВт в агрегатах типа М55Р либо перспективных ГТД, разработанных по любому из вариантов 1–3 (см. табл. 1), мощностью 2×25 МВт, применяется формула (1). При использовании данной формулы суть расчетов заключается в определении мощности работающих двигателей в каждой полосе спектра скоростей использования корабля, определении часового расхода топлива двигателями для данной мощности $(b_e \cdot N_e) = B_{\text{ч}}$, суммировании расхода топлива по количеству работающих двигателей и суммировании расхода топлива по количеству полос спектра.

Часовой расход топлива двигателями определим с использованием графиков, представленных на рис. 4. Для двигателей производства ПАО «ОДК-Сатурн», в независимости от того, какие двигатели, базовые или перспективные, изменение часового расхода топлива характеризуется одной прямой (см. рис. 4). По этой причине, если нагрузка двигателей на режиме составляет фиксированную величину, например, 2×20 МВт (см. рис. 4, точка 8), то часовой расход топлива будет одинаков, независимо какими двигателями обеспечивается указанная нагрузка – базовыми М90ФР мощностью по 20 МВт, или перспективными мощностью по 25 МВт.

Кроме того, перспективные двигатели, предлагаемые к разработке ПАО «ОДК-Сатурн», по топливной экономичности не могут соответствовать двигателям 5-го поколения. Известно, что КПД газотурбинных двигателей 4-го поколения составляет 36–37%. Для двигателей 5-го поколения эта величина равна не менее 40–41%. Поэтому, декларируя в [1] минимальный удельный расход топлива на максимальном режиме $b_e = 0,221$ кг/(кВт·ч) для перспективного двигателя 5-го поколения производитель тем самым утверждает, что КПД такого двигателя, при пересчете по формуле (4) составит не более 36,4%, что соответствует двигателям 4-го поколения:

$$\eta_{\text{ГТД}} = \frac{3600}{Q_p^H \cdot b_e} = \frac{3600}{44\,700 \cdot 0,221} = 0,364, \quad (4)$$

где $Q_p^H = 44\,700$ кДж/кг – низшая теплотворная способность дизельного топлива.

В силу вышеизложенного целесообразность разработки и создания перспективных корабельных ГТД в обеспечение топливной экономичности может быть обусловлена только, если они соответствуют двигателям *нового* поколения по критериям экономичности.

По этой причине оценку годового расхода топлива при использовании на кораблях перспективных двигателей по сравнению с базовыми двигателями следует выполнять, если это двигатели относятся к разным поколениям по критериям экономичности. В нашем случае это вариант двигателей, конвертированных из авиационного ПД-35 (см. вариант разработки 6 табл. 1), в сравнении с любыми двигателями разработки ПАО «ОДК-Сатурн», базовыми или перспективными. Это возможно потому, что линия изменения часового расхода топлива такого двигателя (см. рис. 4) проходит ниже аналогичной линии, характеризующей расход топлива двигателями разработки ПАО «ОДК-Сатурн».

Ниже, на рис. 5–8, представлены результаты расчетов сравнительной оценки годового расхода топлива кораблями и затрат на него при использовании двигателей ПАО «ОДК-Сатурн» и ПАО «Авиадвигатель».

Учитывая, что потребности в таких двигателях большой мощности 34 МВт и более (см. табл. 2) могут ограничиваться использованием на кораблях класса перспективный «фрегат», водоизмещением 6500–8000 т и легкий авианосец водоизмещением 44 000 т, то и сравнительная оценка ограничивается кораблями указанных классов.

Расчеты проводились с использованием зависимости (1) для коэффициента оперативного напряжения $\kappa_{\text{оп}} = 0,4$ и условного спектра скоростей, одинакового для кораблей всех классов. При оценке затрат на топливо исходили из оптовой стоимости дизельного топлива в 50 тыс. руб. за тонну, что соответствует действительности в настоящее время.

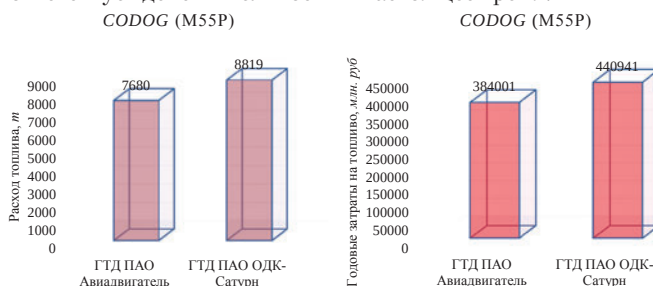


Рис. 5. Соотношение расхода топлива и затрат на него в течение года перспективным фрегатом пр. 22350М, $D = 6500$ т [агрегаты CODOG (M55P)]

В результате анализа информации, представленной на рис. 5–8, установлено, что применение на кораблях ВМФ перспективных двигателей 5-го поколения для рассматриваемых спектра скоростей и коэффициента оперативного напряжения позволит сократить расход топлива и, соответственно, затраты на него примерно на 10–20% по сравнению с использованием двигателей 4-го поколения. Причем экономия топлива возрастает по мере увеличения водоизмещения кораблей.

Для кораблей класса «фрегат» экономия топлива и, соответственно, годовых затрат на него составит 10–13%, а для легкого авианосца – порядка 20%.

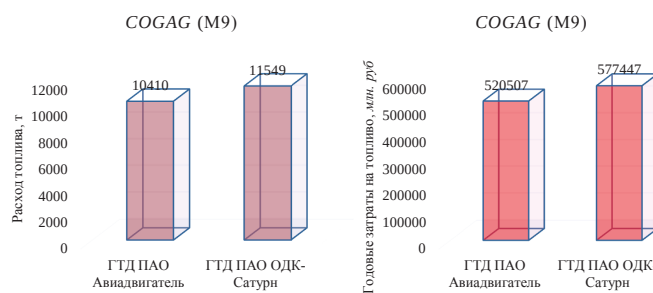


Рис. 6. Соотношение расхода топлива и затрат на него в течение года перспективным фрегатом пр. 22350М, $D = 8000$ т [агрегаты COGAG (M9)]

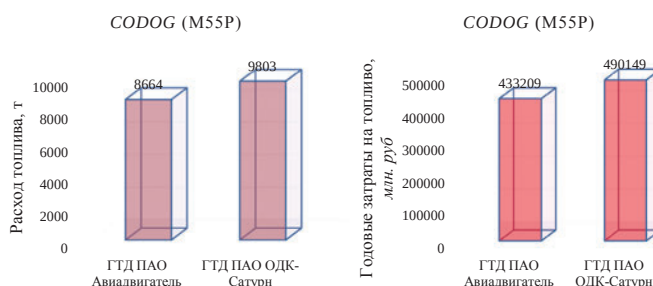


Рис. 7. Соотношение расхода топлива и затрат на него в течение года перспективным фрегатом пр. 22350М, $D = 8000$ т [агрегаты CODOG (M9)]

При изменении интенсивности использования кораблей (спектра скоростей и коэффициента оперативного напряжения) изменяется только абсолютные значения расхода топлива и затрат на него, но относительные значения, выражающие

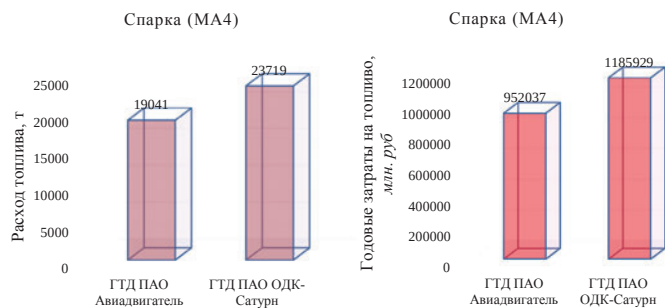


Рис. 8. Соотношение расхода топлива и затрат на него в течение года перспективным легким авианосцем, $D = 44\,000\text{ т}$ [агрегаты «Спарка» (МА4)]

сокращение расхода топлива при использовании более совершенных двигателей 5-го поколения, останутся неизменными в обозначенных выше диапазонах.

ВЫВОД

В результате проведенного анализа установлено, что, несмотря на различные предложения ПАО «ОДК-Сатурн» по разработке перспективных ГТД, в том числе и 5-го поколения, такая необходимость должна быть тщательно обоснова-

на с позиций системного подхода и технико-экономического анализа и при обеспечении целевых свойств кораблей (ходкости и маневренности), а также топливной экономичности.

Перспективные двигатели, предлагаемые ПАО «ОДК-Сатурн», по топливной экономичности не могут соответствовать двигателям 5-го поколения, так как их КПД не превышает 36–37%. КПД корабельных ГТД 5-го поколения должен быть не ниже 40–41%.

С целью повышения топливной экономичности разработка перспективных двигателей, согласно предложениям ПАО «ОДК-Сатурн», нецелесообразна, поскольку расход топлива на кораблях при использовании таких двигателей не изменится по сравнению с использованием базовых двигателей.

В обеспечение снижения расхода топлива кораблей целесообразно разрабатывать перспективные ГТД, соответствующие по критериям топливной экономичности двигателям 5-го поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чутин П. В. Российский газотурбинный двигатель М90ФР. – Доклад на секции НТО им. А. Н. Крылова 21.03.2018 г., СПб., 2018.
2. Чутин П. В. Результаты работы по импортозамещению украинских морских ГТД. – Докл. на Межотраслевой науч.-практ. конф. «ВОКОР-2018», ВУНЦ ВМФ «НИИ КиВ», СПб., 2018. ■

Сегодня водородные технологии уже вышли из лабораторий и специальных конструкторских бюро и перестали быть прерогативой лишь узких специалистов. Они востребованы не только в глобальных проектах покорения космоса или освоения морских глубин, но и в нашей повседневной жизни.

Уже никого не удивить водородным автомобилем или домашним накопителем энергии, построенным с применением водородных топливных элементов и электролизных установок.

Водород – это идеальное топливо для сохранения окружающей среды. Сгорая в чистом кислороде, он превращается в воду. Если его получать из воды путем электролиза, то процесс замыкается: «вода – водород – вода». Ресурсы этого топлива колоссальны и постоянно возобновляются. Водород может стать универсальным топливом, топливом будущего.

Для получения водорода могут быть применены различные термохимические, электрохимические или биохимические методы из ВИЭ с использованием солнечной и ветровой энергии, атомных и гидроэлектростанций и т.д., при этом по энергоёмкости водород в 3–5 раз превышает аналогичный показатель для бензина.

В энергетическом плане ему присущи универсальные свойства: он является восстановителем, энергоносителем и топливом.

Востребованность водородной энергетики в настоящее время прежде всего обусловлена растущей потребностью в накопителях энергии.

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

М.И. Олли, советник ген. директора,
Д.Г. Баскаков, ген. директор, ООО «Судпромкомплект»,
контакт. тел. (495) 617 3948

Современная электроэнергетика все больше переходит на источники генерации, которые стохастичны и зависят от климатических условий и времени суток.

Влияние колебаний выработки на солнечных и ветряных электростанциях (когда вдруг перестает дуть ветер или светить солнце) на энергосистему, если их доля в регионе высока, сопоставима с хаотичным включением/выключением крупной ТЭЦ – несколько раз в сутки. Кроме того, иногда эти станции вырабатывают гораздо больше, чем нужно всем потребителям энергосистемы, и тогда стоимость электроэнергии становится «отрицательной» – такие новости регулярно приходят из Германии, например.

Управляться с такими колебаниями научились, создавая накопители энергии, которые «заряжаются» в периоды избытка энергии и «разряжаются» в периоды ее дефицита. Если в XX в. роль таких накопителей исполняли только гидроаккумулирующие станции, то в наши дни бурно развиваются электрохимические накопители.

«Navigant Research» прогнозирует увеличение ежегодного ввода мощности накопителей для ВИЭ примерно с 2

ГВт в 2018 г. до 24 ГВт в 2026 г. — в 12 раз за восемь лет. Годовая выручка на этом рынке вырастет пропорционально до 24 млрд. долл. к 2026 г.

Прогнозируемые объемы генерации водорода позволяют с оптимизмом смотреть в будущее, и за счет этого прогнозируется снижение стоимости внедрения водородных технологий.

Пока что глобальные инвестиции в водородную энергетику составляют, по разным оценкам, около 0,85–1,4 млрд. евро в год. Консорциум «Hydrogen Council» планирует инвестировать 13 млрд. долл. в течение пяти лет в сети водородных заправочных станций и водородные автомобили. По данным департамента энергетики США, сектор топливных элементов уже дает работу 16 000 гражданам (перспектива роста — до 200 000), а финансовая поддержка от государственного бюджета США составляет около 100 млн. долл. в год на протяжении уже многих лет.

Несколько десятков компаний, научных центров и университетов по всему миру работают над сокращением стоимости водородных технологий, в частности, заявлено снижение стоимости производства водорода мето-

дом электролиза от 11,5 до 5,7 долл. за килограмм, а также уменьшение стоимости топливных элементов (в 3 – 5 раз) и хранения водорода (в 2 – 3 раза). Очевидно, когда эти цели будут достигнуты, «водородная экономика» будет куда ближе к нам, чем может сейчас представляться.

Вместе с тем наряду с водородными накопителями энергии продолжается стремительный рост производства аккумуляторных систем накопителей энергии.

Благодаря достаточно высокой энергоемкости, отсутствию эффекта памяти, а также высокой надежности и безопасности, аккумуляторные системы наряду с водородными становятся наиболее оптимальной и перспективной составляющей современных накопителей энергии.

Преимуществами аккумуляторных накопителей электроэнергии являются:

- модульная конструкция, компактность;
- функциональная гибкость;
- широкие возможности автоматизации процессов управления и контроля;
- простота интеграции в системы интеллектуальных электрических сетей.

Общий плюс аккумуляторных систем – возможность мгновенного включения, поэтому их повсеместно используют в системах резервного и аварийного питания.

В то же время существуют и общие недостатки, присущие в той или иной мере аккумуляторным батареям всех типов:

- саморазряд, потеря емкости со временем (до 20% в год);
- сильная зависимость эффективной емкости от температуры;
- высокая удельная стоимость. Наращивание емкости и мощности не разделены, что делает их самым дорогим решением по стоимости дополнительного приращения энергоемкости;
- недостаточный ресурс работы (небольшое количество циклов «заряд – разряд»), существенное уменьшение ресурса при работе в пиковых режимах при разряде и заряде;
- наличие специальных требований к глубине разряда.

В настоящее время среди аккумуляторных систем накопления энергии выделяются системы, построенные на литий-ионных аккумуляторах, одних из самых массовых промышленных продуктов в мире в качестве перезаряжаемых химических источников тока (ХИТ). Их количество, типы и сферы применения постоянно уве-

личиваются. Транспорт, системы безопасной эксплуатации важнейших объектов – это те сферы применения, в которых литий-ионные батареи активно вытесняют традиционные ХИТ.

Благодаря применению литий-ионных аккумуляторов можно рассчитывать на повышение энергоемкости и мощности батарей при сохранении малой массы и объема, на достижение более высокого напряжения, снижение саморазряда. Преимущества этих батарей перед аналогами – герметичность, отсутствие выделения газа, большая цикличность и срок службы.

В связи с тем, что применение литий-ионных аккумуляторов позволяет использовать параллельно-последовательное соединение аккумуляторов в батарее по принципу модульной конструкции, на базе одного типоразмера литий-ионного аккумулятора можно осуществлять разработку и изготовление батарей в широком диапазоне электрической емкости и напряжения. Литий-ионные батареи допускают и форсированный заряд и разряд.

Однако эксплуатация литий-ионных аккумуляторов требует установки дополнительных средств электронного контроля и управления зарядом и разрядом, а также для выравнивания напряжений последовательно соединенных аккумуляторов, компенсирующих разброс характеристик в период эксплуатации. Установка таких специальных контроллеров как на уровне отдельных элементов, так и для всей батареи приводит к существенному удорожанию таких систем.

Кроме того, как известно, главной проблемой, которая препятствует широкому распространению накопителей энергии на основе водородных топливных элементов (ВТЭ) и накопителей на основе современных аккумуляторных батарей (АКБ), по-прежнему остается их дороговизна.

Исследователи из «Bloomberg NEF» (BNEF) прогнозируют, что с настоящего времени по 2040 г. в ВИА будет вложено более 1 трлн. долл. В последнем выпуске «Long Energy Storage Outlook» говорится о том, что затраты на производство литиево-ионных аккумуляторов будут определять скорость этого тренда. Авторы ожидают, что стоимость этих накопителей снизится на 52% в период между 2018 и 2030 гг., что опережает уже наблюдаемое падение. В ближайшей перспективе на рынке будут доминировать Южная Корея и США, Китай станет движущей силой с 2020-х гг.

Тенденциями снижения стоимости накопителей энергии являются как экономические – прежде всего расширение объемов производства и потреб-

ления, так и технологические, такие как повышение эффективности каталитических процессов за счет новых способов нанесения каталитических материалов, а также отказ от дорогих катализаторов (платинозамещение) и поиск альтернативных «дешевых» материалов или их композиций для выполнения каталитических и антикоррозионных покрытий и повышение их удельных характеристик.

Считая построение накопителей энергии с высокими удельными характеристиками и низкой стоимостью одним из наиболее актуальных направлений для развития энергетики, ООО «Судпромкомплект» приступило к разработке собственной концепции сетевого накопителя с целью поиска оптимальных решений, позволяющих решить поставленную задачу.

Проанализировав опыт построения накопителей, специалисты ООО «Судпромкомплект», обладающие большим опытом построения водородных систем, пришли к выводу, что одним из перспективных способов, позволяющим существенно снизить удельную стоимость сетевых накопителей, является способ построения накопителей гибридного типа. При этом удастся объединить преимущества накопителей обоих типов: и водородных, и аккумуляторных.

За счет возможности накопления энергии в водороде, самом энергоемком топливе, гибридные накопители потенциально обладают многократно превосходящей удельной энергоемкостью. При этом они отличаются простотой интеграции в системы интеллектуальных электрических сетей, имеют существенно увеличенный ресурс работы и снижают величины пиковых нагрузок на аккумуляторную батарею за счет оптимального распределения мощности между ВТЭ и АКБ, а также обладают при этом модульной конструкцией и компактностью, функциональной гибкостью.

Так, в пилотном проекте, реализуемом в настоящее время ООО «Судпромкомплект», была поставлена задача разместить в стандартном 20-футовом контейнере гибридный накопитель суммарной энергетической емкостью до 1 МВт·ч.

Эта задача была реализована путем распределения энергетической емкости между двумя составляющими накопителя: в первой, установленной непосредственно в контейнере, энергетическая емкость составляет 200 кВт·ч (100 кВт·ч – на аккумуляторных батареях, 100 кВт·ч – на водородном топливе) и во второй, внешней, в которой накапливается водород, энергетическая емкость составляет 800 кВт·ч.



Рис. 1. Модель гибридного сетевого накопителя, реализуемого ООО «Судпромкомплект»

В состав гибридного накопителя, реализуемого ООО «Судпромкомплект», вошли (рис. 1):

- электрохимический генератор на основе низкотемпературных водородных топливных элементов;
- генератор водорода с системой водоподготовки и осушки;
- водородная наполнительная (внутренняя и внешняя), включающая газовый бустерный компрессор и баллоны высокого давления до 400 атм. для хранения водорода;
- инверторная подсистема преобразователей;
- аккумуляторная батарея на базе литий-ионных аккумуляторов;
- суперконденсаторы;
- зарядное устройство;
- система автоматического управления, включающая дистанционное управление и мониторинг накопителя с программным обеспечением станции и удаленного диспетчера;
- коммутирующая и пускозащитная арматура;
- рекомбинаторы водорода – печи дожигания;
- приборы аварийного газового контроля на водород.

Указанное оборудование размещено в специальном блочно-модульном 20-футовом контейнере, обеспечивающим работу в широком диапазоне температур окружающего воздуха.

При создании гибридного накопителя ООО «Судпромкомплект» был апробирован ряд инновационных технологий, например таких как:

- технологии создания АКБ большой мощности с использованием стандартных элементов (по так называемой tesla-технологии);
- технологии построения высоковольтных модульных силовых электропреобразователей (инверторов/конверторов) на современной IGBT/Mosfet элементной базе с высоким КПД;

– водородные технологии электролизных и каталитических систем нового поколения с высокой энергоэффективностью, и многие другие.

Помимо обеспечения основных функций накопителя энергии, а именно: энергетический сдвиг во времени и функции сетевого накопителя (снижение пиковых нагрузок, компенсация реактивной мощности, регулирование напряжения, первичное/вторичное регулирование частоты), на базе гибридного накопителя удалось реализовать функции универсальной зарядной (заправочной) станции для водородных потребителей и мобильных электропотребителей.

Таким образом, на базе гибридного накопителя, реализуемого в ООО «Судпромкомплект», фактически создана универсальная мобильная энергетическая платформа, которая позволяет накапливать значительно большую энергетическую емкость за счет применения ВТЭ-накопителей и АКБ-накопителей, существенно повысить удельные характеристики накопителя и при этом снизить его стоимость по сравнению с традиционными накопителями энергии.

На базе такого накопителя также может быть создана универсальная зарядная (заправочная) станция для обеспечения заправки мобильных потребителей водорода высокого давления и зарядки мобильных электропотребителей, а также электроснабжения стационарных электропотребителей, удаленных от сетевых источников энергии.

Опыт, полученный при создании гибридного накопителя, реализуемого в ООО «Судпромкомплект» в рамках пилотного проекта, подтвердил возможность существенного снижения стоимости накопителя за счет повышения эффективности водородных технологий, а также за счет совмещения преимуществ как ВТЭ-накопителей, так и АКБ-накопителей.

Созданная универсальная мобильная энергетическая платформа может являться основой для массового внедрения гибридных накопителей нового поколения: как для возобновляемых источников энергии и для создания умных сетей электроснабжения (Smart Grid), так и для обеспечения заправки мобильных потребителей водорода высокого давления и зарядки мобильных электропотребителей, а также электроснабжения стационарных электропотребителей, удаленных от сетевых источников энергии.

Учитывая имеющийся технологический задел, на базе созданной в ООО «Судпромкомплект» мобильной энергетической платформы в кратчайшие сроки может быть налажено массовое производство линейки гибридных накопителей на промышленной основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Картамышева Н.С., Картамышева Е.С., Биекенова А.С., Перевала М.Н. Водород – топливо будущего? // Молодой ученый. – 2015. – № 14. – <https://moluch.ru/archive/94/21092/>
2. Новиков Н.Л., Новиков А.Н. Система аккумулирования электроэнергии для обеспечения надежности работы ЭЭС. – <https://cyberpedia.su/3x8fc.html>
3. Денщикова К.К., Жук А.З. Гибридный накопитель электроэнергии на базе аккумуляторов и суперконденсаторов. – <http://www.reenfor.org/upload/files/0513ec7730984747969d9bb8041d441b.pdf>
4. <http://energy.esco.agency/rubriki-zhurnalna/prognozy-i-analitika/1162/vodorodnaja-jekonomika-razrushit-linovoe-toplivo-iskopaemuju-civilizaciju>
5. <https://www.greentechmedia.com/research#gs=3cUyQk>
6. <https://gisprofi.com/gd/documents/rynok-litij-ionnyh-nakopitelej-energii-budet-rasti-na-55-v-god-do-2022-g.html>
7. <https://www.forbes.com/sites/mikescott/2018/11/09/battery-energy-storage-is-a-1-trillion-opportunity-as-costs-continue-to-crash/>
8. <https://protononsite.ru/produkcija/generatori-vodoroda/generatori-vodoroda-seriya-m> ■

При испытаниях судового электрооборудования на устойчивость к электромагнитным помехам наблюдались различные изменения функционирования: изменение показаний гироскопа от 0 до 360 град.; показаний скорости судна от 0 до 90 уз; уход показаний до 40% измеряемых величин; нарушение работы электронно-навигационной картографической системы; изменения частоты вращения дизеля по сравнению с установленной до 200 оборотов; сброс установочных параметров и повреждение устройств ввода автоматических выключателей. На судах регистрировались случаи нештатного включения электропривода, сбоев в работе систем автоматики и даже нарушения в работе электродвижения судна, обусловленные влиянием помех, создаваемых радиотехническим и электротехническим оборудованием.

Опыт испытаний лаборатории технических средств (ТС) по электромагнитной совместимости (ЭМС) СПбГМТУ показывает, что ТС с первого предъявления редко удовлетворяет требованиям по устойчивости к помехам.

В настоящее время одновременно с усилением систем всех видов, снижением уровней полезных сигналов повышается мощность электрооборудования, способного создавать высокий уровень помех (применение полупроводниковых преобразователей электроэнергии), что обостряет проблему ЭМС. Электромагнитная несовместимость различных технических средств может привести к экономическому ущербу, серьезным авариям и даже к гибели людей.

Российский морской регистр судоходства (РС) требует обязательного проведения испытаний судового электрооборудования на ЭМС и учета вопросов ЭМС при разработке, изготовлении, выборе и размещении оборудования на судах.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОМЕХ НА СУДНЕ

ТС при включении, выключении и функционировании создают токи, напряжения, электромагнитные поля, способные влиять на другие ТС, т.е. являются источниками помех. Одновременно судовые ТС восприимчивы к электромагнитным воздействиям, являются рецепторами помех. Работа любого ТС нарушается при высоком уровне напряжения помех или электромагнитного поля.

Можно выделить следующие источники помех [1]: работа преобразователей электроэнергии как источник высокочастотных помех; коммутация потребителей электроэнергии, что приводит к отклонениям питающего напряжения, частоты и импульсным помехам в электроэнергетической системе; включение конденсаторов (фильтров на входе электрооборудования, ненагруженных протяженных кабельных

линий), создающих импульсные помехи; отключение индуктивных нагрузок (трансформаторов, двигателей), сопровождающиеся появлением перенапряжений и импульсных помех; аварийные процессы, такие как однофазные замыкания на корпус, способные создать импульсные помехи и перенапряжения во всей электроэнергетической системе; компьютерные нагрузки, энергосберегающие лампы, которые при своей работе генерируют широкополосные помехи; радиооборудование, при работе создающее узкополосные помехи высокой интенсивности; разряды статического электричества с человека на электрооборудование, являющиеся особым видом помех; внешние радиолокационные станции, разряды молнии, ядерные взрывы и электромагнитное оружие, способные навести импульсные помехи большой амплитуды.

Создаваемые источниками помехи могут достигать рецепторов различными путями. Напряжения и токи помех могут распространяться через общую сеть переменного и постоянного тока, корпусу ТС. Излучаемые помехи распространяются в виде электромагнитного поля, а также через электромагнитные связи кабелей в трассе. В последнем случае фактически напряжения и токи в одном кабеле создают электромагнитное поле, вызывающее наведенные напряжения и токи в соседнем кабеле. Реально наблюдается одновременная передача помех по всем путям, и возможна комбинация любых вариантов распространения.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

Повышение функциональности микросхем, достигаемое увеличением быстродействия, сложности внутренней структуры, уменьшением напряжения питания, привело к сокращению размеров элементов полупроводниковых структур и усугубило проблему помехоустойчивости. Помехи, наводимые на выводах элементов, способны вызвать не только отклонения в нормальной работе электрооборудования, но и выход его из строя.

Повреждения дискретных полупроводниковых приборов характеризуется пробоем $p-n$ переходов. У микросхем наблюдается

ся пробой тонкопленочных конденсаторов, полупроводниковых структур, плавление металлизации, обрыв контактных дорожек и соединительных проводников, разрушение резисторов. Для пассивных элементов характерны внутренний пробой, перегрев и разрушение.

Энергия, необходимая для повреждения микросхем, значительно меньше энергии повреждения дискретных элементов. Для повреждения микросхем различных типов импульсными напряжениями микросекундной длительностью достаточно следующих значений энергии: для схем ТТЛ – от 2 до 300 мкДж; для схем КМОП – от 8 до 150 мкДж. Для дискретных элементов: выпрямительных диодов – от 80 мкДж до 0,6 Дж; силовых транзисторов – от 50 мкДж до 50 мДж [2].

Помехи воздействуют на микросхемы по входам и выходам, по цепи питания и вдоль общей шины питания. Помехоустойчивость микросхем к помехам на входах оговаривается в технической документации. В зависимости от продолжительности помехи имеют статическую и динамическую помехоустойчивость. *Статическая помехоустойчивость* определяется уровнем сигнала длительной помехи, при котором еще не происходит ложного срабатывания схемы. При этом рассматриваются помехи с длительностью, большей времени переходных процессов. *Динамическую помехоустойчивость* связывают с кратковременными импульсными помехами, длительность которых соизмерима с временем переключения схемы. При воздействии на вход микросхемы импульсов малой длительности входные емкости не успевают зарядиться за время воздействия помехи, и напряжение на входе микросхемы будет ниже. Поэтому сбой в работе микросхем при уменьшении длительности помехи будут происходить при большей амплитуде помехи. При увеличении ее длительности динамическая помехоустойчивость стремится к уровню статической. При повышении быстродействия микросхем зона устойчивой работы уменьшается, это можно проследить при переходе от ТТЛ к ТТЛШ. Микросхемы ТТЛШ более быстродействующие, имеют меньшую зону устойчивой работы. Поэтому помеха, не опасная

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

А.М. Агафонов, доцент,

А.А. Воршевский, д-р техн. наук, доцент, проф.,

П.А. Воршевский, ст. преподаватель,

Е.С. Гришаков, ассистент, СПбГМТУ,

контакт. тел. (812) 494 0959, +7 (921) 998 1834, +7 (921) 994 7343, +7 (921) 994 6914

для ТТЛ, может оказаться недопустимой для ТТЛШ.

Характеристика динамической помехоустойчивости используется при проектировании печатных плат для оценки возможного нарушения работоспособности при наличии наведенных помех. Зная амплитуду и длительность помехи, можно судить о ее опасности для микросхем.

Появление наведенных напряжений помехи на шинах питания микросхем также может привести к их ложному переключению. Вероятность этого возрастает при увеличении амплитуды импульсной помехи. Устойчивость к помехам этого вида можно характеризовать пороговым напряжением, после которого вероятность переключения быстро возрастает. Обычно микросхемы менее восприимчивы к помехам по цепям питания и выходам по сравнению с воздействием по входным цепям.

При протекании тока по общей шине питания микросхем могут также возникать помехи вдоль общей шины в основном за счет падения напряжения на индуктивности этой цепи. В конечном итоге напряжение помех складывается с полезным сигналом и прикладывается ко входу следующей микросхемы. Устойчивость к помехам в общей шине близка к помехоустойчивости по входным цепям.

Каждое семейство микросхем имеет большое число функциональных разновидностей, но в то же время параметры входа-выхода у всего логического семейства одинаковы и совпадают с параметрами элементарного вентиля. Это свойство удобно использовать для частных решений, оперируя элементарным вентилем. Помехоустойчивость определяется особенностями построения базового вентиля определенной серии микросхем.

Определить устойчивость микросхем к импульсным помехам можно экспериментальным путем. На макетную плату с микросхемой от генератора наносекундных импульсных помех (ИПП-4000 по ГОСТ 30804.4.4) подается наносекундная импульсная помеха к исследуемым портам. Длительность импульса можно регулировать, изменяя емкость связи между генератором и исследуемой цепью. Амплитуду, установив соответствующий резистивный делитель на выход генератора амплитудой 250 В, выходное сопротивление имитатора (50 Ом) позволяет получать напряжение в широких пределах. Результаты исследования устойчивости триггеров ТТЛ и КМОП серии следующие: срабатывание определяется фронтом импульса, а не длительностью; напряжение срабатывания по выходам и цепи питания составляет двойное напряжение питания, по входам определяется уровнем статической помехоустойчивости; выход из строя от 5- до 20-кратного напряжения питания, определяется, на какую цепь воздействует помеха. Таким же способом можно опре-

делить помехоустойчивость дискретных элементов.

ПРОНИКНОВЕНИЕ ПОМЕХ В ИНФОРМАЦИОННЫЕ ЦЕПИ, СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОМЕХ

Для обеспечения ЭМС важно знать механизм проникновения помех в ТС, характеристики устойчивости элементов и узлов технических средств к помехам и особенности воздействия помех на ТС в целом.

Кондуктивные помехи по цепи питания. Помехи, распространяясь по силовой цепи, прикладываются на вход ТС. Кондуктивная помеха проникает к восприимчивым элементам (рецептору помех) за счет паразитных параметров входного фильтра и источника питания, электромагнитных связей силовой цепи и информационной цепи внутри ТС. Наведенное напряжение будет определяться величиной емкости между входом ТС и рецептором помехи (емкостная связь), а также скоростью изменения тока помех в силовой цепи и площадью контура цепей рецептора помехи (индуктивная связь). Емкость связи может достигать единиц наноФарад, напряжение помехи в силовой цепи может навести на рецепторе десятки и даже сотни вольт приложенного несимметричного напряжения [3]. За счет несимметрии входных цепей (неравенства емкостей линий относительно корпуса) появляется симметричное напряжение помехи, приложенное как полезный сигнал, которое может составлять единицы вольт и вызывать выполнение ложных команд.

Для снижения уровня внешних помех ТС следует подключать к питающей сети через сетевой помехоподавляющий фильтр, который должен быть расположен в непосредственной близости от входного разъема, в идеальном случае установлен в отдельном экранированном отсеке ТС. Сетевые помехоподавляющие фильтры должны обеспечивать необходимое снижение уровня внешних помех, поступающих из сети питания в ТС. Хорошо себя зарекомендовали фильтры фирмы «Epcos», которые, помимо хороших помехоподавляющих свойств, удовлетворяют требованиям РС по прочности изоляции. В случае самостоятельного изготовления фильтра необходимо тщательно подходить к выбору элементов, учитывать их паразитные параметры. После изготовления фильтра необходимо снять его АЧХ.

Для защиты от разрушающих воздействий (микросекундных импульсных помех) на входе ТС устанавливают ограничители перенапряжения (ОПН), как правило варисторы. ОПН устанавливаются параллельно защищаемой цепи. Необходимо внимательно относиться к выбору ОПН, установленных между фазами, выбирая их с учетом максимального колебания напряжения силовой сети (+20% от номинального напряжения питания).

ОПН, установленный между фазой и корпусом, не должен срабатывать при измерении сопротивления изоляции.

К индуктивным нагрузкам необходимо подключать помехоподавляющие элементы (РС цепи, диоды, варисторы) и подсоединять их параллельно к нагрузкам проводами минимальной длины.

Кондуктивные помехи по портам ввода-вывода. Порты ввода-вывода часто не имеют средств помехозащиты. Несимметричные помехи, наведенные в портах ввода-вывода, частично преобразуются в симметричные из-за неравенства входных сопротивлений ТС на зажимах ввода и воспринимаются ТС как полезный сигнал. Несимметрия жил может привести к появлению напряжений между жилами порядка 1–5% от наведенного несимметричного напряжения [4].

Для уменьшения наведенных помех применяют следующие меры: разнесение кабельных трасс с разными уровнями напряжения; экранирование; гальванические развязки.

Трассировка цепей должна быть направлена на то, чтобы напряжение и токи помех протекали дальше от цепей обработки информации. Силовые и информационные кабельные трассы следует прокладывать на расстоянии не менее 0,3 м друг от друга, уровень наведенных помех должен быть не более 5%.

Экран кабеля предназначен для уменьшения влияния помех на кабель, при этом важнейшую роль играет заземление его экрана. Если защитных свойств одного экрана недостаточно (для особо чувствительной аппаратуры), то используют кабель с двойным экраном или прокладывают его в металлических трубах. Двухслойный экран в виде алюмолавсановой ленты и медной луженой оплетки с дренажным проводником между ними ослабляет внешнее электромагнитное поле до 75 дБ. Одна алюмолавсановая фольга или одна медная оплетка обеспечивают эффективность экранирования 40–60 дБ. На практике с помощью экранированных кабелей можно достичь значительного коэффициента затухания помех до 60 дБ.

Для того чтобы эффективно использовать возможность экрана кабеля ослаблять наведенные помехи, необходимо соблюдать следующие условия: заземлять экран по всему периметру, используя металлические резьбовые разъемы (ЭМС разъемы) или металлические зажимные скобы с надежным заземлением кабельного экрана; не вводить экран кабеля внутрь ТС с соединением его проводником внутри корпуса, так как утрачиваются экранирующие свойства корпуса ТС.

Применение гальванической развязки в цепях передачи информации, помехозащитного кодирования информации, нескольких каналов передачи, программных методов обеспечивает хорошую по-

мехоустойчивость портов ввода-вывода к помехам. Провода после гальванической развязки не следует прокладывать в одной трассе с проводами электропитания.

Кондуктивные помехи по цепи заземления. Воздействие помех в цепи заземления приводит к появлению напряжения помех на корпусе ТС, что эквивалентно воздействию несимметричных помех на портах питания и ввода-вывода относительно корпуса. Амплитуда и длительность импульсного напряжения на корпусе ТС зависит от индуктивности цепи заземления и емкости корпуса ТС относительно корпуса судна [5].

Емкость корпуса ТС может составлять сотни пикоФарад, а индуктивность заземления – единицы микроГенри.

Для уменьшения амплитуды помех микросекундной длительности на корпусе ТС в 10 раз необходимо, чтобы индуктивность заземления не превышала 1 мкГн, в 100 раз – 0,1 мкГн. Индуктивность 0,1 мкГн достигается: для медной ленты шириной 2 см, длиной 0,15 м; для медной ленты шириной 5 см, длиной 0,2 м; для провода сечением 4 мм², длиной 0,1 м. Емкость корпуса оказывает небольшое влияние на коэффициент снижения амплитуды микросекундных помех.

Для наносекундных помех емкость корпуса оказывает существенное влияние на коэффициент снижения амплитуды, выступая как фильтр. Для уменьшения амплитуды наносекундной помехи на корпусе более чем в 10 раз необходимо, чтобы при емкости корпуса 300 пФ индуктивность заземления не превышала 0,1 мкГн, что обеспечить очень трудно. Таким образом, для наносекундных ИП обычное заземление снижает амплитуду ИП на корпусе лишь в несколько раз.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

Электромагнитные поля (ЭМП) вызывают наведенные напряжения во внутренних цепях ТС, которые воспринимаются как полезный сигнал. Пути проникновения ЭМП внутрь корпуса ТС – по внешним кабелям, через отверстия в корпусе; через корпус. Для защиты от ЭМП применяют экранирование корпусов, подводящих кабелей, фильтрация цепей. Эти меры взаимодополняющие.

Экранирование обеспечивает защиту от непосредственного воздействия ЭМП на внутренние цепи ТС, а также снижает уровень помехоэмиссии самого ТС. Теоретически можно ослабить влияние ЭМП более чем на 100 дБ [6], практически эти значения гораздо меньше расчетных. Корпус ТС имеет вентиляционные отверстия, отверстия под индикаторы, разъемы, щели, связанные с неоднородностью проводимости на стыке сопрягаемых деталей.

Вентиляционные отверстия должны быть закрыты металлической заземленной сеткой с мелкими, до 1 мм, ячейками. Со-

единение с корпусом осуществляется через медную фольгу, наклеенную на подготовленный корпус с помощью проводящего клея, имеющего в своем составе металлические шарики, за счет которых осуществляется контакт между поверхностями.

Смотровые окна и панели индикаторов закрывают электропроводящим покрытием, имеющим хороший электрический контакт с корпусом ТС. Применяется тонкая проволочная сетка или стекла с металлизацией. Соединение с корпусом аналогично соединению вентиляционной решетки.

Составные части корпуса ТС соединяют через проводящие электромагнитные прокладки. Основное требование – подготовка поверхности корпуса для установки проводящих прокладок, корпус должен быть защищен от краски и обработан средствами, препятствующими образованию оксидных пленок, ржавчины.

Кабели, входящие в ТС, должны быть экранированными, ввод в корпус осуществляется через ЭМС разъемы. На вводе силовых кабелей должен быть установлен помехоподавляющий фильтр.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ

Увеличение быстродействия элементной базы и связанное с этим изменение структуры микросхем привело к повышению порога чувствительности к электростатическим разрядам (ЭСР). По данным зарубежных источников, рассмотренных в работе [7], до 80% всех отказов ИС в процессе эксплуатации обусловлено воздействием ЭСР. Они являются источником кондуктивных и излучаемых ЭМП. Излучаемые ЭМП представляют собой импульсные электромагнитные поля. Кондуктивные ЭМП подразделяются на прямые и косвенные, представляют собой импульсный перенос потенциала электростатического заряда на проводящие участки печатных плат и компонентов.

Для защиты от ЭСР применяют комплекс мер, пересекающихся со способами защиты от кондуктивных и полевых помех, включающих в себя конструкционные и схемотехнические методы защиты.

Конструкционные методы защиты – экранирование корпусов, кабелей. Все части корпуса должны иметь хороший электрический контакт между собой, соединены проводящими прокладками, оплетками, в идеальном случае – сварное соединение. Для чувствительной аппаратуры нельзя применять соединение составных частей корпуса при помощи проводников. Высокочувствительные элементы должны быть максимально удалены от проводников, по которым может распространяться ток и напряжение разряда. Заземление элементов, установленных на корпусе ТС, необходимо осуществлять вне трассы питания и информационных связей. Соединять цепи заземления печатной платы с корпусом ТС следует в одной точке или нескольких

точках корпуса ТС, не допускается соединение составных частей корпуса через землю платы.

Для повышения устойчивости ТС следует применять микросхемы с повышенной помехоустойчивостью и напряжением питания, снижать быстродействие схем до минимально допустимого значения. Защита входов микросхем может быть осуществлена с помощью RC или LC фильтров, если это допустимо для передаваемых сигналов линий, синфазных дросселей, что позволяет устранить влияние на передаваемый сигнал, либо установкой ОПН для стандартных интерфейсов, выпускаемых различными производителями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электромагнитные помехи, воздействуя на ТС, вызывают сбои в их работе, что может повлечь за собой необратимые последствия. Актуальность обеспечения ЭМС ТС с каждым годом увеличивается. Это связано, прежде всего, с быстрым обновлением элементной базы и изменением технологии ее производства, вплоть до того, что ТС перестают работать при замене микросхемы на аналогичную, выпущенную по новой технологии. Уменьшение помехоустойчивости элементной базы требует от разработчика еще большего внимания к средствам помехозащиты, использовать более дорогие корпуса, кабели, соединители, фильтры. Необходимо прорабатывать вопросы заземления ТС, установки ограничителей перенапряжения. При этом требуется соотносить применяемые средства обеспечения ЭМС с требованиями РС к сопротивлению и прочности изоляции, а также пожаробезопасности, определяемой токами утечки на корпус судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воршевский А.А. Электромагнитная совместимость судовых технических средств по импульсным помехам, возникающим, распространяющимся и воздействующим в судовой электроэнергетической системе // *Технологии ЭМС. – ИД «Технологии»*. – 2007. – № 3 (22). – С. 23–32.
2. Воршевский А.А., Гальперин В.Е. Электромагнитная совместимость судовых технических средств. – СПб: СПбГМТУ. – 2006. – 317 с.
3. Воршевский А.А. Обеспечение электромагнитной совместимости судовых технических средств в условиях импульсных помех // *Морской вестник*. – 2007. – № 3 (23). – С. 46–47.
4. Агафонов А.М., Воршевский А.А., Гришаков Е.С. Обеспечение помехозащитности электронного оборудования по портам связи, соединенных через кабельную трассу. Энергетические и электротехнические системы: международ. сб. науч. тр. / Под ред. С.И. Лукьянова, Е.Г. Нешпоренко. – Вып. 5. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. с. 76–87.
5. Агафонов А.М., Воршевский А.А. Заземление технических средств при наносекундных и микросекундных импульсных помехах // *Технологии ЭМС. – ИД «Технологии»*. – 2010. – № 4 (35). – С. 44–55.
6. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. – Вып. 2. Внутрисистемные помехи и методы их уменьшения. / Состав. Д.Р.Ж. Уайт. Сокр. пер. с англ. под редакцией А.И. Сапгира. – М.: Сов. радио. – 1978. – 272 с.
7. Гуревич В.И. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы, перспективы. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 336 с. ■

Устойчивой общемировой тенденцией является рост объемов международных грузовых перевозок морским транспортом, однако объем морских грузовых перевозок и грузооборота России в последние десятилетия неуклонно снижается [1]. Немаловажную роль в этой «обратной» тенденции играет снижение конкурентоспособности морского флота, обусловленного рядом экономических и политических причин [2], в рейтинге которых рост цен на топливо стоит далеко не на последнем месте.

Анализ технологических параметров работы современных судовых установок позволяет судить о применимости технологии органического цикла Ренкина (ОЦР) для повышения их энергетической эффективности, т. е. обеспечения экономии топлива [3]. ОЦР позволяет преобразовывать низкопотенциальную (или сбрасываемую в окружающую среду без полезного использования) тепловую энергию в электрическую, однако вместо традиционного водяного пара в теплосиловом контуре такого цикла используются низкокипящие рабочие вещества (РВ) природного или синтетического происхождения.

К основным типам современных судовых двигателей относятся газотурбинные двигатели (ГТД) и двигатели внутреннего сгорания (ДВС). И в том и в другом случае возможна установка дополнительного электрогенерирующего ОЦР-модуля, утилизирующего теплоту выхлопных газов двигателя в теплосиловом цикле на низкокипящем рабочем веществе. Однако современная тенденция развития ГТД судовых установок – повышение начальной температуры в цикле до 1500–1600°C с промежуточным охлаждением компрессора и внутренней регенерацией теплоты уходящих газов в цикле (например, WR-21 фирмы «Rolls-Royce»), что ограничивает возможности применения предлагаемой технологии для данного типа двигателей [4].

Более перспективно применение ОЦР-технологии для судовых ДВС, дальнейшее технологическое совершенствование которых направлено на повышение энергетического потенциала (среднего эффективного давления), снижение габаритов и массы, увеличение ресурсных показателей и повышение топливной экономичности, но никак не связано с потенциальным использованием теплоты уходящих газов внутри термодинамического цикла.

В России одним из наиболее распространенных брендов дизельных двигателей являются «MaK», «Caterpillar» (США). В качестве примера для анализа эффективности предлагаемого решения был принят двигатель М32, который представляет собой четырехтактный дизель, неревверсивный, с турбонаддувом, промежуточным охлаждением и с прямым впрыском топлива, шестирядной конфигурации. Данный двигатель был выбран в силу его широкой распространенности, однако следует отметить, что современные судовые ДВС независимо от мощности и производителя обладают схожими характеристиками по удельному расходу топлива, температуре выхлопных газов и пр., поэтому выбор конкретного двигателя не является принципиальным.

Технические характеристики двигателя 6М32

Характеристика	Значение
Максимальная мощность N_d , кВт	3000
Скорость вращения, 1/мин	600
Мин. скорость вращения, 1/мин	360
Расход воздуха, м ³ /ч	17 500
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	179
Температура выхлопного газа, °С	300
Массовый расход отработавших газов, кг/ч	21 132

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛА СУДОВОЙ УТИЛИЗАЦИОННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА НИЗКОКИПАЩЕМ РАБОЧЕМ ВЕЩЕСТВЕ

И.С. Антаненкова, канд. техн. наук, доцент, зам. зав. кафедрой,
А.А. Ветренко, аспирант,
Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
контакт. тел. +7 (906) 796 3651, +7 (985) 436 7493

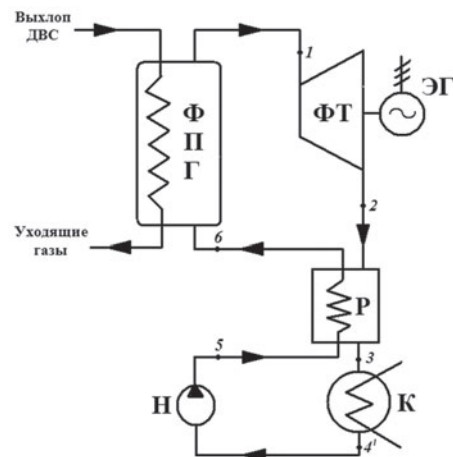


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема ОЦР-модуля для утилизации теплоты газов выхлопа судового ДВС
ФПГ – фреоновый парогенератор; ФТ – фреоновая турбина; ЭГ – электрогенератор; Р – рекуператор; К – конденсатор; Н – насос

Предлагаемая тепловая схема утилизационного ОЦР-модуля (рис. 1) содержит фреоновую турбину, в которой расширяется рабочее вещество (РВ) (фреон), предварительно нагретое в теплообменнике-утилизаторе выхлопных газов ДВС (фреоновом парогенераторе). Отработавший в турбине пар фреона все еще имеет сравнительно высокий потенциал (температуру), для полезного использования которого в схеме предусмотрен рекуператор. После рекуператора фреон направляется в конденсатор, где охлаждается и конденсируется за счет передачи теплоты морской воде. После конденсатора фреон в жидком состоянии закачивается насосом последовательно в рекуператор и парогенератор. Сверхкритический термодинамический цикл, реализуемый установкой, представлен на рис. 2.

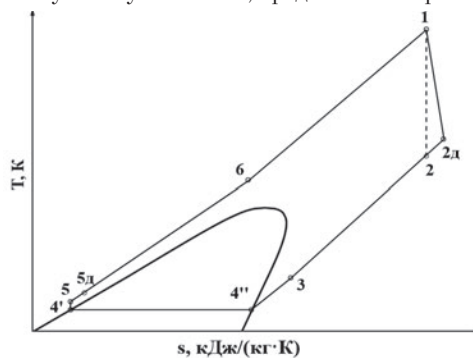


Рис. 2. Сверхкритический цикл модуля ОЦР на низкокипящем РВ (с учетом необратимых потерь в элементах установки)
1–2 – расширение РВ в ФТ; 2–3 – охлаждение РВ в Р; 3–4' – охлаждение и конденсация РВ в К; 4'–5 – сжатие РВ в Н; 5–6 – нагрев РВ в Р; 6–1 – перегрев РВ в ФПГ

Предлагаемую энергоустановку можно использовать для выработки дополнительной электроэнергии или для работы в качестве дополнительного двигателя. Для работы по второму варианту на вал фреоновой турбины устанавливают редуктор для преобразования крутящего момента турбины на частоту вращения винта судна.

Выбор РВ ОЦР-технологии утилизации для каждого конкретного потребителя необходимо определять в результате технико-экономического анализа. В целом можно сформулировать следующие обобщенные требования к выбору рабочего тела установки [6]:

- экологические (озонобезопасность, низкий потенциал глобального потепления, негорючесть и нетоксичность);
- термодинамические (низкая температура кипения при атмосферном давлении; невысокое давление конденсации; высокая теплопроводность; малые плотность и вязкость рабочего вещества, обеспечивающие сокращение гидравлических потерь на трение и местные сопротивления);
- эксплуатационные (термохимическая стабильность, химическая совместимость с материалами, негорючесть, невзрывоопасность, возможность применения мер по восстановлению рабочих свойств вещества в процессе его эксплуатации и по утилизации, и т. д.);
- экономические (наличие товарного производства, доступные (низкие) цены).

Для исследования энергетической эффективности предлагаемой установки были выбраны следующие вещества: дифтормонохлорметан (R22); диоксид углерода (R744); октафторциклобутан (RC318); 1.1.1.3.3-пентафторпропан (R245fa). Термодинамические характеристики исследуемых РВ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики рабочих веществ

Характеристика	RC318	R22	R744	R245fa
Химическая формула	C ₄ F ₈	CHClF ₂	CO ₂	C ₃ H ₃ F ₅
Молярная масса, кг/моль	200,03	86,47	44,01	134,05
Критическая температура, К	388,38	369,30	304,13	427,16
Критическое давление, МПа	2,78	4,99	7,38	3,65
Температура кипения t _с , К (при p = 0,1013 МПа)	267,17	232,33	220,09	288,28
Теплота испарения при t _с , кДж/кг	116,75	224,75	344,77	196,05
Озоноразрушающий потенциал (ODP)	0	0,055	0	0
Потенциал глобального потепления (GWP)	9100	1700	1	930

В качестве исходных данных для расчета термодинамического цикла ОЦР-модуля были приняты следующие величины:

- температура выхлопных газов ДВС перед ФПГ t_{выхл}: 300 °С;
- температура уходящих газов ДВС после ФПГ t_{ух}: 150 °С;
- давление фреона перед турбиной p₁: от 6 до 20 МПа;
- температура охлаждающей (морской) воды в конденсаторе t_{мв}: 15 °С;
- внутренний относительный КПД турбины η_{oi}^T: 80%;
- внутренний относительный КПД насоса η_{oi}^H: 86%;
- недоохлаждение фреона в рекуператоре: 10 °С;
- недогрев фреона в парогенераторе: 20 °С;
- минимальный температурный напор в конденсаторе: 5 °С.

Для определения теплофизических свойств рассматриваемых РВ использованы литературные источники, собственные экспериментальные данные и база теплофизических свойств веществ NIST REFPROP.

Внутренний КПД ОЦР-модуля определялся по следующей зависимости:

$$\eta_i = \frac{(h_1 - h_2) \cdot \eta_{oi}^T - (h_5 - h_4) / \eta_{oi}^H}{h_1 - h_6}, \quad (1)$$

где h₁, h₂, h₄, h₅, h₆ – энтальпии РВ в характерных точках цикла (см. рис. 1).

Выдаваемая мощность ОЦР-модуля, кВт,

$$N_{\text{эу}} = N_T - N_H, \quad (2)$$

где N_T = m_{РВ} · (h₁ – h₂) · η_{oi}^T – мощность турбины, кВт;

N_H = m_{РВ} · (h₅ – h₄) / η_{oi}^H – мощность насоса, кВт; m_{РВ} – расход фреона, определяемый из уравнения теплового баланса парогенератора, кг/с.

Результаты расчетов зависимости КПД утилизационной энергоустановки от давления пара на входе в фреоновую турбину для рассматриваемых веществ представлены на рис. 3.

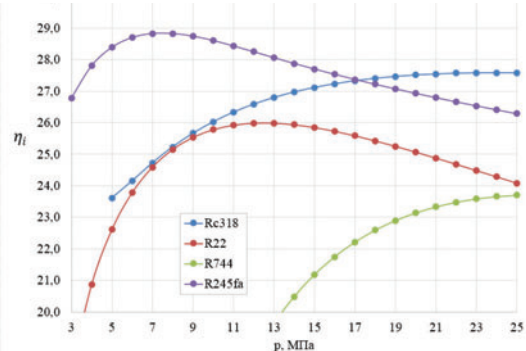


Рис. 3. Зависимость КПД утилизационной энергоустановки от давления пара на входе в турбину

Анализ полученных результатов показал, что имеются оптимальные значения по давлению пара на входе в турбину для веществ R245fa, R22 и RC318 (табл. 3). Уменьшение КПД цикла при работе на этих веществах после оптимального происходит вследствие снижения степени регенерации. При работе цикла на RC318 и R744 с ростом давления степень регенерации постоянно растет, в связи с этим КПД цикла увеличивается. В случае с RC318 прирост КПД слишком незначительный после 17 МПа, с R744 прогнозируемый оптимум будет получен при слишком высоком давлении (выше 30 МПа), что приведет при прочих равных к увеличению капитальных затрат на установку и повышению требований к ее надежности и эксплуатационной безопасности.

Сравнение энергетических характеристик установки на веществах RC318, R22 и R245fa при параметрах полученного максимума КПД представлены в табл. 2 и на рис. 4 (при мощности ДВС 3000 кВт и давлении в парогенераторе 8 МПа для R245fa, 20 МПа для R22 и 13 МПа для R22).

Таблица 2

Характеристики утилизационной энергоустановки на различных рабочих веществах

Характеристика	RC318	R22	R245fa
η _i , %	27,51	25,99	28,83
N _т , кВт	330,5	276,3	285,3
N _н , кВт	78,6	38,3	21,4
N _{эу} , кВт	251,9	238,0	264,0
N _{эу} /N _д , %	8,4	7,9	8,8

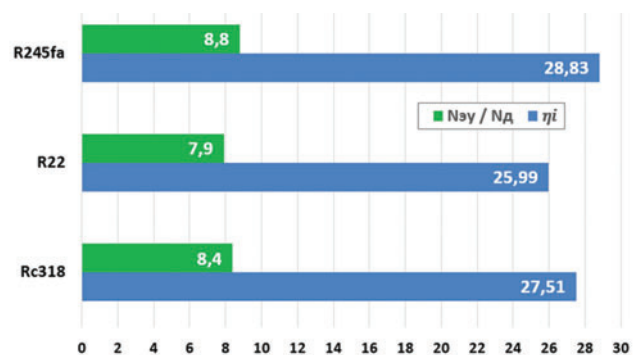


Рис. 4. Внутренний КПД и относительная мощность утилизационной энергоустановки на различных рабочих веществах

Анализируя результаты расчета, можно отметить, что максимальный КПД утилизационной установки и максимальная выработка полезной мощности достигаются при использовании R245fa в качестве РВ. Данное обстоятельство обусловлено в первую очередь тем, что даже при существенно более низком давлении пара на входе в турбину ее удельная мощность на R245fa (90,7 кДж/кг) выше, чем при работе на R22 (82,6 кДж/кг) и RC318 (62,0 кДж/кг).

В связи с этим вариантом рекомендуется дальнейшее исследование влияния различных факторов на энергетическую эффективность ОЦР-модуля на 1.1.1.3.3-пентафторпропане (R245fa) при давлении фреона на входе в турбину 8 МПа.

Еще одним параметром, закономерно влияющим на термодинамическую эффективность цикла судового ОЦР-модуля, помимо давления фреона на входе в турбину, является температура морской воды, охлаждающей конденсатор установки и определяющей давление рабочего вещества в аппарате (рис. 5).

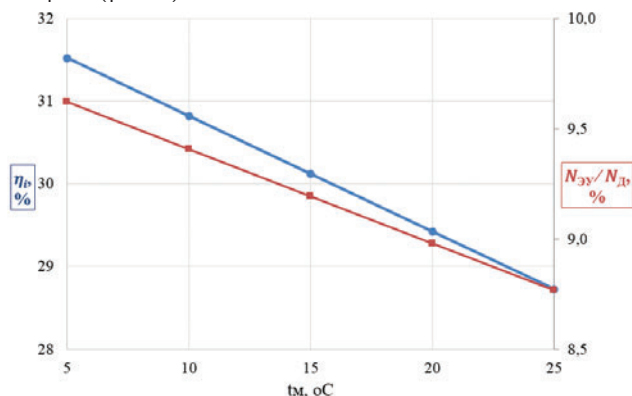


Рис. 5. Зависимость КПД и относительной мощности утилизационной энергоустановки от температуры охлаждающей (морской) воды

С увеличением температуры охлаждающей воды уменьшается не только КПД установки, но и ее относительная мощность. Рост температуры морской воды приводит к увеличению давления фреона в конденсаторе, что, в конечном итоге, снижает располагаемый теплоперепад на турбине и вырабатываемую ею мощность. В соответствии с полученными результатами при увеличении температуры воды с 10 до 20 °C КПД установки снижается на 2,8%, а давление R245fa в конденсаторе возрастает на 0,1 МПа.

Фреон на выходе из турбины имеет сравнительно высокую температуру (до 225 °C), которая полезно используется в рекуператоре, подогревая рабочее вещество перед подачей в парогенератор. На рис. 6 представлена зависимость КПД энергоустановки от температуры фреона на входе в парогенератор (t_6 на рис. 1 и рис. 2), т.е. от степени регенерации теплоты в цикле.

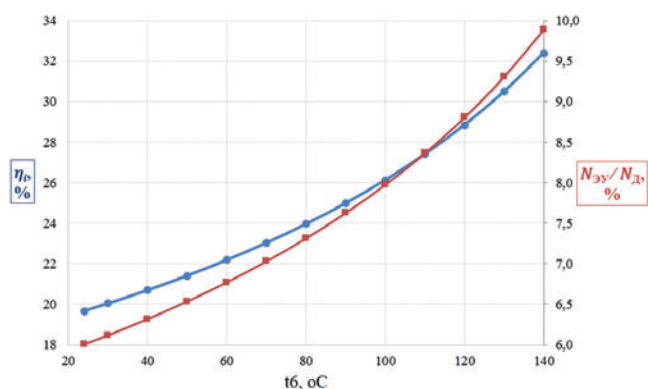


Рис. 6. Зависимость КПД и относительной мощности утилизационной энергоустановки от температуры рабочего вещества на входе в парогенератор

Анализ полученных данных свидетельствует о существенном увеличении эффективности цикла с ростом температуры РВ на входе в парогенератор (степени регенерации). Это влияние обусловлено двумя факторами:

1) организация дополнительного внутрициклового отвода теплоты от РВ, выходящего из турбины, приводит к уменьшению потерь теплоты в холодном источнике (конденсаторе);

2) рекуператор замещает часть нагрузки парогенератора, что приводит к росту КПД.

Также на рис. 6 представлена зависимость относительной мощности энергоустановки от температуры РВ на выходе из рекуператора. Прирост мощности с увеличением степени регенерации обусловлен увеличением расхода фреона в контуре установки при снижении удельной тепловой нагрузки парогенератора и неизменном расходе дымовых газов.

На рис. 7 представлены результаты расчета зависимости КПД и относительной мощности утилизационной энергоустановки от температуры выхлопных газов дизельного двигателя.

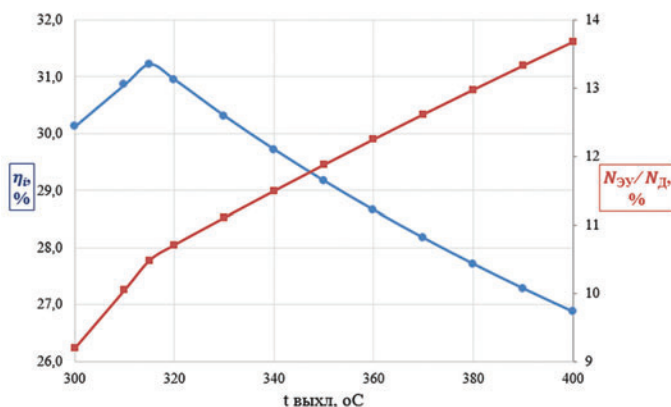


Рис. 7. График зависимости КПД и относительной мощности утилизационной энергоустановки от температуры выхлопных газов дизельного двигателя

Из представленного графика видно, что с ростом температуры выхлопных газов ДВС до 315 °C (температура фреона при этом составляет 295 °C) КПД энергоустановки увеличивается, что связано с увеличением удельной мощности турбины. При дальнейшем увеличении температуры выхлопных газов ДВС КПД уменьшается, что, на первый взгляд, может показаться странным. Однако стоит помнить о том, что в расчете температура уходящих газов задана неизменной (150 °C). Следовательно, существует ограничение по значению максимальной мощности рекуператора, так как температура фреона на входе в парогенератор t_6 не может быть выше 140 °C (с учетом заданного недогрева в 10 °C), иначе в рекуператоре возникнет отрицательный температурный напор, что физически невозможно.

Таким образом, увеличение температуры выхлопных газов ДВС при фиксированной температуре уходящих газов после определенного оптимума приводит к росту потерь от внутренней необратимости процессов в рекуператоре, к снижению степени регенерации в ОЦР, к росту потерь теплоты в конденсаторе, и, в конечном итоге, к уменьшению КПД цикла. Увеличение КПД установки при заданном ограничении возможно за счет более глубокой утилизации теплоты выхлопных газов ДВС посредством организации многоконтурной схемы ОЦР [7].

Несмотря на то, что после оптимума КПД цикла падает, с ростом температуры выхлопных газов при неизменном их расходе увеличивается тепловая мощность фреонового парогенератора и, следовательно, электрическая мощность турбины за счет увеличения ее удельной работы и расхода фреона через установку.

Задаваемое значение температуры уходящих из парогенератора газов в общем случае при проектировании утилизационных энергоустановок должно быть результатом технико-экономического анализа. При решении данного вопроса стоит учитывать явление низкотемпературной коррозии, возникающее в результате конденсации вредных веществ на поверхности теплообмена, а также влияние этой температуры на эффективность энергоустановки.

На рис. 8 представлены зависимости КПД и относительной мощности энергоустановки от температуры уходящих газов. Из графика видно, что с уменьшением температуры уходящих газов с 200 °С до 138 °С КПД энергоустановки остается без изменений, так как параметры самого цикла не меняются и степень регенерации максимальна. Дальнейшее понижение температуры уходящих газов приводит к снижению температуры фреона на входе в парогенератор, росту его удельной тепловой нагрузки и снижению КПД установки.

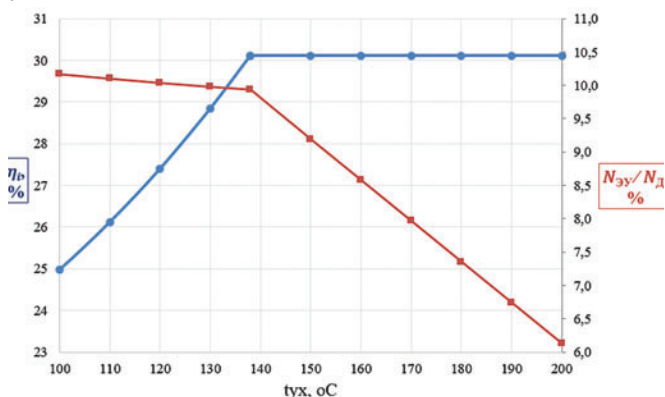


Рис. 8. Зависимость КПД утилизационной энергоустановки от температуры уходящих газов из парогенератора

Кроме того, во всем рассматриваемом диапазоне значений температуры уходящих газов ее снижение сопровождается приростом величины относительной мощности. При температуре ниже 138 °С меняется конфигурация цикла: удельная мощность фреоновой турбины снижается, и прирост мощности обеспечивается только за счет неизменно возрастающего расхода фреона.

ВЫВОДЫ

1. Анализ технологических параметров работы современных судовых установок позволяет судить о применимости технологии органического цикла Ренкина (ОЦР) для повышения их энергетической эффективности, т.е. обеспечения экономии топлива. Наиболее перспективным представляется применение ОЦР-технологии для судовых дизельных ДВС.
2. Максимальным КПД (28,83%) и величиной относительной мощности (8,8%) обладает цикл на рабочем веществе R245fa при заданных давлении перед фреоновой турбиной

8 МПа и температуре 295 °С, температуре фреона в конденсаторе 10 °С, температуре фреона на выходе из рекуператора 128 °С (при полученной оптимальной температуре уходящих газов 138 °С).

3. С ростом температуры охлаждающей конденсатор воды уменьшается не только КПД установки, но и ее относительная мощность. Рост температуры морской воды приводит к увеличению давления фреона в конденсаторе, что, в конечном итоге, снижает располагаемый теплосепаратор на турбине и вырабатываемую ею мощность.
4. Степень регенерации оказывает существенное влияние на КПД и относительную мощность энергоустановки, поэтому при конструировании ОЦР-модуля необходимо добиваться максимального ее использования.
5. Увеличение температуры выхлопных газов дизельного двигателя ведет к увеличению вырабатываемой мощности энергоустановки, поэтому на двигатели с высокой температурой выхлопа ставить энергоустановку эффективней, однако при неизменной и сравнительно низкой температуре уходящих газов необходимо использовать многоконтурную схему ОЦР-модуля.
6. Выбор температуры, до которой стоит охлаждать уходящие газы, стоит делать на основе расчетов КПД цикла, поскольку в такого рода зависимости есть выраженный оптимум.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 17-08-00324.

ЛИТЕРАТУРА

1. Россия в цифрах. 2017: Краткий стат. сб./Росстат. – М., 2017. – 511 с.
2. Бабурина О.Н., Грасс Е.Ю. Современное состояние и проблемы морского транспорта России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – Т. 9. – № 16 (205). – С. 52–57.
3. Антаненкова И.С., Ветренко А.А., Сухих А.А. Перспективные рабочие вещества для органического цикла Ренкина. – В сб. трудов Международ. конф. «Прикладные исследования и технологии ART2017». – НОУ ВО Московский технолог. ин-т, 2017, с. 19–22.
4. Барановский В.В., СаадЕддин Али. Обоснование выбора главных двигателей для перспективных надводных кораблей // Морской вестник. – 2011. – № 3 (39). – С. 56–58.
5. Технические характеристики МаК 6М32 – [Электронный ресурс]//URL: http://norta.net/ru/catalog_sku/6m32 (дата обращения 19.12.2018)
6. Шубенко А.Л., Бабак Н.Ю., Сенецкий А.В., Маляренко В.А. Утилизация сбросной теплоты технологических процессов промышленного предприятия с целью выработки электроэнергии // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 7 (101). – С. 23–29.
7. Кузнецов К.И., Сухих А.А., Охотин В.С. Термодинамический анализ парогазовых энергетических установок, использующих новые рабочие тела в паротурбинном контуре // Новое в российской электроэнергетике. – 2014. – № 1. – С. 5–15.■

ВВЕДЕНИЕ

Проблема эффективного использования топлива имеет актуальное значение для флота. Известно, что в главных двигателях судовой энергетической установки (СЭУ) в механическую энергию превращается до 52% теплоты сгорания топлива. Остальная часть энергии теряется. Одним из решений данной задачи является использование термоэлектрического эффекта для преобразования тепловой энергии отработавших газов (ОГ) судовых дизелей в электрическую.

Благодаря последним достижениям в области разработки термоэлектрических материалов и систем возобновился интерес к применению термоэлектрического генератора (ТЭГ) в СЭУ. Преимущества ТЭГ – значительный ресурс, отсутствие подвижных частей, бесшумная работа, экологическая чистота, универсальность в отношении способов подвода и отвода теплоты и возможности рекуперации отработанной тепловой энергии. Недостаток ТЭГ – низкий КПД (1–10%). Несмотря на это, ТЭГ нашли широкое применение.

Данная работа посвящена вопросам повышения эффективности ТЭГ за счет интенсификации теплообмена. Предложена конструкция ТЭГ с измененными поверхностями теплообменника со стороны отработавших газов ДВС и внесены изменения в методику расчета тепловых и электрических показателей ТЭГ, учитывающие особенности процессов теплообмена при интенсифицированных поверхностях ТЭГ вследствие вставки наклонных пластин. Разработана программа для автоматического расчета параметров ТЭГ при установке на судах.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ ТЭГ С ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ТЕПЛООБМЕННИКА ПРИ ВСТАВКЕ НАКЛОННЫХ ПЛАСТИН

Методика расчета термоэлектрического генератора с измененной конструкцией аналогична методике расчета ТЭГ базового типа с поправками, учитывающими изменение поверхности теплообменника на основе конструкции [4], показанной на рис. 1.

Методика расчета аналогична указанной в [3]: $F_r = \frac{a^2 3\sqrt{3}}{2}$, с поправками, учитывающими изменение поверхности теплообменника. В частности, был изменен расчет коэффициента теплоотдачи газа.

Площадь сечения газохода, м²,

$$F_r = \frac{a^2 3\sqrt{3}}{2} + F_H, \quad (1)$$

ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ УСТАНОВКИ НА ТАНКЕРЕ «NSU KEYSTONE»

С. В. Виноградов, канд. техн. наук, проф.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
Ч. Х. Хоанг, преподаватель Вьетнамского морского университета, Хайфон,
К. Д. Нгуен, преподаватель Университета транспортных технологий, Ханой,

контакт. тел. +7(965) 451 4488, +7(491) 503 7588

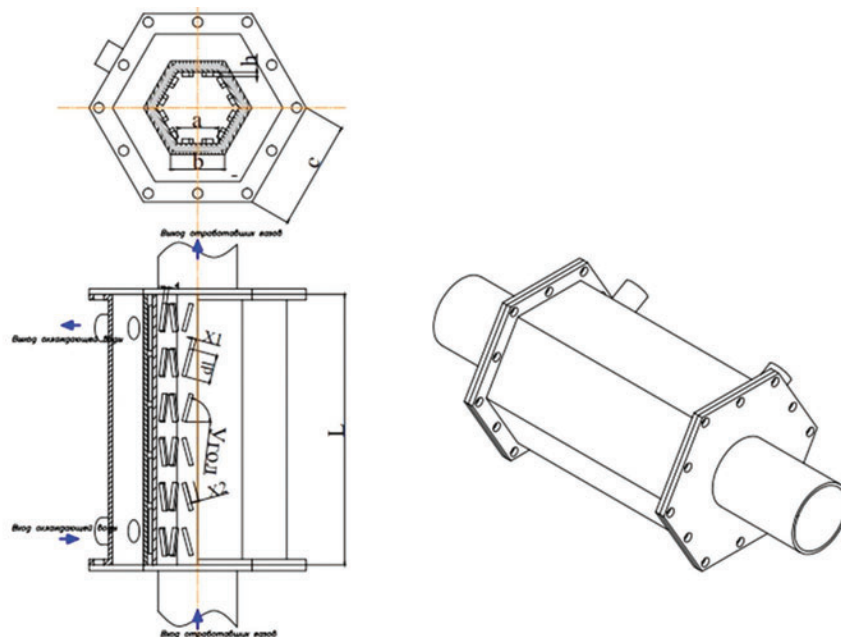


Рис. 1. Конструкция ТЭГ с интенсифицированной поверхностью теплообменника

где a – размер грани стенки горячего узла, м; F_H – площадь поперечного сечения наклонных пластин, м².

Площадь поперечного сечения наклонных плоскостей, м²,

$$F_H = 12h\delta \sin \theta, \quad (2)$$

где h – высота наклонной плоскости, м; δ – толщина вставки, м; θ – угол наклона плоскости.

Зазор между наклонными плоскостями

$$\delta_B = \frac{L - \delta \cdot N_r}{N_r - 1}, \quad (3)$$

где L – длина теплообменника, м; N_r – число наклонных плоскостей в ТЭГ.

Скорость газа, м/с,

$$\omega_r = \frac{G_r}{\delta_B h (N_r - 1)}, \quad (4)$$

где G_r – расход газа, кг/с.

Площадь поверхности теплообмена, м²,

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} + F_{пл}, \quad (5)$$

где $F_{пл}$ – площадь поверхности пластин. Число Нуссельта

$$Nu = 3,25 \cdot Re^{0,266} \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{0,072} \cdot \theta^{0,077}. \quad (6)$$

Конвективный коэффициент теплопередачи газа для увеличения теплообмена с поверхностью горячего теплоносителя [3]

$$\alpha_g = \frac{Nu_g \cdot \lambda_g}{d}, \quad (7)$$

где d – эквивалентный диаметр газохода, м; λ_g – средняя теплопроводность воздуха, Вт/(м·К), определяемая при t_r .

Из алгоритма (6) в сочетании с формулами (1)–(7) авторы строят программу, которая рассчитывает факти-



Рис. 2. Алгоритм для вычисления ТЭГ

ческую мощность и эффективность ТЭГ при установке на выхлопной трубе двигателя. Таким образом, этот метод позволяет определять геометрические параметры ТЭГ во время их проектирования и рабочие параметры для разных режимов [5].

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «CALCULATE AUTOMATICALLY – TEG»

Автоматическая программа расчета «Calculate Automatically–TEG» предназначена для того, чтобы сокра-

тить время и упростить расчеты при фактической установке ТЭГ на судах. Данная программа позволяет автоматически рассчитывать параметры ТЭГ. Построение графиков зависимости соотношения между параметрами ТЭГ (ток, напряжение, мощность, производительность КПД) с импедансом нагрузки потребления.

Системные требования для программы «Calculate Automatically–TEG»:

Тип устанавливаемой машины: Intel Pentium IV, 1024 Мб ОЗУ и выше.

Язык: С#

Тип и версия операционной системы: MS Windows 7/8/10.

Размер программы: 46,4 МБ (исходный код).

На рис. 3 показан программный интерфейс на английском языке.

Программа «Calculate Automatically–TEG» позволяет рассчитывать сбор данных судов через значок «Корабль» на интерфейсе. Здесь собраны данные о количестве судов, работающих в Каспийском море и Тихом океане, и показаны на рис. 4.

Для выполнения автоматических вычислений параметров ТЭГ при установке на судах необходимо определить входные значения. На рис. 3 показаны входные значения, которые следует ввести, и результаты выходных, которые необходимо вычислить.

Основные исходные данные для расчета:

- температура газа на входе ТЭГ $t_{г1}$, °C;
- температура газа на выходе ТЭГ $t_{г2}$, °C;
- расход газа $G_{г}$, кг/с;
- тепловой поток $Q_{г}$ к спаям термоэлементов от горячей стороны, Вт;
- высота наклонной плоскости h , м;
- соотношение между высотой наклона пластины и эквивалентным диаметром поверхности горячей ТЭГ h/d ;
- размер грани стенки горячего узла, a , м;
- угол наклона плоскости θ , °;
- длина теплообменника L , м;
- температура внутренней поверхности стенки горячего узла $t_{ст1}$, °C;
- температура воды на входе в ТЭГ $t_{в1}$, °C;
- температура воды на выходе в ТЭГ $t_{в2}$, °C;
- тепловой поток от спаев термоэлементов в охлаждающую среду $Q_{в}$, Вт;
- температура стенки со стороны воды $t_{ст2}$, °C;
- площадь поперечного сечения рубашки охлаждения F_b , м²;
- смоченный периметр Ω , м;
- диаметр газовыхлопной трубы d , м;
- количество последовательного соединения модулей n ;
- сопротивление нагрузки R_n , Ом;

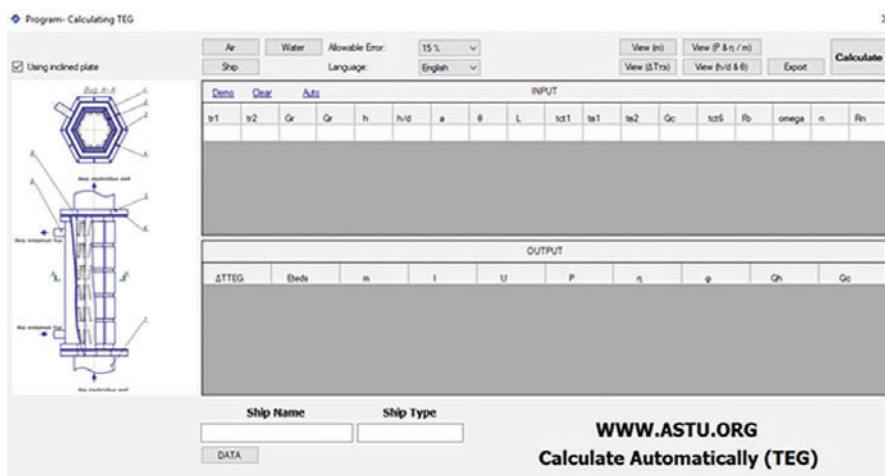


Рис. 3. Интерфейс программы «Calculate Automatically – TEG»

Name	Type	Image	Data
SLN-Gruppe ERAMET	Tanker	ships\SLN-Gruppe ERAMET\SLN-Group...	ships\SLN-Gruppe ERAMET\SLN-Group...
MV NSS HONESTY-M-E	Tanker	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV NSS Y...	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV NSS H...
MV NSU JUSTICE	Tanker	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV NSU J...	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV NSU J...
MV NSU KEYSTONE	Tanker	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV NSU K...	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV NSU K...
MV NSU_MILESTONE	Tanker	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV NSU_...	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV NSU_...
MV Омский-143	Tanker	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV Омски...	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV Омски...
MV Казань сити	Tanker	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV Казан...	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV Казан...
MV Композитор Гасанов	Tanker	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV Компо...	ships\SLN-Gruppe ERAMET\MV Компо...

Рис. 4. Данные о судах, работающих в Каспийском море и Тихом океане

☒ Using inclined plate

Air Water Allowable Error: 15 %

Ship Language: English

View (m) View (P & η / m) View (ΔT_{ts}) View (h/d & θ) Export Calculate

Demo Clear Auto

INPUT																	
tr1	tr2	Gr	Gr	h	h/d	a	θ	L	tct1	ts1	ts2	Qc	tct5	Fb	omega	n	Rn
400	286	28.7	447.35	0.1	0.095	0.56	15	7	287	30	39.5		112	1.237	3.42	1000	6000
400	286	22.8	445.35	0.1	0.095	0.56	15	7	278	30	39		106	1.237	3.42	1000	12000
400	286	19.5	435.11	0.1	0.095	0.56	15	7	273	30	37.8		101	1.237	3.42	1000	24000
400	286	16.5	451.57	0.1	0.095	0.56	15	7	267	30	36.5		99	1.237	3.42	1000	36000
400	286	12.5	437.52	0.1	0.095	0.56	15	7	254	30	35		6.7	1.237	3.42	1000	42000

OUTPUT									
ΔTTEG	Ebeds	m	l	U	P	η	φ	Qh	Qc
106.25	112	0.704	0.7	26285	18.4	0.063	0.2408	292063	292000
101.34	109	0.98	0.64	26875	17.9	0.061	0.2508	293442	293127
98.32	103	1.16	0.58	28965	15.1	0.057	0.2508	264912	264715
90.14	98	1.34	0.53	30000	13.27	0.067	0.2458	198059	198000
87.67	96.5	1.87	0.43	33255	12.9	0.059	0.2408	218644	218321

Ship Name: MV NSU KEYSTONE Ship Type: Tanker

DATA

WWW.ASTU.ORG
Calculate Automatically (TEG)

Рис. 5. Интерфейс расчета ТЭГ с параметрами, установленными на судне «NSU Keystone»

- отношение сопротивлений нагрузки и модулей m .

Основные результаты расчета:

- сила тока в цепи I , А;
- напряжение на нагрузке U , В;
- мощность, отдаваемая во внешнюю цепь ТЭГ P , кВт;
- КПД термоэлектрического генератора η ;
- конструктивные и электрические характеристики генераторных модулей.

ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТОВ ДЛЯ СУДОВ

На основе анализа конструкций ТЭГ и теории для расчета параметров, связанных с ТЭГ в исследовании были проведены расчеты ТЭГ для ряда судов, работающих в Каспийском море и в Тихом океане (рис. 4). Расчеты выполнялись с помощью программы «Calculate Automatically-TEG», в которой записываются

параметры и размеры судна, а также конструкция выхлопной трубы дизельного двигателя.

Расчет начинается с определения геометрических параметров при работе в номинальном режиме ГД. Конструктивные параметры ТЭГ – это длина поверхности теплообменника L , размер поверхности горячего узла a , размерная граница холодного узла b , размер грань кожух c (рис. 3). Далее вычисляется количество модулей теплоты N_m , номер детали N_d , электрические параметры и температура ТЭГ.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ТЭГ ДЛЯ СУДНА «NSU KEYSTONE»

Наибольшая грузоподъемность M/V «NSU KEYSTONE» – 207,684 DWT. Это большое судно транспортной компании VINIC, которая была основана во Вьетнамском морском университете Хайфонг. Ниже приведены основные технические характеристики M/V «NSU KEYSTONE», и характеристики двигателя MITSUI MAN B & W 6S70ME-C8.2.

В состав газовой выхлопной системы ГД входят трубопровод с внутренним диаметром 1,49 м и внешним диаметром 1,6 мм, тепловые компенсаторы, утилизационный паровой котел «MIURA-GK-2734-1500/1500».

На рис. 5 приведены параметры ТЭГ при установке за утилизационным котлом (УК).

На основании полученных результатов расчетов можно сделать следующие выводы: использование интенсифицированной поверхности теплообмена при применении наклонных поверхностей

Основные технические характеристики судна

Параметр	Величина
Длина максимальная, м	290,95
Длина между перпендикулярами, м	260,74
Ширина, м	50
Высота борта, м	60
Дедвейт, т	207,684
Объем грузовых трюмов, т	207,684
Количество трюмов	9
Объем балластных танков, т	107,222
Класс Российского морского регистра судоходства	Panama- IMO No: 9641883
Мощность и тип ГД, кВт	MITSUI MAN B&W 6S70ME-C8.2 (19,620 кВт x 91 min-1)
Скорость, уз (при осадке 4,7 м и 85% МДМ)	17

Технические характеристики двигателя ГД MITSUI MAN B&W 6S70ME-C8.2

Система выхлопных газов

Параметр	Величина
Расход, кг/с:	
при 100%-ной нагрузке	28,7
при 85% нагрузке	22,8
при 75% нагрузке	19,5
Температура после турбокомпрессора, °C	
при 100%-ной нагрузке (TE517)	365
при 85%-ной нагрузке (TE517)	332
при 75%-ной нагрузке (TE517)	216

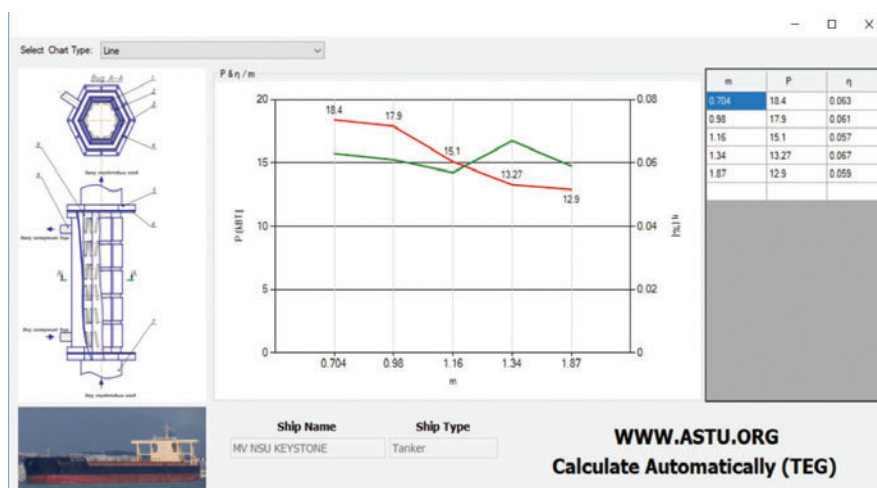


Рис. 6. Интерфейс графиков зависимости между P и t

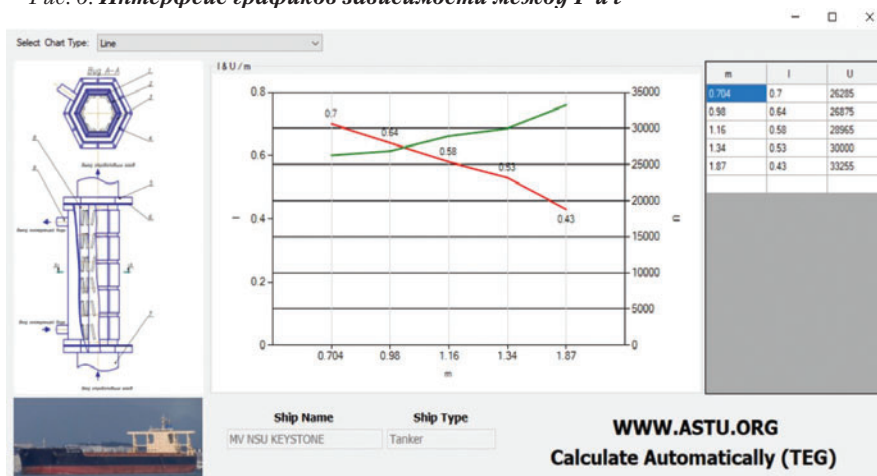


Рис. 7. Интерфейс графиков зависимости U , I и t

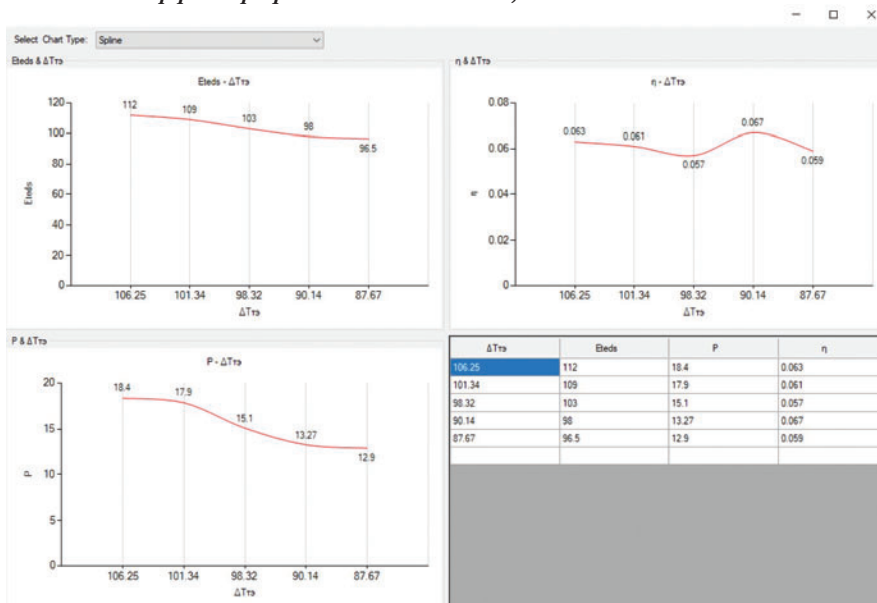


Рис. 8. Графики зависимости $E_{TЭГ}$, P и $T_{TЭГ}$

позволяет повысить эффективность работы ТЭГ.

При работе ТЭГ, установленного после ГД, увеличились расчетные показатели по сравнению с базовой конструкцией, (см. рис. 6–8), КПД – на 6,7%, мощность – на 18,4 кВт, а температура выхлопных газов на выходе из ТЭГ снизилась на 1%. Скорость газов увеличилась на 12%, но ее значение находится в допустимых пределах, что позволяет сделать вывод о том, что установка наклонных поверхностей не приводит к значительному аэродинамическому сопротивлению газовыхлопной системы. Температура между горячей и холодной поверхностями также изменяется и влияет на P , КПД, $E_{TЭГ}$ (см. рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена проблема увеличения технико-экономических показателей ТЭГ с помощью поверхностного улучшения теплопередачи.

В статье представлена новая конструкция ТЭГ с наклонными пластинами, спроектированная в программе «Calculate Automatically–TEG».

Расчеты по программе показывают, что мощность ТЭГ для судна «NSU Keystone» достигла максимального значения 18,4 кВт, а максимальный КПД составляет 6,7%.

Как показали исследования, ТЭГ создает предпосылки для строительства и развития чистых источников электроэнергии на судах, в том числе компании VINIC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт РМРС, разд. «Регистровая книга судов» – Режим доступа <http://www.rs-head.spb.ru/ru/regbook/>.
2. MAN B&W S70MC–C8.2 – IMO Tier II Project Guide – Engineering the Future since 1758 / MAN Diesel & Turbo (2014) 348.
3. Виноградов С. В., Халыков К. Р., Нгуен К. Д. Методика расчета и оценки параметров экспериментального термоэлектрического генератора // Вестник АГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2011. – № 1. – С. 84–91.
4. Виноградов С. В., Халыков К. Р., Нгуен К. Д., Корниенко Е. Г., Слепухин С. А. Патент № 108214 РФ, МПК H01L 35/02. Устройство для утилизации теплоты отработавших газов в судовых энергетических установках. Оpubл. 10.09.2011 // Бюл. № 25.
5. Ravikumar N., Ramakrishna K., Sitaramaraju A. V. Thermodynamic Analysis of Heat Recovery Steam Generator in Combined Cycle Power Plant, Thermal Science/ – 2007. – Vol. 11. – №4. – P. 143–156.

АО «Компрессор» основано в 1877 г., с 20-х гг. прошлого столетия завод становится ведущим предприятием в стране, поставляющим компрессорное оборудование на все корабли и суда СССР. В 1959 г. создано Центральное конструкторское бюро «Компрессор», до настоящего времени являющееся головным разработчиком специальных систем и компрессорного оборудования воздуха высокого давления, дизель-компрессоров и специальных газовых компрессоров для кораблей и подводных лодок ВМФ. Предприятие имеет успешный опыт разработки, изготовления, поставок, сервисного обслуживания и эксплуатации компрессорного оборудования для Министерства обороны РФ, ПАО «Газпром» и ГК «Росатом».

АО «Компрессор» – высокотехнологичное предприятие, имеющее в своем составе центральное конструкторское бюро, производственные цеха, испытательные стенды и склады. Сервисная служба оказывает весь спектр услуг по пуско-наладке, шеф-монтажу, сервисному и гарантийному обслуживанию, ремонту и обучению.

Компрессорное оборудование АО «Компрессор» надежно работает на кораблях ВМФ различных классов, а также было успешно применено в составе наземных сооружений ВМФ и Министерства – базы в п. Гаджиево и г. Вилючinsk, эксплуатируется на космодромах «Восточный», «Байконур» и «Плесецк», на атомных электростанциях «Бушер» и «Куданкулам».

АО «Компрессор» проектирует и производит большую номенклатуру блочного компрессорного оборудования для ПАО «Газпром», поршневые и винтовые компрессоры, азотные установки, установки подготовки топливного, пускового и импульсного газа блочные дожимные компрессорные станции, блочные воздушные компрессорные станции, оборудование установлено и надежно работает на компрессорных станциях магистральных газопроводов Ухта–Торжок, Бованенково–Ухта, Северо-Европейский газопровод, Южный поток. В организации внедрена система менеджмента качества, сертифицированная в СДС «ИНТЕР-ГАЗСЕРТ» на соответствие СТО Газпром 9001–2012. По итогам выездной проверки (аудита), проведенной специалистами АО «ОСК» совместно с представителями обществ Группы ОСК с 24 по 24 октября 2018 г., АО «Компрессор» отнесено к категории «А» – предприятие с низкой степенью риска.

АО «Компрессор» изготавливает большую номенклатуру серийных дожимающих компрессоров для природного газа (ДКУ) [1–3] однорядных (рис. 1), двухрядных (рис. 2), трехрядных W-об-

ЭФФЕКТИВНЫЕ ДОЖИМНЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ НА ОБЪЕКТАХ ВМФ, НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА И ЭНЕРГЕТИКИ

Л.Г. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., ген. конструктор, председатель Совета директоров,

Ю.Л. Кузнецов, канд. техн. наук, зам. ген. директора,

А.В. Бураков, начальник ЦКБ,

А.С. Перминов, начальник отдела,

А.В. Тикалов, вед. инженер, АО «Компрессор»,

контакт. тел. (812) 295 5090

разных, четырехрядных 2V-образных, применяемых для подготовки буферного природного газа СГУ ГПА, а также в качестве компрессора для АГНКС, компрессоров для закачки ПАГЗ.

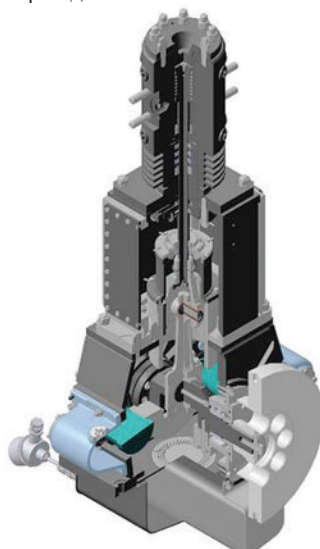


Рис. 1. Дожимная компрессорная установка бессмазочная однорядная

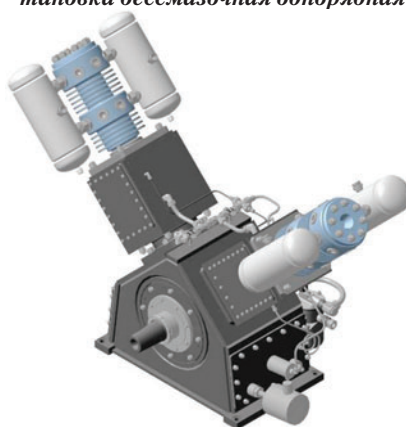


Рис. 2. Дожимная компрессорная установка бессмазочная двухрядная

Для нужд ВМФ и нефтегазового сектора и энергетики АО «Компрессор» разработало четырехрядный поршневой компрессор с вертикальным расположением коленчатого вала (рис. 3, 4) [4]. Компрессор предназначен для сжатия воздуха или газа до конечного давления

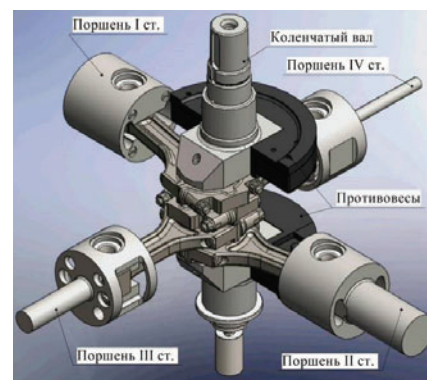


Рис. 3. Механизм движения четырехрядного компрессора с вертикальным коленчатым валом

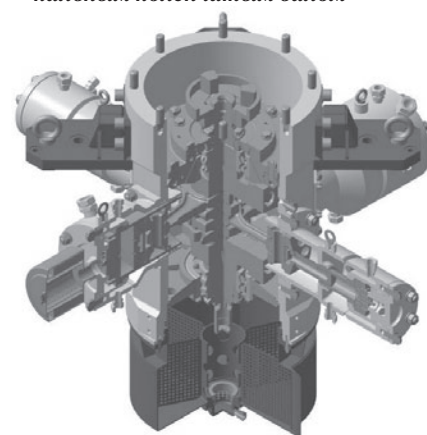


Рис. 4. Разрез четырехрядного компрессора с вертикальным коленчатым валом

24,5 МПа, осушенного и очищенного до требуемых параметров. Может использоваться в качестве компрессора сжимающего воздух от атмосферного давления, а также в качестве дожимающего компрессора. В зависимости от различной среды, производительности, входного и выходного давления на разработанной компрессорной базе возможно создание компрессоров мощностью 18–55 кВт.

Данная конструкция позволяет достичь высокой уравновешенности компрессора и существенно снизить динамические нагрузки на фундамент, что дает возможность размещать оборудование

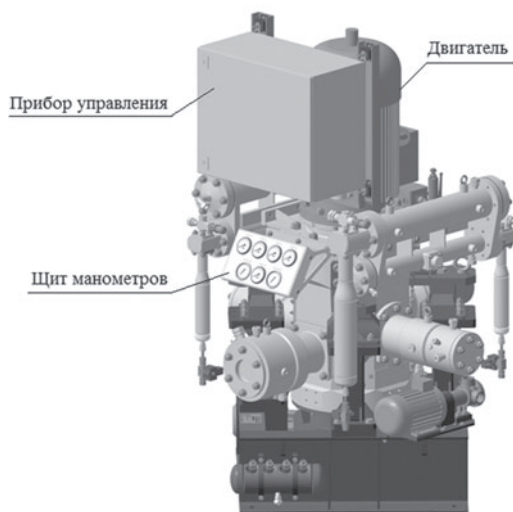


Рис. 5. 3D-модель четырехрядного электрокомпрессора с вертикальным валом

без дополнительных усилений основания, обеспечивая низкий уровень вибраций и шума.

Уникальный вертикальный дизайн компрессора (рис. 5) специально разработан для систем сжатия газа и устанавливается на объектах, где есть ограничения по площади, что позволяет размещать его в блок-боксах малого объема и промышленных помещениях с ограниченной площадью, небольших автотранспортных предприятиях и на автотранспорте.

Компрессор имеет конструкцию, удобную для технического обслуживания (возможность демонтажа и замены узлов). Локальный блок управления размещается на компрессоре и предназначен для контроля основных параметров.

Для нужд ВМФ и нефтегазового сектора и энергетики АО «Компрессор» разработало и готово поставлять азотные установки [5, 6] с приемкой Российским морским регистром судоходства со следующими диапазонами рабочих параметров:

– для патрульных ледоколов пр. 23550 – МАУК20/99/250 (рис. 6, 9). Чистота азота – 99%, давление –

25 МПа, производительность – 20 нм³/ч;

– для авианесущих кораблей (типа пр. 11435), применения в корабельной газовой системе, заполнения баков самолетов азотом высокой чистоты с низким влагосодержанием – МАУК20/99/350. Чистота азота – 99%, давление – 35 МПа, производительность – 20 нм³/ч, влагосодержание обеспечивается дополнительным блоком осушки 29БО-1/350.

Одним из основных элементов азотной установки является малогабаритный бустер – дожимающий компрессор (рис. 7), обеспечивающий сжатие азота от 1,0 до 25–35 МПа.

Бустеры ДКУ (рис. 8) созданы на базе серийных компрессоров сжатого

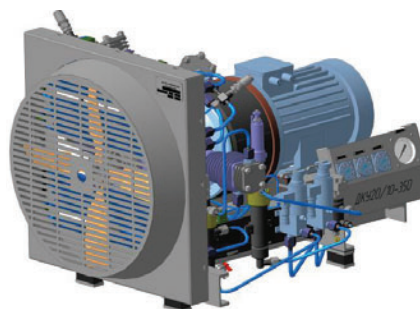


Рис. 7. 3D-модель четырехрядного бустера на раме



Рис. 8. 3D-модель компрессорной части четырехрядного бустера



Рис. 6. Мембранная азотная установка МАУК20/99/250 (вид спереди)

Таблица
Технические характеристики азотных малогабаритных электрокомпрессоров типа ДКУ

Характеристика	Значение характеристики ДКУ		
	ДКУ20/10-250	ДКУ20/10-350	ДКУ36/4-200
Рабочая среда	Азот, аргон, воздух	Азот, аргон, воздух	Азот, аргон, воздух
Производительность, нм ³ /ч	20	20	36–38
Начальное давление, МПа	0,8–1,2	0,8–1,0	0,3–0,5
Конечное давление, МПа	200–250	350	200–250
Мощность на электродвигателе, кВт	7,5	18	15
Масса в рабочем состоянии, кг	320	360	350
Габаритные размеры, мм: длина × ширина × высота	1100×800×750	1150×815×810	1200×815×810

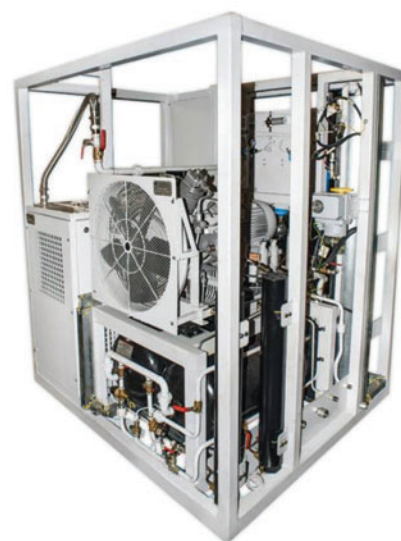


Рис. 9. Дожимающий компрессор ДКУ в составе азотной установки МАУК

воздуха высокого давления. Эффективное сжатие газа в данной области параметров возможна только с применением поршневых компрессоров (рис. 9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ №90505. Газодожимная установка газокomppressorной станции магистрального газопровода // Публ. 10.01.2010 г.
2. Патент РФ №95762. Установка для подготовки и подачи буферного газа // Публ. 10.07.2010 г.
3. Патент РФ №157454. Газодожимная установка газокomppressorной станции магистрального газопровода // Публ. 10.12.2015 г.
4. Патент РФ №173811. Поршневой компрессор // Публ. 12.09.2017 г.
5. Патент РФ №180075. Азотная компрессорная установка // Публ. 01.06.2018г.
6. Патент РФ №183558. Азотная компрессорная установка // Публ. 25.09.2018 г. ■

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие как мирового, так и отечественного судостроения, вместе с которым развиваются и сопутствующие сектора машиностроения, в том числе и арматуростроение. Объектом исследования данной работы стало испытание на прочность, герметичность и работоспособность дискового затвора с применением технологии нанесения на седло покрытия на никелевой основе ПР-НД40 детонационным методом, разработанным представителями НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей».

На АО «Армалит» разработана линейка трехэксцентриковых дисковых затворов. Основными особенностями данного изделия являются:

- увеличение срока службы в 2 раза по сравнению с аналогами;
- обеспечение бесперебойной работы в экстремальных условиях (высокие и низкие температуры, агрессивные среды, наличие абразивных частиц);
- наличие исполнения «металл по металлу», которое обеспечивает герметичность класса «А» по ГОСТ 9544–2015;
- возможность сервисного обслуживания в условиях эксплуатации.

На рис. 1 представлен дисковый затвор с пневмоприводом.

Современная судовая трубопроводная арматура должна полностью соответствовать всем предъявляемым к ней требованиям и удовлетворить потребности проектно-конструкторских бюро судостроительной отрасли [1].



Рис. 1. Общий вид дискового затвора с пневмоприводом

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАПОРНОГО ТРЕХЭКСЦЕНТРИКОВОГО ДИСКОВОГО ЗАТВОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕТОНАЦИОННОГО МЕТОДА НАНЕСЕНИЯ

В.С. Земко, инженер-химик,
Г.А. Трач, вед. специалист отдела регулирующей арматуры, АО «Армалит»,
Р.Р. Мусакулов, начальник участка газотермических покрытий НПЭК,
НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей»,
контакт. тел. (812) 459 4507

Наиболее важными характеристиками для судовой арматуры являются прочность деталей, проводимая среда, скорость и рабочее давление среды, режим и ресурсная характеристика, т.е. долговечность (срок службы до списания дисковых затворов не менее 40 лет).

В ходе испытаний был проведен ряд научно-исследовательских работ, направленных на повышение технического уровня и улучшение ресурсных показателей трехэксцентриковых дисковых затворов.

В соответствии с требованиями заказчика была поставлена задача по улучшению технологических параметров с целью увеличения прочности дисковых затворов и их долговечности.

Совместно с представителями НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей» был создан опытный образец затвора дискового фланцевого бронзового DN 250, PN 10 (рис. 2) с применением технологии нанесения на седло покрытия на никелевой основе ПР-НД40 детонационным методом, разработанным НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей».

Детонационно-газовый метод напыления — один из видов газотермического нанесения покрытий, использующих энергию горючих газов (в основном пропан-бутана) в смеси с кислородом, а также со сжатым воздухом (азотом, аргонном). Впервые патент на изобретение был получен полвека назад [2]. Этот метод (с использованием энергии взрыва газовых смесей) является циклическим процессом, обладает высокой удельной мощностью и значительным упрощением преобразования энергии в полезную работу. Преимуществами детонационного метода напыления являются:

- высокая адгезия покрытия (80–250 МПа);
- низкая пористость покрытия (0,5–1%);
- отсутствие деформации напыляемой детали.

Благодаря высокой скорости напыляемых частиц (600–1000 м/с) детонационные покрытия обладают плотностью, близкой к плотности спеченного материала и высокой адгезией. Детонационное напыление позволяет напылять широкий круг материалов: металлы и их сплавы, оксиды, твердые сплавы на основе карбидов. При этом нагрев напыляемого изделия незначителен. В результате детонационного напыления образуется покрытие, которое обладает высокой твердостью и износостойкостью после шлифовки с низким коэффициентом трения. Функциональное назначение детонационного напыления — это защита от износа, коррозии, повышение жаростойкости, изоляция токопроводящих материалов, восстановление изношенных деталей. Благодаря высокой плотности и адгезии, получаемым детонационным способом, покрытия широко применяются в авиации, автомобильной и других областях машиностроения.

Детонационное напыление на детали дискового затвора проводилось на испытательной площадке ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», на установке «АДК-Прометей». Покрытие наносится детонационной пушкой, в которой продукты взрыва имеют температуру до 4000 °С и вылетают из ствола со скоростью более 1 км/с. Такой газовый поток разогревает частицы введенного в ствол порошка до плавления и метает их с большой скоростью на деталь, установленную перед стволом пушки. При столкновении происходит микросварка, и порошок прочно (на молекулярном уровне) соединяется с поверхностью детали [3].

Общие требования к детонационным покрытиям изложены в стандарте [4]. Покрытие должно быть равномерным, без трещин, раковин, сколов, отслоений (вздутий). Требования к однородности покрытия по цвету устанавливают в нормативно-технической документации на конкретное изделие. Толщина, проч-

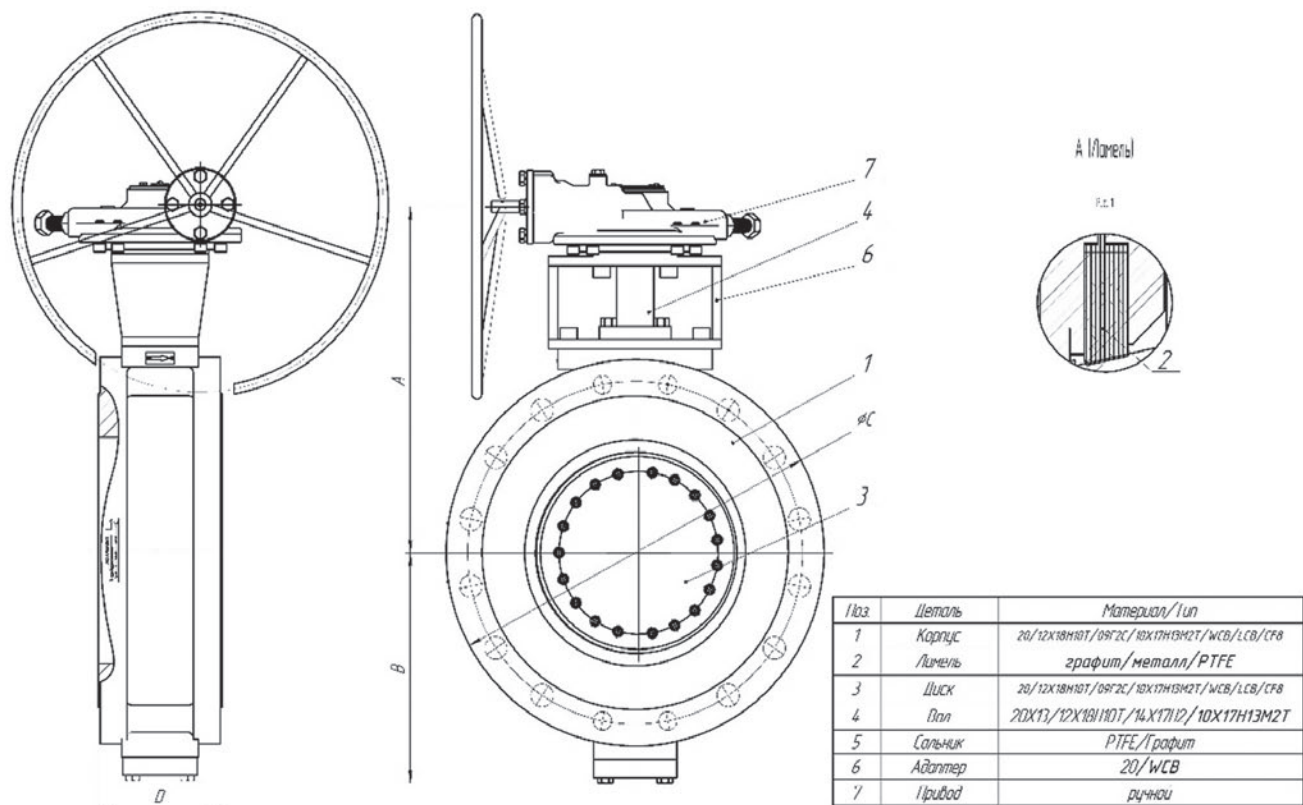


Рис. 2. Чертеж дискового затвора с редуктором

ность сцепления, термостойкость, жаростойкость, твердость, пористость, износостойкость, коррозионная стойкость покрытия и т.д. должны соответствовать требованиям нормативно-технической документации на конкретное изделие.

Описание некоторых общепринятых методов испытания покрытий можно найти в работе Е.А. Астахова [5].

Выбор наносимого на детали дискового затвора покрытия был сделан именно в пользу порошка на никелевой основе ПР-НД40, так как это покрытие обладает оптимальной твердостью и прочностью сцепления.

В центральной заводской лаборатории предприятия АО «Армалит» проводились испытания на приборе ПМТ-3 на микротвердость покрытия ПР-НД 40, нанесенного на бронзу марки БрАЖНМц 9-4-4-1. Она составляла порядка $H_v = 261 \text{ кгс/мм}^2$, что выше микротвердости до нанесения покрытия $H_v = 231 \text{ кгс/мм}^2$. Следовательно, микротвердость повысилась на 15–20%.

Толщина наносимого покрытия до механической обработки составляла 800 мкм, а после – 300 мкм. Шероховатость покрытия, согласно КД, была равна $R_a = 0,8 \text{ мкм}$.

Было проведено предварительное испытание опытного образца затвора дискового фланцевого бронзового DN 250, PN 10 с нанесенным на седло

покрытием на никелевой основе ПР-НД40 на гидравлическом стенде с давлением рабочей среды $P = 200 \text{ кгс/см}^2$, что соответствует нормативным требованиям ТУ. Опытный образец дискового затвора показал высокие характеристики и прошел успешные испытания на прочность и плотность, герметичность и работоспособность, а также вибрационные испытания. Чертеж дискового затвора с редуктором представлен на рис. 2.

Общие параметры опытного испытываемого образца представлены в табл. 1.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Испытания на прочность и плотность материала деталей, воспринимающих давление проводимой среды, проводят водой давлением 1,5 МПа (15 кгс/см²). Подача среды – в патрубок под

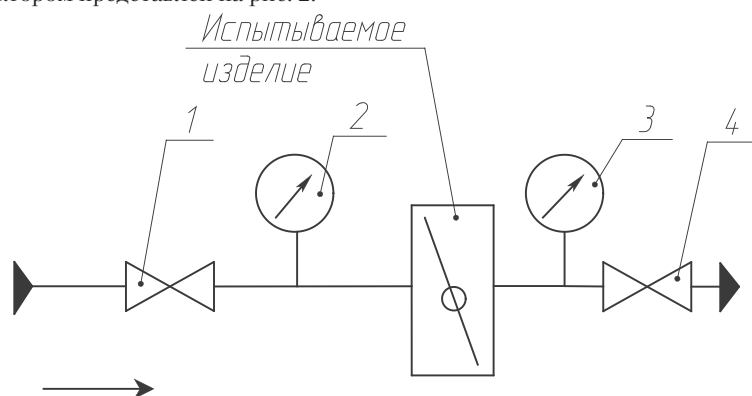


Рис. 3. Схема испытаний затворов
1,4 – затвор запорный, 2,3 – манометр

Основные параметры опытного испытываемого образца

Наименование и обозначение	Номинальный диаметр DN, мм	Номинальное давление PN, МПа	Пробное давление $P_{пр}$, МПа	Масса, кг, не более
Затвор дисковый фланцевый бронзовый DN 250, PN 10	250	1,0	1,5	110

Таблица 1

Критерии оценки прочности и плотности материала деталей опытного образца затвора дискового межфланцевого бронзового DN 250, PN10

Таблица 2

Оцениваемый показатель	Критерии оценки	Оценка опытного образца дискового затвора
Прочность	Отсутствие видимых остаточных деформаций при установившемся давлении	Отсутствие
Плотность	Отсутствие течи или «потения» через металл	Отсутствие

Критерии оценки герметичности затвора

Таблица 3

Оцениваемый показатель	Испытательная среда	Критерии оценки
Степень герметичности разъемов проточной части относительно внешней среды	Вода давлением 1,25 МПа (12,5 кгс/см ²)	Отсутствие видимых следов воды в местах разъемов (уплотняемых стыках).
Степень герметичности затвора при прямой подаче испытательной среды	Вода давлением 1,25 МПа (12,5 кгс/см ²)	Отсутствие видимых утечек. Для затворов с металлическими уплотнительными поверхностями появление в течение 5 мин росы и нестекающих капель нарушением герметичности не считается.
Степень герметичности затвора при обратной подаче испытательной среды	Вода давлением 0,9 МПа (9,0 кгс/см ²)	Отсутствие видимых утечек. Для затворов с металлическими уплотнительными поверхностями появление в течение 5 мин росы и нестекающих капель нарушением герметичности не считается.

Критерии оценки вибропрочности опытного образца затвора дискового межфланцевого бронзового DN 250, PN10

Таблица 4

Оцениваемый показатель	Критерии оценки	Оценка опытного образца дискового затвора
Определение резонансных частот	Наличие или отсутствие резонансных колебаний	Отсутствие
Вибропрочность	Не должно быть резонансных колебаний, нарушающих нормальную работу изделия, самоотвинчивания резьбовых соединений, деформации и разрушения деталей, нарушения герметичности запорного органа и мест соединений.	Отсутствие

запорный орган предварительно открытого затвора, при этом другой патрубок должен быть заглушен. Из внутренних полостей должен быть удален воздух. Установочное положение затвора любое. Испытаниям подвергают как отдельные узлы (в соответствии с требованиями рабочих чертежей), так и затвор в сборе.

ПРОВЕРКА ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЗАТВОРА

Одним из важных критериев для судовой трубопроводной арматуры – герметичность. Степень герметичности разъемов проточной части относительно

но внешней среды показала отсутствие видимых следов воды в местах разъемов (уплотняемых стыков), а также отсутствие утечек при прямой и обратной подаче испытательной среды.

ПРОВЕРКА ЗАТВОРА НА ВИБРОПРОЧНОСТЬ

Были проведены и испытания на вибропрочность. Перед испытаниями затвор заполняли рабочей средой без избыточного давления, запорный орган затвора устанавливали в закрытое положение. Испытания проводились на частоте 30 Гц в течение 90 минут. Время испытаний распределялось равномерно

между испытательными положениями привода на стенде.

Оценка опытного образца затвора дискового межфланцевого бронзового DN 250, PN10 показала отсутствие резонансных колебаний.

Образец затвора дискового фланцевого бронзового DN 250, PN10 с нанесенным на седла покрытием ПР-НД40 успешно прошел испытания на работоспособность, выдержав 1500 циклов и дополнительно 500 циклов в воде с абразивными частицами. В качестве абразива использовали смесь от шлифовального круга и смазки «Литол» с размером твердых частиц 0,2 мм. Учитывая все данные проведенной работы, можно сделать вывод о том, что такой вид обработки (в том числе нанесение покрытия порошка на никелевой основе ПР-НД40 детонационным методом) эффективен и дает возможность увеличить ресурс изделия.

На основании полученных результатов АО «Армалит» рассматривает возможность применения данного метода уплотнения поверхности и при изготовлении других типов трубопроводной арматуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смаковский М. С. Основные направления модернизации технологических процессов и изготовления судовой трубопроводной арматуры в ОАО «Армалит-1» // Морской вестник. – 2012. – №9. – С.49–51.
2. Poorman R. M., Sargent H. B., Lamprey H. Method and Apparatus Utilizing Detonation Waves for Spraying and other Purposes. – US Patent No. 2714563, Aug. 2, 1955.
3. Ульяницкий В. С., Ненашев М. В., Калашников В. В., Ибатуллин И. Д., Ганигин С. Ю., Якунин К. П., Рогожин В. П., Штерцер А. А. Опыт исследования и применения технологии нанесения детонационных покрытий // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12. – № 1(2). – С.569–576.
4. ГОСТ 27953-88. Покрытия детонационные. Общие требования.
5. Астахов Е. А. Научно-технологические основы управления свойствами детонационных покрытий: Дис. д-ра техн. наук: 05.03.2006 / НАН Украины; Институт электросварки им. Е. О. Патона. – Киев, 2005. – 382 с. ■

Основная тенденция судостроения в настоящее время характеризуется появлением новых типов морских автономных подвижных объектов (АПО). Наряду с обычными водоизмещающими судами и подводными аппаратами созданы суда с динамическими принципами поддержания, глубоководные стабилизируемые аппараты. Некоторые традиционные АПО используются в необычных режимах. Примерами этого являются буровые суда, комплексы для проведения научно-исследовательских, геолого-географических, поисково-разведочных работ и добычи полезных ископаемых на шельфе и в океане [1].

Для новых типов АПО автоматическое управление движением приобретает особое значение и оказывается необходимым для обеспечения высокой эффективности их функционирования и безопасности [2].

Важнейшая составляющая АПО – бортовой комплекс управления (БКУ). На него возлагаются функции управления ориентацией и стабилизацией АПО, управления целевым оборудованием, энергопитанием, связью с наземными комплексами. Помимо этого БКУ должен осуществлять оперативный анализ структурно-параметрических отклонений состояния бортовых систем АПО от нормы, вырабатывать решение о компенсации (парировании) этих отклонений с целью сохранения работоспособного состояния или управления постепенной деградацией технического состояния АПО [3].

Задача создания современных высоконадежных образцов АПО чрезвычайно злободневна. В условиях интенсивного усложнения АПО при сокращении сроков изготовления БКУ операции их контроля и диагностики на различных этапах изготовления и эксплуатации становятся определяющими. Таким образом, повышение качества изготавливаемых изделий при одновременном снижении трудоемкости их контроля становится решающим фактором. В этом случае достижение поставленной цели возможно только на основе автоматизации операций контроля изготовленной аппаратуры АПО, тем более что доля трудоемкости контрольных операций в современных технологических процессах изготовления аппаратуры управления АПО достигает 25% [4].

Как показывает практика, основную сложность создания современных БКУ для АПО представляет создание системы контроля и диагностики (СКД). Затраты на создание и отработку СКД составляет более половины затрат на создание БКУ для АПО [5].

В состав БКУ АПО (рис. 1), как правило, входят [6]:

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОНОМНОГО ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Д.А. Кондратьев, начальник лаборатории,
Ю.В. Романова, начальник бюро, АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. (812) 445 0829

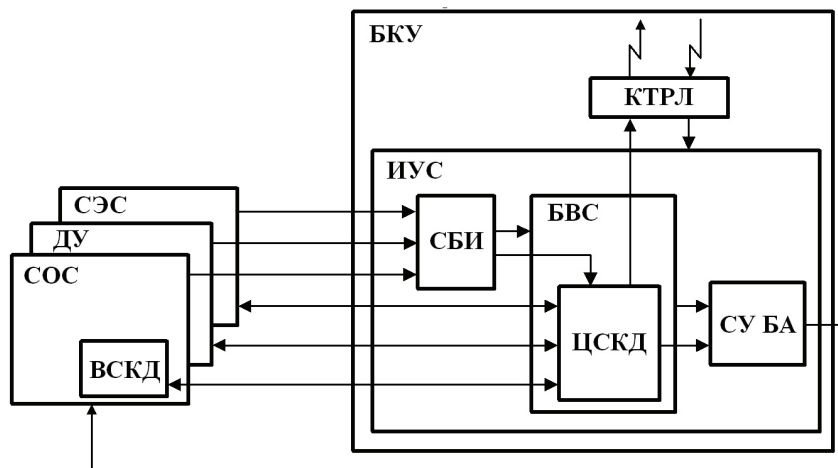


Рис. 1. Функциональная схема БКУ АПО

- информационно-управляющая система (ИУС), состоящая из бортовых вычислительных средств (БВС), средств бортовых измерений (СБИ), средств управления бортовой аппаратурой (СУ БА);
- бортовая аппаратура командно-теlemetry радиопередающей линии (КТРЛ);
- программное обеспечение (ПО) БКУ;
- СЭС – системы электроснабжения;
- ДУ – двигательная установка;
- СОС – система ориентации и стабилизации.

Автономное решение задач контроля и диагностирования аппаратуры управления АПО возлагается на встроенную СКД. Для обеспечения заданной полноты контроля (как правило, не ниже 0,95 [1]) используется следующая архитектура уровней построения средств контроля и диагностирования БКУ:

- 1) программные и аппаратные средства БВС – центральные средства контроля и диагностирования (ЦСКД);
- 2) встроенные средства контроля и диагностирования (ВСКД).

ВСКД должны оценивать техническое состояние отдельных функциональных модулей (приборов, систем, каналов) перед включением их в работу, контролировать правильность их функционирования по целевому назначению и выдавать контрольную информацию в ЦСКД.

Целью разработки СКД БКУ является обеспечение автоматизированно-

го контроля и локализации неисправностей бортовых систем изделий всех комплектаций и серий изготовления на различных этапах их жизненного цикла.

СКД предназначается для проверки как всего комплекса БКУ, так и его отдельных частей:

- бортовой аппаратуры системы управления;
- систем электрооборудования (включающих линии связи, цепи пиротехнических средств и их нити накала, а также автоматику маршевого двигателя);
- цепей и электронных устройств специального снаряжения;
- телеметрической аппаратуры с аппаратурой внешне траекторных измерений.

СКД должна осуществлять контроль бортовых систем изделий:

- на заводах-изготовителях отдельных систем и изделия в целом (в составе соответствующих заводских стендов входного контроля, регулирования и приемосдаточных испытаний);
- на объектах обеспечения и подвижных базах в условиях макроклиматических зон и районов с холодным и тропическим влажным климатами, имеющим соответствующие климатогаммы по осадкам, температуре, влажности и солнечной экспозиции, согласно ГОСТ24482–80 с учетом требований, отраженных в техническом задании на ее разработку.

СКД предназначена для проверки аппаратуры БКУ изделия в объеме и с точностью, обеспечивающими высокую достоверность (не ниже 0,99) правильного заключения об их работоспособности, в том числе способности систем к штатному взаимодействию между собой в составе изделия, а также их готовности к дальнейшей эксплуатации.

Значение вероятностей ложных и необнаруженных отказов за счет ошибок контроля должно быть не более 0,01 и подтверждено на этапе натуральных испытаний. Должны быть предусмотрены меры, исключающие выход из строя бортовой аппаратуры изделия при возникновении неисправностей в СКД.

Необходимый объем контролируемых параметров, допуски на них и методики контроля определяются разработчиками проверяемых систем и согласовываются с заинтересованными организациями на этапе рабочего проектирования с возможным уточнением на последующих этапах.

СКД должна обеспечивать автоматическую проверку систем изделия по единой программе во всех местах эксплуатации с помощью кабелей и жгутов, подключаемых через бортовые разъемы. По этим кабелям осуществляется подача питания на изделие, а также все командное и информационное взаимодействие в ходе проведения его проверок.

При этом должен быть обеспечен режим передачи в бортовую цифровую вычислительную систему массивов информации, предназначенных для работы штатных бортовых программ и программ самоконтроля бортовых систем, запуск данных программ, а также съем результатов самоконтроля систем изделия.

Должны быть предусмотрены: условия проверки по обнаружению неисправности бортовых систем изделия, возможность дальнейшего продолжения проверки по указанию оператора, а также выборочная проверка любой из систем изделия и выполнение отдельных участков (шагов) программы.

СКД должна обеспечивать возможность локализации неисправностей изделий в условиях эксплуатации с точностью до одной сменной компоненты из состава ЗИП (уровень компонент разный для разных этапов производства, эксплуатации и стадий жизненного цикла бортовых систем и изделия в целом). На этапе штатной эксплуатации локализация должна проводиться на полностью собранных изделиях через бортовые разъемы без снятия приборов (блоков) и задействования гидросистемы.

Разработка концепции комплексной автоматизации [7] в кораблестроении повысила общую культуру организации контроля на всех стадиях отработки изделий и их документации, который должен обеспечивать высокое качество ведения технологических процессов повышенной ответственности, характерных для БКУ АПО.

Одним из путей разрешения актуальной проблемы повышения контролепригодности БКУ (на этапах изготовления, испытаний, эксплуатации и ремонта) является разработка интеллектуальных алгоритмов и методов эффективной оценки по экспериментальным данным контролируемых параметров оборудования АПО с элементами искусственного интеллекта.

Современные методы теории оценивания направлены на достижение повышенного качества и надежности оценки параметра контролируемого объекта, что достигается за счет более полного использования экспериментальных данных, получаемых в процессе контроля. Для этого алгоритмы обработки экспериментальной информации при контроле параметров в современных СКД должны обладать повышенной гибкостью для оперативного изменения их структурных параметров, методов обработки и т.д., чтобы на базе апостериорных данных о параметрах контроля, с минимальными затратами дополнительных средств и времени используемого оборудования осуществлять их уточнение при большом числе каналов контроля и регулирования.

Развитие современной теории контроля приводит к необходимости разработки принципов построения и создания интеллектуальных устройств контроля, на основании которых разрабатывается их математическое, алгоритмическое и программное обеспечение.

Развитие методологии теории контроля для этапов проектирования, производства и эксплуатации БКУ, ориентированной на использование современных компьютерных технологий, обеспечивает объективность получаемой информации, высокую ее точность, возможность автоматизации процесса обработки экспериментальных данных, что значительно сокращает сроки проектирования и производства электрооборудования, снижает стоимость поставляемых изделий, повышает эффективность их эксплуатации.

Задача принятия решения СКД осложняется низким качеством информации или ее отсутствием. Решение такой задачи под силу только системам с элементами искусственного интеллекта. Поэтому в качестве ПО СКД, под управлением которого функционирует система контроля и диагностики, выбра-

на экспертная система (ЭС) контроля и диагностирования. Особенность предлагаемой системы заключается в том, что вместо диалога с человеком-пользователем система должна самостоятельно, в соответствии с текущей ситуацией и целевой установкой своевременно формулировать и решать поставленные задачи. К ним можно отнести: экспресс-контроль, контроль по обобщенным параметрам, диагностирование дефектов с различной глубиной (детализацией) и достоверностью, определение последствий отказа, прогнозирование технического состояния и другие. В качестве исходных данных в ЭС используется контрольная информация, формируемая на основе опроса датчиков, информация, полученная в результате тестирования отдельных подсистем, знания о составе и функциональных взаимосвязях объекта диагностирования, а также данные из рабочей программы функционирования АПО, характеризующие его целевое применение.

При разработке алгоритмов контроля и диагностирования область корректности постановки задачи в некотором пространстве должна быть заранее исследована и определена. Для этого необходимо иметь полное описание бортовых систем БКУ, прежде всего модели его возможных технических состояний. Однако из-за сложности систем, входящих в состав АПО, и воздействия различных факторов на процесс контроля практически невозможно получить полное и точное описание БКУ.

Один из подходов при разработке интеллектуальной СКД основан на поэтапном проектировании модели оценки работоспособности бортовых систем [8]. На первом этапе – этапе формирования детерминированной структуры модели – дается описание всех N бортовых систем. Для каждой n -й системы ($n = 1, 2, \dots, N$) приводятся:

- состав, структура, комплектность;
- перечень и параметры предусматриваемых функциональных режимов;
- телеметрические параметры, их номинальные и допустимые значения;
- управляющее воздействие, подаваемое на систему в виде разовых и программных команд;
- ограничения на последовательность выдаваемых команд и временные интервалы между командами;
- запреты на выдачу командных воздействий.

Поскольку номинальные состояния бортовых систем зависят от режимов командных воздействий на эти системы, представляется целесообразным на начальной стадии разработки модели определить логические зависимости совокупностей телеметрических параметров, характеризующих состояния

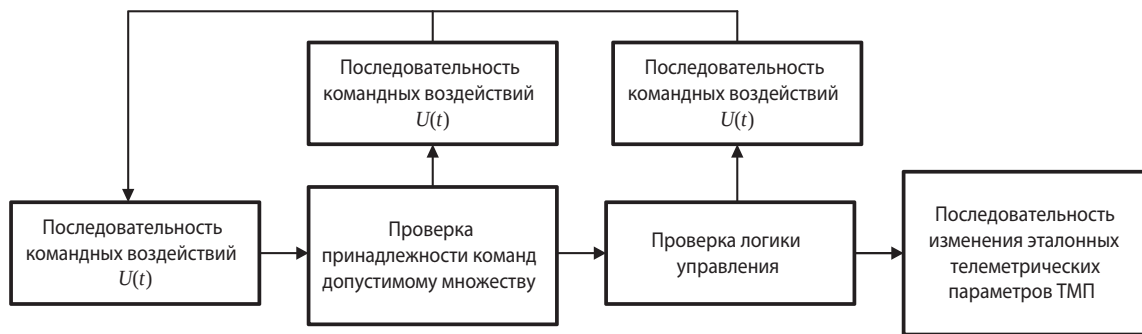


Рис. 2. Схема функционирования модели

систем, от выдаваемых управляющих воздействий.

В результате создаваемая структура позволяет для любого набора допустимых, распределенных по времени командных воздействий $U(t)$ давать описание изменения состояний бортовых систем, т.е. моделировать «идеальный» вариант поведения систем при отсутствии ошибок в управлении, неисправностей в работе аппаратуры и случайных возмущающих факторов. Схема функционирования модели приведена на рис. 2.

Структура модели предусматривает возможность автоматизированных проверок на принадлежность команд допустимому множеству и на логику выдаваемых последовательностей управляющих воздействий. Существует возможность корректировки исходных данных, в том числе добавления новых стратегий управления, внесения дополнительных ограничений на логику выдаваемых команд, хранения, архивации, документирования и графического отображения информации о состоянии бортовых систем.

Таким образом, использование модели оценки состояния работоспособности бортовой аппаратуры с детерминированной структурой позволяет получить последовательность эталонных значений телеметрических параметров (ТМП) в процессе имитации подаваемых в аппаратуру БКУ командных воздействий $U(t)$.

На следующем этапе проектирования функциональной модели проводится посистемный сравнительный анализ эталонных ТМП с реальными, получаемыми в процессе испытаний. Интерпретация состояния работоспособности бортовых систем выражается в автоматизированной выдаче сообщений типа «Норма» или «Не норма» для каждой бортовой системы в целом. Предусматривается проведение анализа работоспособности отдельных элементов, входящих в состав системы. Это дает возможность в случае формирования сообщений типа «Не норма» определять те элементы, которые являются причиной нарушения нормального функционирования системы.

Детальное изучение всех блоков бортовой аппаратуры позволит не только выявить «проблемные» элементы, но и провести диагностику состояния бортовых систем, которая заключается в следующем:

- выявление негативных тенденций в работе как отдельных элементов, так и бортовой системы в целом, в том числе элементов, находящихся в состояниях «Норма». Например, выявление устойчивого роста (снижения) характеристик температурных режимов, увеличение времени заряда химической батареи, уменьшения мощности выходных сигналов при сбросе с борта АПО телеметрической и целевой информации и др.;
- прогнозирование интервалов времени нормальной работоспособности бортовой аппаратуры без использования корректирующих управляющих воздействий;
- выявление возможных причин негативных тенденций. Например, превышение объема наработок бортовых систем сверх гарантированных эксплуатационных параметров, повышенная интенсивность эксплуатации систем и др.;
- выявление взаимно коррелирующих процессов (в том числе негативных) при функционировании различных бортовых систем.

В результате выполнения вышеперечисленных функций дается объективная оценка работоспособности бортовой аппаратуры с предполагаемой динамикой развития процессов в БКУ и прогнозируется время нормальной работы элементов аппаратуры, выявляются «проблемные» звенья в бортовых системах БКУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение интеллектуальной СКД позволило автоматизировать процесс принятия решения о состоянии БКУ, в том числе при возникновении нештатных ситуаций, на борту АПО. Предлагаемая модель построения интеллектуальной системы наиболее полно отражает этапы принятия решения — постановку задачи, планирование и реализацию плана. Практика подтвердила, что предло-

женные методы проведения комплексных проверок БКУ обеспечивают высокое качество отработки поставляемых АПО. Использование СКД позволяет осуществлять тестовый контроль приборов и систем, не прибегая к помощи дополнительных технических операций контроля и, тем самым, сохранить время проведения контрольно-диагностических процедур и повысить их эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами: учебник. – Л.: Судостроение, 1988. – 272 с.
2. Юрескул А.Г., Кондратьев Д.А. Технология отработки систем навигации и управления с использованием программно-аппаратных средств комплексов полунатурного моделирования // Морской вестник. – 2018. – №3(67). – С. 103–105.
3. Каманин В.В., Юрескул А.Г., Симановский И.В. Пути повышения точности полунатурного моделирования при отработке сложных систем управления // Морской вестник. – 2015. – №4(56). – С. 95–96.
4. Бароновский А.М., Яфраков М.Ф. Об одном подходе к организации функционального контроля и диагностики. – Вопросы анализа и синтеза систем управления, контроля и диагностики. – Л.: МО СССР, 1990, с. 4–30.
5. Филлин В.М., Пчелинцев Л.А., Денчик В.Н. и др. Оптимизация диагностики космического разгонного блока. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 184 с.
6. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 336 с.
7. Проектирование испытательных стендов для экспериментальной отработки объектов ракетно-космической техники / Л.Г. Галева, Ю.В. Захаров, В.П. Марков, В.В. Родченков. – М.: Изд-во МАИ, 2014. – 283 с.
8. Соколов Н.Л. Основные принципы диагностики работоспособности бортовой аппаратуры автоматических КА и выработки рекомендаций по устранению нештатных ситуаций // Успехи современного естествознания. – 2007. – №6. – С. 16–20. ■

Концепция е-Навигации направлена на развитие бортовых навигационных систем, береговых систем и инфраструктуры связи. Бортовые системы, включающие датчики, вырабатывающие информацию, стандартный интерфейс и систему управления охранными зонами и оповещения планируется объединить в единый интегрированный комплекс. Следует отметить, что сегодня уделяется достаточно внимания вопросам комплексной автоматизации судов и всех технологических процессов. При этом часть функций человека-оператора (судоводителя) предлагается автоматизировать, передав их системе искусственного интеллекта (СИИ), так как она обладает рядом преимуществ по сравнению даже с квалифицированным судоводителем (точность, надежность и др.). Однако простое наращивание средств автоматизации на флоте и в портовой инфраструктуре недостаточно для комплексного решения проблемы человеческого элемента. Существует противоречие между традиционно сложившимся типом взаимодействия «человек-машина» и возможностями современных информационных технологий (ИТ), позволяющих перейти к взаимодействию по типу «человек-среда». Для улучшения человеко-машинного взаимодействия необходимо разработать интеллектуальный интерфейс пользователя, посредством которого человек (судоводитель) в интерактивном и удобном (интуитивно понятном) виде будет получать информацию, прошедшую комплексную обработку, с учетом оценки и прогноза складывающейся ситуации для подготовки принятия решений.

Стратегический план развития (СПР) е-Навигации в общем состоит из компонентов трех типов (инструментарий е-Navigation) в соответствии с Annex 7 of NCSR 1/28, а именно:

- пять приоритетных решений S1, S2, S3, S4 и S9;
- семь вариантов управления рисками;
- шестнадцать сервисов для соответствующих районов.

В соответствии с СПР (S4, S4.1.2) должны быть разработаны стандартизированные интерфейсы для обмена данными для поддержки передачи информации от коммуникационного обслуживания в навигационную систему.

РЕАЛЬНО-ВИРТУАЛЬНАЯ СРЕДА

В настоящее время когнитивные и временные возможности человека-оператора (судоводителя) используются нерационально, о чем свидетельствует довольно высокая аварийность на

ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ Е-НАВИГАЦИИ В СРЕДЕ ГИБРИДНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

М.И. Исмаилов, канд. техн. наук, доцент, директор департамента АО «Кронштадт Технологии» (Группа «Кронштадт»),
А.Н. Попов, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова»,
 контакт. тел. (812) 449 9090 доб. 12547

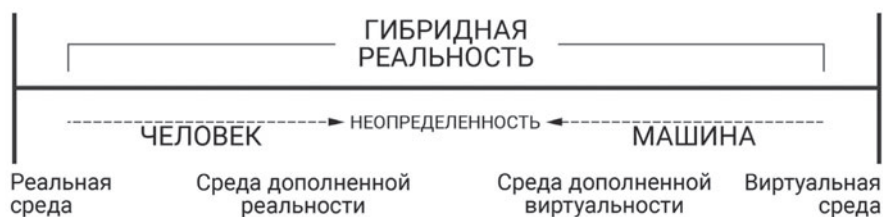


Рис. 1. Реально-виртуальный континуум

морском транспорте. Это вызвано отсутствием детального исследования в предметной области, с одной стороны, а с другой – технологические решения в области ИТ, в частности, гибридная реальность, до сих пор не нашли практического применения. Во многом это связано с отсутствием общепринятых методов оценки качества восприятия информации (данных) в среде виртуальной и дополненной реальности.

Дополненная реальность (ДР) – это среда, созданная с дополнением физического мира (аналоговая информация) виртуальными цифровыми сенсорными данными (цифровая информация) в режиме реального времени при помощи компьютерных устройств, а также программного обеспечения к ним. Она открывает для судоводителя новые возможности восприятия и взаимодействия с окружающим миром, которые позволяют получить полезную информацию, применяя для этого минимум усилий (когнитивная нагрузка).

Виртуальная реальность (ВР, virtual environment) – это среда, созданная техническими средствами, передаваемая судоводителю и зрительно воспринимаемая им. Использование и доступ к этим данным ограничено виртуальной средой. Созданный при этом мир можно использовать, чтобы играть, изучать и практиковать процессы и новые знания. ВР является интерактивной, управляемой в режиме реального времени.

Гибридная реальность (ГР) – это среда, которая охватывает ДР и дополненную виртуальность (ДВ). Данную среду также называют смешанной реальностью. ГР появилась вследствие объединения реального и виртуального миров для создания новых окружений и визуализаций, где физические (ана-

логовые) и цифровые объекты сосуществуют и взаимодействуют в реальном времени.

В 1994 г. Р. Milgram и F. Kishino формализовали реальную и виртуальную среду, включая их производные ДР и ДВ в формате реально-виртуального континуума (РВК), который модифицирован авторами в части разделения зон (человек, неопределенность, машина) (рис. 1).

РВК описывает разные уровни реализма. С левой стороны находится реальная среда, и, чем больше виртуальных данных добавляется, тем больше используется термин ВР. В соответствии с РВК гибридная реальность (Mixed Reality) включает обе производные реального и виртуального мира – ДР и ДВ.

В 1997 г. R. Azuma определил ДР, как систему, обладающую следующими характеристиками: совмещение реального и виртуального мира; интерактивность в режиме реального времени; представление информации в формате 3D. R. Azuma упомянул, что ДР будет примером интеллектуального усиления, описываемым как использование компьютера в качестве инструмента, позволяющего выполнять поставленные задачи с меньшими затратами когнитивной составляющей.

ФОРМАТ ИНТЕРФЕЙСОВ БУДУЩЕГО

По прогнозам экспертов, традиционная линейка человеко-машинных интерфейсов должна планомерно трансформироваться в категорию интерфейсов человек-среда (рис. 2).

ГР (MR), а именно ее производная ДР открывает для человека-оператора (судоводителя) новые возможности восприятия и взаимодействия



Рис. 2. Формат интерфейсов будущего

с окружающим миром, которые позволяют получить полезную для обеспечения безопасности мореплавания информацию (данные), затрачивая при этом минимум усилий (когнитивная нагрузка) и времени. Предполагается, что применение данных технологий в современных морских интеллектуализированных системах (e-Navigation), откроет новый виток развития сетей связи пост-NGN (Next Generation Network) и для услуг Интернета Вещей (морского).

В СПР подчеркивается, что дополнение стратегии e-Навигации будет представлять собой «непрерывный процесс отслеживания потребностей пользователей и внедрения новых технологий (искусственный интеллект, гибридная реальность и др.) для получения дополнительных функциональных возможностей будущих систем».

В свою очередь, для сетевых приложений, работающих в режиме реального времени, необходимо обеспечивать определенное качество обслуживания – QoS (Quality of Service). Качество обслуживания определяется следующими параметрами: полоса пропускания, задержка при передаче пакета, джиттер и потеря пакетов. Однако для человека-оператора (судоводителя) как одного из элементов e-Навигации ключевым параметром является качество восприятия – QoE (Quality of Experience). В системах ГР (ДР) оценка пользователя выходит на первое место, так как с ним связаны основные ошибки, оказывающие влияние на аварийность в целом, с одной стороны, с другой – создающие ощущения реального мира

(believability/правдоподобие), который модернизирован (дополнен) для улучшения определенных характеристик окружающего нас мира (real environment). Это может быть использовано для улучшения управления крупнотоннажным морским судном при маневрировании в особых условиях (ограниченная видимость, плавание во льдах и др.). Таким образом, в среде ДР данные должны обрабатываться оперативно, вовремя отображаться, поступающие сигналы от датчиков (сенсоров) должны передаваться без ошибок, а движения объектов должны быть привычны человеческому глазу.

Устройство ДР должно иметь возможность измерять свое положение настолько точно, насколько это необходимо для отображения виртуальных объектов в их правильном положении и ориентации. В этом случае пользователь e-Навигации получает возможность взаимодействовать со средой. В качестве устройства на первом этапе предлагается использовать очки ДР со специализированным программным обеспечением.

Использование очков ДР можно рассматривать как один из методов улучшения ситуационной осведомленности (СО) за счет сокращения времени на контроль данных, находящихся за пределами зоны обязательного контроля (ЗОК). В процессе движения судна для обеспечения своевременных мер по предупреждению столкновений выделяют зоны разного, по определенному признаку, качества.

Ситуационная осведомленность (situational awareness) – это воспри-

ятие элементов окружающей среды в определенный момент времени и точке пространства, понимание их смысла и прогнозирование их статуса в будущем.

Зона обязательного контроля (area of interest) включает поле зрения – угловое пространство, видимое глазом при фиксированном взгляде и неподвижной голове, но не ограничивается им.

ЗОК включает в себя зоны наблюдения и запрета. Дальнейшее развитие технологических решений предполагает создание многофункциональных фронтальных иллюминаторов с функцией ДР (рис. 3).

Понятие качества является предметом стандартизации, в том числе качества услуг связи как одного из ключевых компонентов e-Навигации. Существуют стандарты и методы для оценки качества речи, видео, телевидения, но для направления ГР (ДР) пока не было разработано ни одного стандарта, тем более адаптированного к сфере морской транспортной индустрии, что в период Индустрии 4.0 является весьма актуальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ возможностей и практические шаги по внедрению различных типов реально-виртуальных сред осуществляются и в России.

В настоящее время межведомственная рабочая группа по реализации Национальной технологической инициативы (НТИ) при правительственной комиссии по модернизации экономики и инновационному развитию страны одобрила поддержку высокотехнологичного проекта в рамках «дорожной карты» Маринет по разработке платформы моделирования безэкипажного судоходства в среде гибридной реальности. Проект будет выполняться специализированной проектной компанией (SPV), создаваемой на базе Группы «Кронштадт». Кроме того, в 2019 г. планируется реализация проекта «Цифровая система расхождения судов с VR интерфейсом», где Группа «Кронштадт» также выступает соисполнителем проекта. В Государственном морском университете им. адм. Ф.Ф. Ушакова на базе Института повышения квалификации ведется подготовка специалистов водного транспорта с использованием современных тренажерных комплексов, а также научно-исследовательские работы по формированию новых подходов для отработки навыков принятия решения в цифровой среде (гибридная реальность).

Группа «Кронштадт» продолжает активную работу по тематике e-Навигации, в том числе в составе международных организаций, включая



Рис. 3. Пример интерфейса пользователя в среде ГР

участие на ежегодной профильной конференции «e-Navigation Underway International Conference 2019», работу в комитете ENAV МАМС, взаимодействия с другими международными проектами, в частности, тестовой акваторией Sea Traffic Management (BALT SAFE). Группа «Кронштадт» выступила с инициативой проведения в рамках Государственной программы «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013–2030 годы» перспективной ОКР «Разработка технологий автоматического и дистанционного управления судами коммерческого и технического флота» (шифр «БЭС-КФ»), где могут быть применены в том или ином объеме подходы, изложенные в данной статье.

В этой связи взаимодействие специалистов вышеуказанных организаций можно рассматривать как тандем технологической, научной, производственной компоненты отрасли водного транспорта в сфере цифровизации

экономической составляющей стратегического развития страны в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 22.11.2008, №1734-р.
2. *Ismagilov M.* The first e-Navigation tested in Russia «Hermitage»: subtotals. – e-Navigation Underway International Conference, 2019.
3. *Безбородов Г.И., Исмаилов М.И.* От стратегии e-Навигации к концепции и-Акватории // Морской вестник. – 2017. – № 1 (61).
4. *Patraiko D.* Introduction the e-Navigation revolution // Seaways. – 2007. – March.
5. *Hagen G.E.* Implementing e-Navigation, Artech House, 2017.
6. *Попов А., Кондратьев А., Смирнов И.* The algorithm for fast forecasting of the collision danger degree with ships and surface objects in the e-Navigation area, AGA 2018. 19 TH Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU), 17–19 October 2018, Barcelona, Spain, p. 442–449.
7. *Кондратьев С.И., Боран-Кешишьян А.Л.* Полифакторный анализ процесса предупреждения столкновения судов // Вестник гос. ун-та морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2013. – № 2 (21). – С. 7–13.
8. *Frydenberg S., Eikenes J.O., Nordby K.* Exploring design of augmented reality systems for ship bridges in arctic waters. – Conference Paper, October 2018. – <https://www.researchgate.net/publication/328065246>.
9. *Teltevskaya V.A., Makolkina M.A.* Method for evaluating the quality of experience in augmented reality systems. – Distributed computer and communication networks: control, computation, communications (DCCN-2016), Vol. 3, Youth School-Seminar. Proceedings of the Nineteenth International Scientific Conference, Russia, Moscow, 21–25 November 2016.
10. <https://enav-hermitage.ru/ru/> 16.04.2019
11. www.accseas.eu 17.01.2017
12. www.e-navigation.net 17.01.2017
13. www.iala-aism.org 17.01.2017
14. www.mol.co.jp/en/pr/2018
15. IMO MSC 94/21 NCSR 1/28 Annex 7 «Draft e-Navigation strategy implementation plan». ■

В условиях нерегулярного морского волнения морской подвижный объект (МПО), движущийся под водой вблизи поверхности, совершает колебательные движения. Причиной обычно являются колебательные сигналы, снимаемые измерителями, которые поступают на вход систем управления, и вызывающие колебательные движения исполнительных органов, раскачивающие объект.

Установка сглаживающих фильтров в измерительном канале, включенные в прямую цепь (перед системой управления рулями) или в канал обратной связи (после измерителей), может нарушать устойчивость системы. Поэтому так важна задача выбора параметров фильтров, обеспечивающих приемлемое качество фильтрации и устойчивость системы управления.

В статье рассмотрен метод синтеза устойчивых систем стабилизации МПО по глубине при движении вблизи взволнованной поверхности с использованием сглаживающих фильтров, включенных в канал обратной связи.

Стандартные методы синтеза обычно предполагают управление по отклонению МПО от требуемого положения. В этом случае формируется вектор управляющих сил и моментов, пропорциональный отклонениям, производным и интегральным составляющим от отклонений, который реализуется исполнительными устройствами [1, 2].

Проанализируем практику применения компенсационного метода [3, 4] для синтеза устойчивых систем стабилизации МПО по глубине, в измерительных каналах которых используются гидростатические датчики с последующей фильтрацией волновых составляющих.

Синтезируемый регулятор состоит из двух частей, первая из которых реализует закон управления (ЗУ), обеспечивающий устойчивое управление глубиной МПО с заданным качеством по точности и переходным процессам при нулевом дифференте, т.е. создает требуемый вращающий момент $M_z^u(t)$ и силовое воздействие $F_y^u(t)$. Вторая представляет собой сглаживающий фильтр в цепи датчиков-измерителей кинематических параметров движения МПО. Параметры законов управления подбираются таким образом, чтобы сама система также обладала свойствами фильтра.

Синтез закона управления осуществляется методом, изложенным в [5–7], или в виде стандартного ПИД-регулятора и в этой статье специально не рассматривается. Следует отметить, что закон управления должен обеспечивать запас устойчивости, достаточный для подключения фильтров. Система состоит из двух каналов управления: стабилизации глубины и стабилизации дифферента. При стабилизации глубины рассматривается движение с нулевым дифферентом, что обеспечивается каналом стабилизации дифферента. Управляющие силы и моменты распределяются по исполнительным органам [5–7].

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Уравнения движения МПО. Как было сказано, регулятор состоит из двух частей: ЗУ и фильтров кинематических параметров движения МПО в условиях действующего на гидростатические датчики МПО волнения.

Синтез ЗУ, обеспечивающего устойчивое управление глубиной МПО с заданным качеством переходного процесса, осуществляется с помощью частотных методов, как показано в [3, 4], или выбором стандартного ПИД-регулятора.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ МПО ПРИ ДВИЖЕНИИ ВБЛИЗИ ВЗВОЛНОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

С.К. Воловдов, канд. техн. наук, доцент СПбГМТУ,
А.В. Смольников, канд. техн. наук,
начальник отдела АО «Концерн «НПО «Аврора»,
контакт. тел. (812) 643 1831, volovodovs@mail.ru

Приведем уравнения движения МПО в вертикальной плоскости, которые понадобятся как для решения задачи синтеза ЗУ, так и задачи фильтрации.

Уравнения движения АПА при условии $v_x = v_0 = \text{const}$ принимаются в виде [1]

$$\begin{aligned} \frac{dv_y}{dt} &= m_y^{-1}[-m_x v_0 \omega_z + q V^{2/3}(C_y^{v_y} v_y + C_y^{\omega_z} \omega_z) + F_y^u]; \\ \frac{d\omega_z}{dt} &= J_z^{-1}[v_0(m_y - m_x)v_y + qV(m_z^{v_y} v_y + m_z^{\omega_z} \omega_z) + M_z^u]; \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_z; \quad \frac{d\eta}{dt} = v_0\psi - v_y, \end{aligned} \quad (1)$$

где v_y – вертикальная скорость МПО; ω_z – угловая скорость изменения дифферента ψ ; η – глубина; $m_x = m(1+k_{11})$; $m_y = m(1+k_{22})$; $J_z = J_{zz}(1+k_{66})$; m – масса аппарата; J_{zz} – момент инерции аппарата относительно оси 0z, k_{ii} – коэффициенты присоединенных масс, F_y^u , M_z^u – вертикальная сила органов управления и управляющий момент относительно оси 0z аппарата; $q = \rho \frac{v^2}{2}$ – скоростной напор; V – объемное водоизмещение, C_y^i, m_z^i – гидродинамические коэффициенты.

Система (1) может быть представлена в виде

$$\begin{aligned} \frac{dv_y}{dt} &= a_{11}v_y + a_{12}\omega_z + F_y^u; \quad \frac{d\omega_z}{dt} = a_{21}v_y + a_{22}\omega_z + M_z^u; \\ \frac{d\psi}{dt} &= a_{32}\omega_z; \quad \frac{d\eta}{dt} = a_{41}v_y + a_{43}\psi, \end{aligned} \quad (2)$$

где $a_{11} = m_y^{-1}qV^{2/3}C_y^{v_y}$; $a_{12} = m_y^{-1}(m_x v_0 + qV^{2/3}C_y^{\omega_z})$; $a_{21} = J_z^{-1}[v_0(m_y - m_x) + qVm_z^{v_y}]$; $a_{22} = J_z^{-1}qVm_z^{\omega_z}$; $a_{32} = 1$; $a_{41} = -1$; $a_{43} = v_0$.

В дальнейшем рассматривается аппарат со следующими параметрами:

объемное водоизмещение $V = 48 \text{ м}^3$, $V^{2/3} = 12 \text{ м}^2$, $(L = 8 \text{ м}, B = 3 \text{ м}, T = 2 \text{ м})$, $m = 8 \cdot 10^3 \text{ кг}$, $k_{11} = 0,04$, $k_{22} = 0,9$, $k_{33} = 1,2$, $k_{55} = k_{66} = 1,1$.

Соответственно, $m_x = 50 \cdot 10^3 \text{ кг}$, $m_y = m_z = 91,2 \cdot 10^3 \text{ кг}$.

Для начальной скорости $v = 10 \text{ м/с}$ и $C_y^{v_y} = 0,314$, $m_z^{v_y} = 0,025$, $m_z^{\omega_z} = 0,89$, $C_y^{\omega_z} = -3,55$ получим в (2) следующие коэффициенты: $a_{11} = 0,515$, $a_{12} = -0,32$, $a_{21} = 0,26$, $a_{22} = -2,73$, $a_{32} = 1$, $a_{41} = -1$, $a_{43} = 10$.

Структура каналов управления глубиной и дифферентом. Рассмотрим случай движения с нулевым дифферентом ($\psi = \omega_z = 0$). Тогда уравнения, связывающие глубину η с управлением F_y^u , принимаются в виде

$$\frac{dv_y}{dt} = a_{11}v_y + F_y^u; \quad \frac{d\eta}{dt} = a_{41}v_y. \quad (3)$$

Соответственно, передаточная функция по глубине

$$W_{\eta F_y^u}(p) = \frac{a_{41}}{p(p - a_{11})}.$$

Поскольку $a_{11} > 0$, то объект неустойчив. Для обеспечения его устойчивости примем, что

$$F_y^u = -k_1 v_y + F_y^{u1}, \quad (4)$$

где $F_y^{u1} = k_0(\eta_0 - \eta)$; $k_1 \gg a_{11}$.

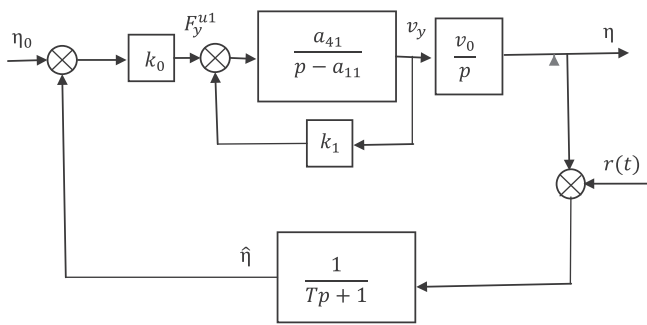


Рис. 1. Структурная схема системы стабилизации глубины

Тогда передаточная функция будет иметь вид

$$W_{\eta_y^{u1}}(p) = \frac{a_{41}}{p(p - a_{11})}.$$

Соответствующая структурная схема системы стабилизации глубины при нулевом дифференте представлена на рис. 1.

Фильтрация волновой составляющей в канале измерений (главной обратной связи, рис. 1) осуществляется с помощью апериодического звена с постоянной времени T .

Передаточная функция замкнутой системы

$$W_{\eta_0}(p) = \frac{k_0 v_0 a_{41} (Tp + 1)}{Tp^3 + (1 - a_{11} a_{41} k_0) T p^2 - a_{11} a_{41} k_1 + k_0 a_{41} v_0}.$$

Условие устойчивости системы примет вид

$$T > \frac{a_{11} a_{41} k_1}{a_{11}^2 a_{41} k_0 k_1 - k_0 a_{41} v_0}.$$

Стабилизация дифферента в нуле осуществляется с помощью закона управления

$$M_z^u = k_2 (\psi_0 - \psi) + k_3 \omega_z,$$

где $\psi_0 = 0$.

Распределение управляющей силы F_y^u и момента M_z^u по исполнительным органам (вертикальным подруливающим устройствам). Каждое i -е подруливающее устройство создает тягу T_i , которая определяется частотой вращения движителя. Как отмечалось, имеется два подруливающих устройства (носовое и кормовое, разнесенные на величину $l = 4$ м относительно центра масс).

Для известных F_y^u и M_z^u можно записать

$$F_y^u = T_n + T_k, \quad M_z^u = l(T_n - T_k),$$

откуда следует

$$T_n = \frac{1}{2l} [l F_y^u + M_z^u]; \quad T_k = F_y^u - \frac{1}{2l} [l F_y^u + M_z^u]. \quad (5)$$

Формирование ординаты волны морского волнения.

Спектр значений ординат волны $r(t)$ определяется балльностью морского волнения и обычно принимается в виде [1, 2]

$$S_r(\sigma) = \frac{2D_r \alpha (\alpha^2 + \beta^2 + \sigma^2)}{\sigma^4 + 2(\alpha^2 - \beta^2) \sigma^2 + (\alpha^2 + \beta^2)^2}, \quad (6)$$

где $\sigma_m = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} = 1,02\beta$, $\alpha = 0,21\beta$ – коэффициент затухания, β – угловая частота корреляционной функции.

Для четырехбалльного морского волнения высота волны 3%-ной обеспеченности $h_{3\%} = 2$ м, соответственно $D_r = 0,0352 h_{3\%} = 0,143$ м², истинная частота максимума спектра $\sigma_m = 0,71 \frac{2\pi}{T}$, $T = 4,38$ с, $\sigma_m = 1,01\beta$.

$$\beta = 0,71 \frac{2 \cdot 3,14}{4,38} = 1,01 \text{ с}^{-1}; \quad \alpha = 0,21\beta = 0,21. \quad (7)$$

Зачастую спектр принимается в более простом виде:

$$S_r(\sigma) = \frac{4D_r \alpha \sigma^2}{\sigma^4 + 2(\alpha^2 - \beta^2) \sigma^2 + (\alpha^2 + \beta^2)^2}. \quad (8)$$

Корреляционная функция для этого спектра имеет вид

$$K_r(\tau) = D_r \sqrt{1 + (\alpha/\beta)^2} e^{-\alpha|\tau|} \cos(\beta|\tau| + \arctg \alpha/\beta). \quad (9)$$

Для данного примера

$$S_r(\sigma) = \frac{0,132\sigma^2}{\sigma^4 - 2,32\sigma^2 + 1,58}.$$

Для пересчета спектров к кажущимся частотам используется фактор a относительного движения с курсовым углом к волне ε . Для $v = 10$ м/с и $\varepsilon = 0$ указанный фактор

$$a = \frac{v \cos \varepsilon}{g}. \quad (10)$$

Пусть МПО движется со скоростью 10 м/с навстречу волне ($\varepsilon = 0^\circ$). Пересчитаем спектр (6) к кажущимся частотам. Поскольку из (10) следует, что $a = 1$, то $\beta + a\beta^2 = 3,52 = \omega_m \alpha_k = 0,21\beta_k$. Следовательно,

$$S_{M_y}(\omega) = \frac{4D_r \alpha_k \omega^2}{\omega^4 + 2(\alpha_k^2 - \beta_k^2) \omega^2 + (\alpha_k^2 + \beta_k^2)^2} = \frac{0,423\omega^2}{\omega^4 - 23,7\omega^2 + 1,69}. \quad (11)$$

Для нахождения передаточной функции формирующего фильтра для спектра (11) проводится его факторизация. Передаточная функция примет вид

$$W_\Phi(p) = \frac{\gamma p}{p^2 + \delta_1 p + \delta_0}, \quad (12)$$

где $\gamma = 2\sqrt{D_r \alpha_k}$, $\delta_0 = \alpha_k^2 + \beta_k^2$, $\delta_1 = \sqrt{2(\alpha_k^2 - \beta_k^2 + \delta_0)} = 2\alpha_k$.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема системы управления для моделирования в SimuLink. Динамика объекта описывается системой (2), которая для принятых параметров имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{dv_y}{dt} &= 0,515v_y - 0,32\omega_z + F_y^u; \quad \frac{d\omega_z}{dt} = 0,26v_y - 2,73\omega_z + M_z^u; \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_z; \quad \frac{d\eta}{dt} = -v_y + 10\psi \end{aligned} \quad (13)$$

или в операторной форме

$$\begin{aligned} (p - 0,515) v_y &= -0,32\omega_z + F_y^u; \quad (p + 2,73) \omega_z = 0,26v_y + M_z^u; \\ \psi &= \frac{1}{p} \omega_z; \quad \eta = \frac{1}{p} (-v_y + 10\psi); \quad \hat{\eta} = \frac{1}{Tp + 1} (\eta + r(t)). \end{aligned} \quad (14)$$

Закон управления имеет вид

$$F_y^u = -k_1 v_y + F_y^{u1},$$

где $F_y^{u1} = k_0(\eta_0 - \hat{\eta})$, $\hat{\eta} = \frac{1}{Tp + 1} (\eta + r(t))$.

Схема моделирования в SimuLink и полученные результаты приведены на рис. 2 (переходный процесс по глубине при отсутствии фильтрации и необходимого демпфирования). В результате моделирования должны быть определены параметры k_0, k_1, T , обеспечивающие приемлемое качество стабилизации глубины в условиях волнения.

На рис. 3 и рис. 4 представлены схемы моделирования управляемого движения, на осциллограммах представлены следующие процессы:

Scope1 – $h(t)$ – переход на глубину 4 м с нулевой,

Scope4 – $r(t)$ – ордината волнения,

Scope6 – $F_y^{u1}(t)$ – управляющее воздействие,

Scope7 – $\eta(t) + r(t)$ – глубина с учетом ординаты волны.

Как видно из приведенных графиков, приемлемый по качеству переходный процесс приведен на рис. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что синтезированное в соответствии с методом, разработанным в [3, 4], управление обеспечивает устойчивую стабилизацию глубины погружения МПО при движении вблизи взволнованной поверхности. При этом для

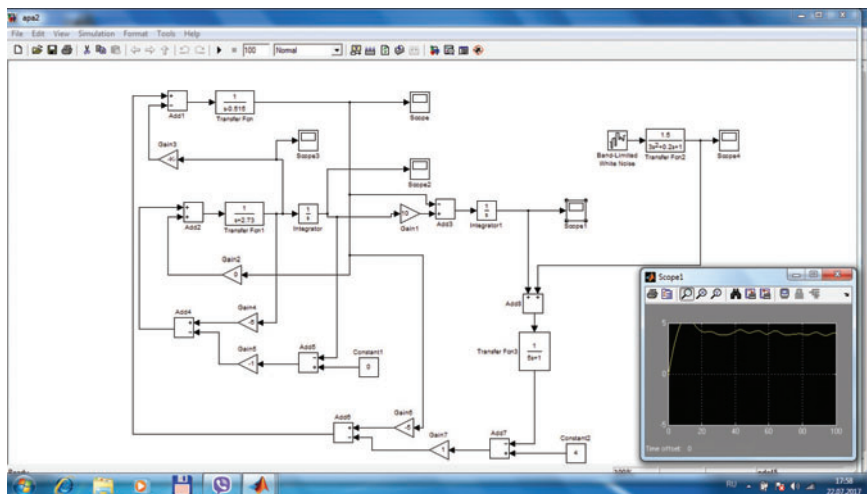


Рис. 2. Схема моделирования и переходный процесс по глубине при отсутствии фильтрации и демпфирования

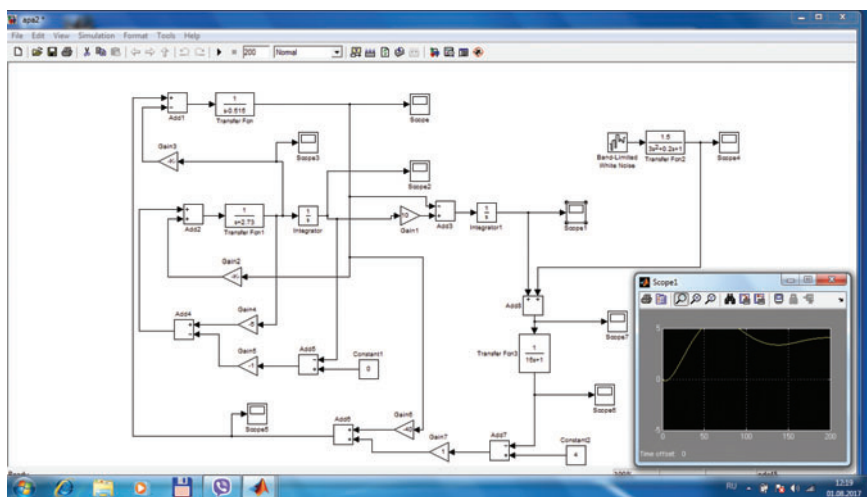


Рис. 3. Схема моделирования управляемого движения по глубине при наличии фильтрации и демпфирования

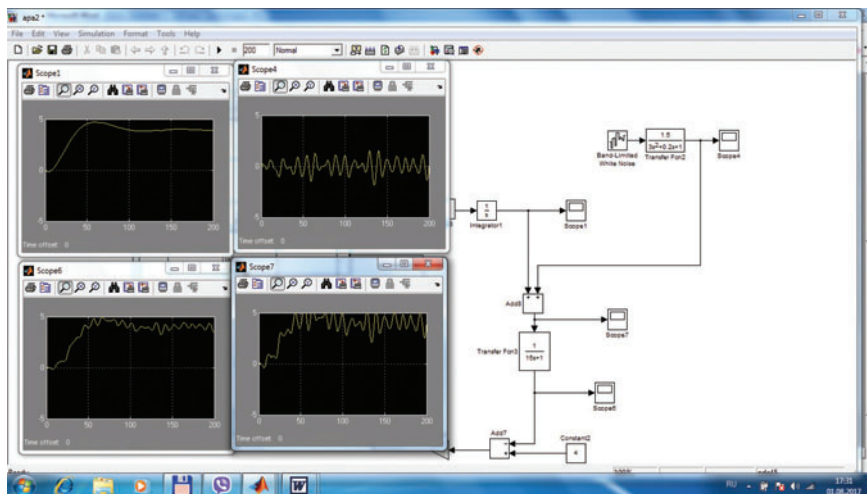


Рис. 4. Результаты моделирования (Scor1 – переход по глубине, Scor4 – ордината волнения, Scor6 – управляющие воздействия, Scor7 – глубина с учетом ординаты волны)

сглаживания волновой составляющей рекомендуется применять аperiодические фильтры с постоянной времени 10–15 с непосредственно в канале измерения глубины, а для обеспечения устойчивости управления целесообразно применять глубокую демпфирующую обратную связь по вертикальной скорости с коэффициентом усиления из диапазона $k_1 = 40–80$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воловцов С.К., Черняев М.Г., Каверинский А.Ю., Воловцов С.С. Распределение ресурсов управления при пространственной стабилизации подвижных объектов // Гирокоспия и навигация. – 2003. – №1 (40). – С.30–42.
2. Воловцов С.К., Черняев М.Г., Смольников А.В., Каверинский А.Ю., Воловцов С.С. Особенности решения задачи распределения ресурсов управления при пространственном позиционировании некоторых морских подвижных объектов // Гирокоспия и навигация. – 2005. – 1(48). – С.43–57.
3. Смольников А.В. Обобщенный алгоритм пространственной стабилизации МПО // Морской вестник. – 2008. – №2(26). – с.79–85.
4. Воловцов С.К., Смольников А.В. Частотный метод синтеза систем управления морских подвижных объектов // Системы управления и обработки информации. – 2018. – №2(41). – С.18–25.
5. Воловцов С.К., Смольников А.В. Компенсационная система стабилизации морских подвижных объектов на курсе в условиях нерегулярного морского волнения // Морской вестник. – 2018. – №4(68). – с. 99–102
6. Лукомский Ю.А., Чузунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами. – Л.: Судостроение, 1988. – 272 с.
7. Дмитриев С.П., Пелевин А.Е. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электронприбор», 2002. – 160 с. ■

Информатизация как глобальное направление, затрагивающее все сферы деятельности современного общества, имеет одно из определяющих значений в повышении производительности труда предприятия. Наблюдаемый в настоящее время значительный прогресс по всем компонентам информационных технологий (ИТ) – непрерывный рост мощностей вычислительной техники, совершенствование базовых и прикладных программных средств, развитие сетевых технологий – открывает возможность разработки принципиально новых технологических решений, способствующих созданию цифрового предприятия, использующего ИТ в качестве конкурентного преимущества в своей деятельности.

Акционерное общество «Концерн «НПО «Аврора» (далее по тексту – Общество) – одно из ведущих предприятий судостроительной отрасли по разработке и поставке автоматизированных систем управления (СУ) для морской техники военного и гражданского назначения. Стратегия развития Общества нацелена на повышение производительности труда и качества выпускаемой продукции, что во многом связано с увеличением эффективности использования и развития ИТ, применяемых в производственных процессах. Одной из основных целей, определяющей значимое направление дальнейшего совершенствования выпускаемой продукции, является снижение издержек проектных работ по созданию продукции [1].

Изделия, поставляемые Обществом, представляют собой локальные, комплексные и интегрированные СУ корабельными техническими средствами. Основу систем составляют наборы распределенных вычислительных узлов (ВУ), содержащих общесистемное программное обеспечение (ОПО) и функциональное (прикладное) программное обеспечение (ФПО). Обмен информацией между ВУ осуществляется по различным сетевым интерфейсам (рис. 1).

Вследствие непрерывно возрастающей сложности выпускаемой продукции, ключевая роль в процессе проектирования отводится разработке и отладке встраиваемого ПО, которое обрабатывает информацию о состоянии объекта управления (ОУ), обеспечивает взаимодействие с оператором и непосредственно управляет исполнительными устройствами. Более половины трудоемкости проектных работ приходится на разработку ФПО и отладку его взаимодействия с ОПО [1, 2].

Разработка ПО осуществляется с применением широкой номенклатуры средств: от традиционных языков программирования до специализированных систем автоматизированного проекти-

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

С.В. Федоров, директор по информационным технологиям,
К.О. Строчкин, канд. техн. наук, инженер-программист 1-й категории,
АО «Концерн «НПО «Аврора»,
контакт. тел. (812) 643 1856

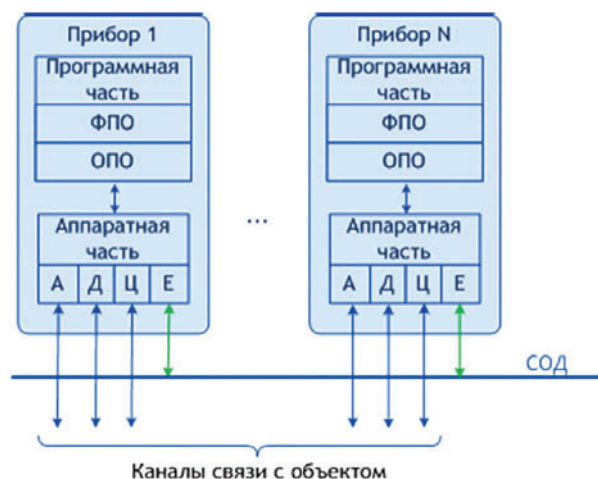


Рис. 1. Вычислительные узлы системы управления
А – аналоговый ввод/вывод; Д – дискретный ввод/вывод; Ц – Mil-Std, CAN, RS-232/422/485; Е – Система обмена данными (СОД)

рования (САПР), что обусловливается спецификой аппаратуры, на которой оно реализовано. Как правило, в процессе создания ПО выбор инструмента определяется непосредственно разработчиком. При этом отмечается возрастание роли использования средств визуализации в технологиях программирования. Широкое применение получают средства разработки, использующие графический подход к автоматизации создания ПО. Данный подход основан на способе создания программ путем манипулирования унифицированными графическими объектами вместо написания их текста. Генерация программного кода, непосредственно используемого в загрузочных модулях ВУ, осуществляется автоматизировано.

Качество разработанного комплекса ПО определяется в ходе измерения и оценки свойств при проведении проверок функционирования его составных частей по наиболее значимым для заказчика характеристикам. Традиционно проверка качества изделий, выпускаемых Обществом, осуществляется в ходе отладки и испытаний на различных стадиях их жизненных циклов (ЖЦ) [3].

В настоящее время классическая технология отладки функционирования ПО систем, успешно применяемая разработчиками на протяжении многих лет, включающая доводку ФПО на испытатель-

ных стендах, достигает предела своего развития, оставаясь при этом достаточно трудоемкой. На смену ей приходят современные ИТ, использование которых позволяет сместить «акцент» отладки функционирования продукции на стадии разработки, предшествующие стендовым испытаниям.

Одним из наиболее перспективных направлений развития используемых в Обществе ИТ является разработка и применение современных методов компьютерного моделирования для отладки ПО, обеспечивающих принципиальную возможность сосредотачивать основную долю изменений и затрат на этапе рабочего проектирования, что позволяет существенно уменьшать общий объем издержек и снижать сроки разработки продукции.

Для проверки правильности функционирования и отладки сложных программных комплексов в Обществе была разработана специализированная технология компьютерного моделирования. В основе технологии лежит принцип виртуализации распределенных ВУ систем управления. Штатные загрузочные модули (ЗМ) разрабатываемого ФПО устанавливаются в соответствующие эмуляторы аппаратных средств, образуя в специализированной программной среде совокупности виртуальных ВУ (компьютерных моделей ВУ). Объединение ВУ в

единый комплекс осуществляется в соответствии с топологией будущей СУ. Таким образом в виртуальной среде формируется функциональная компьютерная модель СУ, или виртуальный стенд (ВС), позволяющий проводить отладку ПО.

Компьютерная модель каждого ВУ – это отдельная исполняемая виртуальная машина (ВМ), которая включает в себя неизменное ФПО и операционную систему штатных ЗМ. В связи с тем, что в виртуальной среде эмулируется только стандартное аппаратное обеспечение (процессор, оперативное запоминающее устройство, дисковая память и сетевые интерфейсы), в ходе работ вместо штатных драйверов и менеджеров межприборных сетей ОПО, отвечающих в реальных изделиях за взаимодействие ФПО с модулями ввода-вывода и интерфейсами сетевого обмена (по протоколам «CAN», «MIL», «RS» и т.д.), было разработано специализированное ПО, которое реализует функции взаимодействия с ФПО. При этом специализированное ПО перенаправляет все данные в виртуальную сеть посредством протокола Ethernet [4].

Неотъемлемой частью функциональной компьютерной модели СУ является модель аппаратных средств изделия, преобразующая и распределяющая сигналы между виртуальными ВУ. Разбиение аппаратных средств по специфике назначения позволяет группировать их в следующих категориях: устройства ввода-вывода, устройства сетевого обмена, устройства вторичного преобразования сигналов, органы управления и отображения информации.

Моделирование компонентов или всей совокупности аппаратных средств может осуществляться различными способами и инструментами в несколько этапов. На первоначальном этапе разработки ФПО системы возможно использование упрощенной модели аппаратуры, обеспечивающей отладку алгоритмов управления и проверку межприборного и межсистемного взаимодействия. Дальнейшая детализация модели аппаратных средств предоставляет возможность оценки быстродействия системы, настройки коэффициентов регулирования, введения отказов и проведения более полных проверок функционирования моделей по методикам, основывающимся на соответствующих методиках для СУ.

Проверка и отладка функционирования ПО в виртуальной среде должна выполняться с применением достоверных компьютерных математических моделей (ММ) объектов управления (ОУ). В Обществе для этих целей применяются отдельные ММ собственной разработки, создаваемые на основе технических заданий (ТЗ) на проектирование СУ.

Однако в процессе создания ряда изделий заказчиками продукции Обще-

ства рассматривается применение комплексных ММ главных энергетических установок, поставляемых предприятиями-контрагентами [1]. Использование таких моделей на ранних этапах проектирования разрабатываемых изделий, в частности, на этапе отладки ПО, может позволить повысить качество как самих систем, так и объектов управления. Созданная и внедренная в проектную сферу деятельности Общества технология компьютерного моделирования позволяет использовать как модели ОУ собственной разработки, так и поставляемые предприятиями-контрагентами.

При создании комплексных ММ объектов управления разработчиками принимаются попытки учесть влияние на функционирование будущих изделий совокупности различных факторов. Однако очевидно, что разработка моделей ОУ без участия разработчиков СУ не может гарантировать принятия правильного проектного решения и решения о готовности изделия к установке на объект. С учетом частого изменения исходных данных, требующих корректировок алгоритмов управления, целесообразно

Общество от предприятий-проектантов, использование описанного подхода дает дополнительный инструмент для промежуточного контроля качества как будущих корабельных технических средств, так и их систем управления.

Представленная технология внедрена в ЖЦ разработки продукции Общества и позволяет на этапе создания ВС проводить совместную отладку компьютерных моделей КСУ ТС и объекта управления (рис. 2). Результатом работ на данном этапе при использовании комплексной ММ объекта управления может быть согласованная корректировка исходных данных и алгоритмов управления корабельными техническими средствами, выдаваемых предприятиями-проектантами в ТЗ на разработку СУ. При этом комплексная ММ будет иметь статус уточненного ТЗ на проектирование СУ и будет наиболее приближенным к описываемому объекту инструментом для выполнения проектных работ до поставки СУ на объект.

Применение принципов компьютерного моделирования в виртуальной среде сложных распределенных программных комплексов, являющихся наиболее зна-

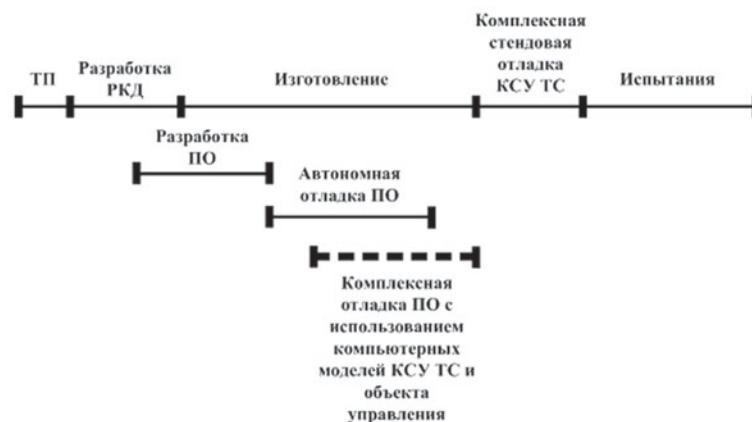


Рис. 2. Место компьютерной модели КСУ ТС и объекта управления в процессе проектирования

использование комплексных ММ объектов управления на этапах проектирования СУ, в частности на этапе создания ВС, в рамках которого могут проходить совместную отладку функционирования компьютерные модели СУ различных корабельных технических средств.

Совместное использование моделей СУ и комплексных ММ объектов управления на этапе создания ВС в процессе разработки нового изделия позволит надежно прогнозировать поведение СУ и быстро сопоставлять альтернативные проектные решения, снижать объем экспериментальной доработки и доводить изделия, ускорять и удешевлять процесс проектирования. При наличии строгого соответствия режимов работы и алгоритмов управления корабельных технических средств в составе комплексной ММ объекта управления техническим заданиям на разработку СУ, поступающим в

комимой составляющей выпускаемой продукции, представляется одним из стратегических направлений развития проектной сферы деятельности Общества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилов К. Ю. Перспективы развития интегрированных корабельных систем четвертого поколения // Морской вестник. – 2018. – № 2 (66). – С. 81–84.
2. Шилов К. Ю. Технические и технологические направления развития цифровых систем морской радиоэлектроники // Системы управления и обработки информации. – 2015. – № 31. – С. 3–11.
3. Федоров С. В., Строкин К. О. Организация отладки систем управления в виртуальной среде // Стандарты и качество. – 2018. – № 8 (974). – С. 106–107.
4. Федоров С. В. Применение комплексных моделей ИАСУ для отработки процессов управления и контроля // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 3 (33). – С. 41–46. ■

Современные системы автоматизации невозможно представить без сопряжения с другими судовыми системами по различным интерфейсам.

Все больше судового оборудования поставляется с локальными системами, и задача комплексной системы управления техническими средствами (КСУ ТС) – обеспечить контроль параметров и управление данными системами.

В данной статье сделан краткий обзор открытых интерфейсов и протоколов, применяемых в судовой автоматизации, описаны их характеристики и принципы работы, достоинства и недостатки.

Протокол Modbus впервые был опубликован сорок лет назад – в 1979 г. компанией «Modicon» (в настоящее время это компания «Schneider Electric»). Благодаря своей простоте Modbus стал самым популярным протоколом в промышленной автоматизации и широко применяется до настоящего времени. Протокол работает по принципу ведущий–ведомый (Master–Slave). В качестве физического уровня наиболее часто используются интерфейсы:

- RS-232 – для связи точка–точка;
- сетевые интерфейсы RS-422 (дуплексный) и RS 485 (полудуплексный).

Преимущества протокола Modbus – его простота и низкая стоимость реализации, чем объясняется его исключительная популярность.

Основной недостаток протокола – низкая пропускная способность по следующим причинам:

- Master последовательно опрашивает Slave-устройства и ждет ответ;
- время цикла опроса возрастает при росте количества запрашиваемых блоков данных и количества устройств в сети;
- при получении некорректного ответа Master повторяет запрос, поэтому в условиях помех цикл обновления данных становится еще больше.

Вторую жизнь протокол Modbus обрел, когда в 1974 г. компания «Schneider Electric» предложила использовать протокол Ethernet TCP/IP как транспорт для сообщений по протоколу Modbus, что позволило избавиться от недостатков и приобрести ряд преимуществ Ethernet, о которых мы расскажем позже.

CanOpen протокол и CAN-интерфейс. CAN-интерфейс был разработан компанией «Bosch» в 1986 г. для обеспечения связи между устройствами в автомобиле. Протокол не требует наличия мастера в сети – все устройства равнозначны.

В CAN-шине на аппаратном уровне реализован механизм неразрушающего арбитража при коллизиях. Коротко: если два устройства одновременно начинают передачу, то «побеждает» устройство с меньшим идентификатором сети.

ОБЗОР ИНТЕРФЕЙСОВ И ПРОТОКОЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МОРСКОЙ ТЕХНИКЕ

Е.В. Пименов, зам. начальника отдела систем автоматизации АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840

Данные передаются пакетами по 8 байт.

Узел сети принимает только те пакеты, которые предназначены ему. Интерфейс очень надежен благодаря многоуровневой защите от ошибок.

На физическом уровне CAN-шина представляет собой витую пару с шинной топологией. Преимуществами CAN-интерфейса являются его надежность, скорость доставки сообщений, дешевизна реализации, наличие большого количества протоколов высокого уровня.

Недостаток CAN-шины – небольшой объем передаваемых данных (при 11-битном идентификаторе $2047 \times 8 = 16\,376$ байт), необходимость снижать скорость при передаче на большое расстояние.

Протоколы высокого уровня шины CAN. CanOpen – это открытый протокол, поддерживаемый многими производителями оборудования (в том числе и морской техники), преимущественно в Европе.

DeviceNet разработан компанией «Rockwell Automation» в 1994 г.

J1939 – стандарт коммуникационной и диагностической сети для различных машин. Изначально был разработан в США для грузовиков, многие производители морских дизелей предлагают данный протокол для связи с системой мониторинга.

Компания «Bosch» продолжает развивать CAN-шину и в 2012 г. опубликовала стандарт CAN FD (CAN with Flexible Data-Rate), в котором максимальная длина пакета увеличена до 64 байт, а скорость передачи возросла за счет повышения частоты сети при передаче данных (заголовок и конец сообщения передаются на обычной скорости). Совместимость с обычной шиной CAN позволяет поэтапно вводить устройства с CAN FD в сети с CAN-шиной.

Опыт применения шины CAN в АО «МНС». В АО «МНС» шина CAN применяется с 2005 г. и реализована в следующих системах:

- система борьбы за живучесть «Каспий МЭ»;
- система машинных телеграфов АС–МТТ, АМТ;
- регистратор команд телеграфов Р–МТТ;
- система индикации частоты вращения гребного вала (тахометры) «Manager-300Т»;
- система управления электроэнергетической установкой «Manager-300Р»;
- система АПС «Manager-300М».

В 2005 г. был сертифицирован микропроцессорный комплект КМСПИ, в состав которого входит модуль-мезонин МКАН2А с двумя шинами CAN (рис. 1). Протокол CanOpen соответствует стандарту ассоциации Can in Automation (CiA) DS301.

МКАН2А имеет два исполнения: BR – для сопряжения двух сетей CAN; BS – для обеспечения резервированной шины CAN.

Использование модулей МКАН2А позволило создать резервированную сеть по топологии «звезда» для системы «Каспий МЭ» (рис. 2).

Прибор РЦУ (рис. 3) (Репитер цифровой управляющий) – это ЖК-панель морского исполнения с диагональю 5, 7 и 10 дюймов с сенсорным экраном.

Поддерживает следующие интерфейсы:

дискретный ввод.....	4
дискретный вывод.....	4
RS422/RS485	2
CAN 2.0A	2
Ethernet.....	1
Информационные протоколы*:	
..... RS422/RS485, MODBUS,	
..... WAKE, CAN 2.0A, CANopen	

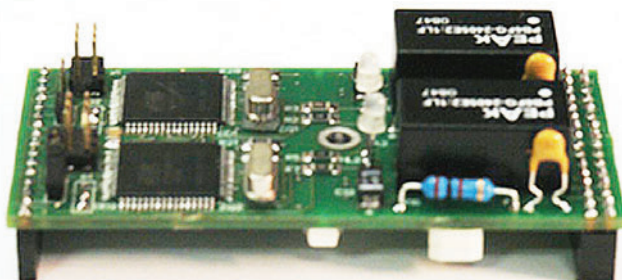


Рис. 1. Модуль-мезонин МКАН2А

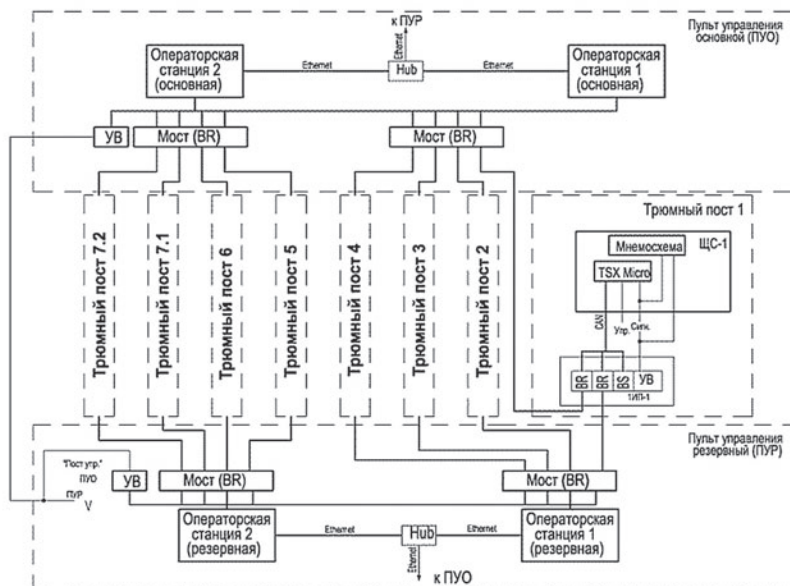


Рис. 2. Структурная схема системы «Каспий МЭ»



Рис. 3. Прибор РЦУ

Промышленный Ethernet. Сеть Ethernet и интернет окружают нас повсеместно. Однако в промышленной автоматизации их применение сдерживало отсутствие детерминированности (гарантированного времени) доставки сообщений и исключения потери данных. Это связано с тем, что в офисной сети при возникновении коллизии, когда два устройства пытаются одновременно получить доступ к шине, оба узла прекращают передачу и возобновляют ее через случайный временной интервал. Задержки в доставке сообщений увеличиваются при росте загрузки сети. Появление «умных» коммутаторов позволило решить эту проблему.

При включении в сеть коммутатор слушает сеть и определяет пары узлов, обменивающихся данными. Полученные данные он автоматически вносит в таблицу IP-адресов и в дальнейшем отправляет сообщение только в те порты, в которых есть приемники данных.

Сети Ethernet в промышленной автоматизации находят все большее применение благодаря таким преимуществам, как:

- высокая скорость (до 1 Гб/с);
- возможность перехода на оптоволоконно при необходимости передавать

большие объемы данных на большие расстояния;

- обеспечение совместимости большого количества устройств разных производителей;
 - широкий выбор оборудования для сети Ethernet;
 - возможность организации связи по принципу клиент–сервер;
 - наличие квалифицированных специалистов по сетям Ethernet;
 - возможность построения сложных многоуровневых сетей;
 - возможность построения резервированных сетей;
 - гальваническая развязка узлов сети;
- Недостатки сетей Ethernet:
- высокая стоимость;
 - ограничение длины сегмента сети (100 м);
 - сложность конфигурирования сети.

Протокол Modbus TCP/IP использует команды Modbus RTU и передает их внутри сетевого протокола TCP/IP, что позволяет воспользоваться преимуществами мощного сетевого протокола и простотой протокола Modbus RTU.

Кроме соединения устройств в сети Ethernet имеется возможность использовать шлюзы, которые преобразуют Ethernet TCP/IP в Modbus RTU для подключения к периферийным устройствам.

Оптоволоконные сети Ethernet. Оптоволоконные сети применяются при необходимости передавать большие объемы информации на большие расстояния.

Существует два типа волокна в оптических кабелях: одномодовое и многомодовое.

В одномодовом волокне сердцевина имеет меньшую площадь, меньший коэффициент затухания, что позволя-

ет предавать данные со скоростью до 100 Гбит/с на расстояние до 10 км.

Многомодовые кабели поддерживают скорость до 10 Гб/с и расстояние до 600 м.

Оптоволоконные сети имеют следующие преимущества:

- большую полосу пропускания;
- большую длину кабеля (до 100 км);
- высокую помехозащищенность;
- меньшие вес и объем по сравнению с медными кабелями;
- высокую защищенность от несанкционированного доступа;
- гальваническую развязку элементов сети;
- взрыво- и пожаробезопасность;
- лучшее соотношение цена/качество по сравнению с медными кабелями.

Однако есть и недостатки:

- высокая сложность монтажа, необходимость использования дорогостоящего оборудования и квалифицированного персонала;
- необходимость использования специального сетевого оборудования.

ВЫВОДЫ

Мы сделали обзор интерфейсов, наиболее часто встречающихся при построении КСУ ТС, выполняющей интеграцию большого количества оборудования в единый комплекс.

Растущие требования к объему и скорости передачи информации способствуют росту популярности промышленной сети Ethernet и оптоволоконных кабелей.

CAN интерфейс завоевал популярность во многих отраслях, где требуется высокая скорость и надежность доставки информации. Миграция от CAN к CAN FD позволит увеличить объем передаваемых данных в 8 раз и скорость в 3–4 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол Modbus. – <http://autoworks.com.ua/setevye-resheniya/protokol-modbus/>
2. Detailed description of the Modbus TCP protocol with command examples. – <https://m.ipc2u.com/articles/knowledge-base/detailed-description-of-the-modbus-tcp-protocol-with-command-examples/>
3. Промышленный Ethernet. – https://www.bookasutp.ru/Chapter2_9.aspx
4. Оптоволоконные конвертеры для сетей передачи данных. – <http://isup.ru/articles/45/6635/>
5. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) – Строим сеть предприятия. – https://www.insotel.ru/press/articles/stroim_set_ethernet_lvs/volonkonno-opticheskie_linii_svyazi_vols_stroim_set_predpriyatiya/
6. Introduction to the Controller Area Network (CAN) Steve Corrigan. – Application Report SLOA101B–August 2002. – Revised May 2016. ■

Рассмотрена сложная динамическая система «морской подводный объект (МПО) – длинный оптоволоконный кабель – телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА)». Задача управления ТНПА – стабилизировать положение кабеля «нулевой» плавучести длиной порядка 2 км на заданной глубине движения носителя (МПО). Для решения этой задачи предложено:

- исследовать возможность создания полномасштабной математической модели движения ТНПА в возмущенной среде;
- рассмотреть линеаризацию полной модели по плоскостям движения для решения задачи стабилизации кабеля;
- разработать алгоритмическую структуру и алгоритмы адаптивного управления ТНПА при движении МПО на ходу с фильтром с интегральными невязками в контуре управления на основе методов теории управления и фильтрации, компьютерных технологий и полномасштабного имитационного моделирования;
- провести полномасштабное имитационное моделирование работы разработанных алгоритмов управления ТНПА и алгоритмической структуры на аппаратно-программном комплексе с целью определения их эффективности.

В работе предложены полная математическая модель движения ТНПА с учетом работ [1–3] и ее линеаризация для стабилизации кабеля. Управление ТНПА на ходу осуществляется с помощью горизонтальных и вертикальных рулей. Для управления плавучестью при действии возмущений со стороны среды и кабеля в ТНПА имеется балластная цистерна. Оригинальным является включение в контур управления фильтра с интегральными невязками, что позволяет учесть

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ И АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА В СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

С.К. Данилова, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник,
А.М. Кусков, мл. науч. сотрудник,
И.М. Кусков, науч. сотрудник,
Н.Н. Тарасов, ст. науч. сотрудник, ИПУ РАН,
контакт. тел. +7 (915) 138 7098

нагрузку от кабеля на ТНПА, непредсказуемых возмущений со стороны среды и несовпадение линеаризованной и полной математической модели движения ТНПА. В заданной структуре алгоритмы управления рассчитывались на основе применения принципа максимума, компьютерных технологий с построением виртуальной модели движения сложной динамической системы и полномасштабного имитационного моделирования на созданном аппаратно-программном комплексе [4–6]. Приведен пример модели, структуры управления и алгоритма управления типового ТНПА (вес – 350 кг, длина – 3 м, длина оптоволоконного кабеля – 2 км).

ВИРТУАЛЬНЫЙ ОБРАЗ РЕШАЕМОЙ ЗАДАЧИ

На рис. 1. представлена визуализация отклонения кабеля от заданной глубины движения на 30 м вследствие изменения глубины движения носителя.

На рис. 2 представлена схема управления ТНПА по возврату положения кабеля на заданную глубину движения (графики переходных процессов)

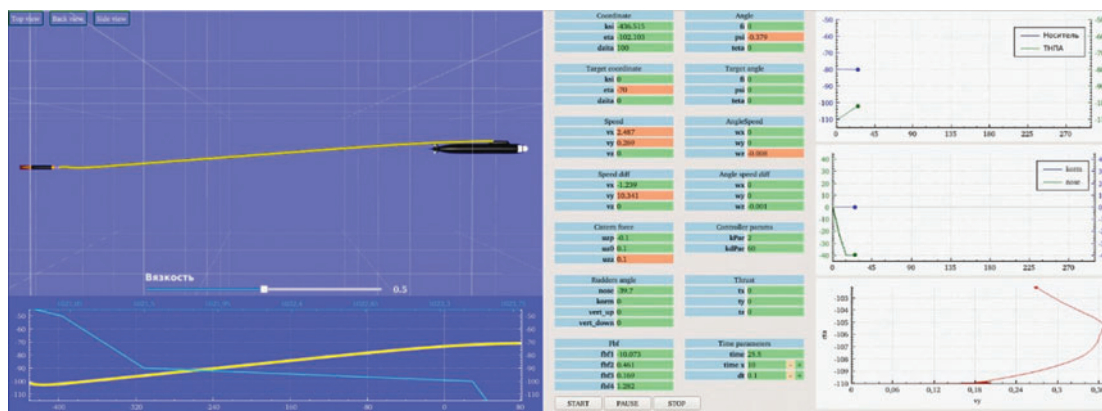


Рис. 1. Визуализация начального положения кабеля и графиков переходного процесса

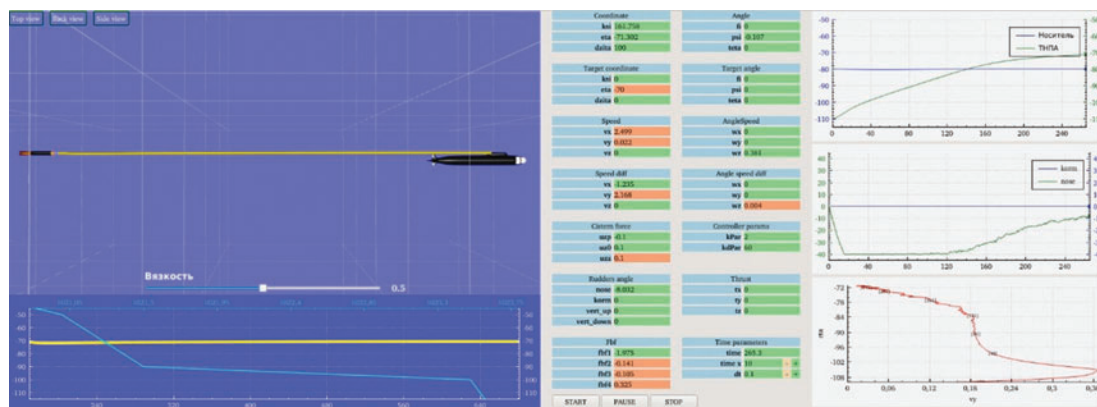


Рис. 2. Визуализация конечного положения кабеля и графиков переходного процесса

Исследование проведено на следующих линеаризованных моделях движения ТНПА:

модель объекта в вертикальной плоскости:

$$\begin{aligned}\dot{v}_x &= a_{01}\omega_z v_y + a_{02}v|v_y| + a_{03}v|v_z| - a_{04}\psi + a_{05}v_x|v_x| + b_{01}T_u + d_{01}T_x; \\ \dot{v}_y &= a_{11}vv_y + a_{12}v_x\omega_z + a_{15}v_y|v_y| + b_{11}v^2\delta_k + \\ &+ b_{12}v^2\delta_n + d_{11}C_y(0) + d_{12}T_y + d_{13}P; \\ \dot{\omega}_z &= a_{21}vv_y + a_{22}v_x\omega_z + a_{13}\psi + a_{25}v_y|v_y| + \\ &+ b_{21}v^2\delta_k + b_{22}v^2\delta_n + d_{21}C_y(0) + d_{22}T_y + d_{23}P; \\ \dot{\psi} &= \omega_z; \quad \dot{\eta} = v_y + 0,0174v\psi.\end{aligned}$$

Матричная запись полученной линеаризованной системы в вертикальной плоскости имеет вид

$$\dot{x}_b = \mathbf{A}_b x_b + f(x_b) + \mathbf{B}_b u_b + F_{ob} + w_b,$$

где $x_b = (v_x, \omega_z, \psi, \eta)^T$ – вектор фазовых координат, описывающих состояние подводного аппарата в вертикальной плоскости; $\mathbf{A}_b, \mathbf{B}_b$ – известные матрицы состояния, зависящие от продольной скорости:

$$\mathbf{A}_b = \begin{pmatrix} a_{11b}v_x & a_{12b}v_x & 0 & 0 \\ a_{21b}v_x & a_{22b}v_x & a_{23b} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & a_{41b} & 0 \end{pmatrix} \text{ и } \mathbf{B}_b = \begin{pmatrix} b_{11b}v_x^2 & b_{12b}v_x^2 \\ b_{21b}v_x^2 & b_{22b}v_x^2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$f(x_b) = (a_{13}v_y|v_y|, a_{23}v_y|v_y|, 0, 0)^T$ – вектор нелинейных составляющих полной математической модели движения; F_{ob} – вектор внешних возмущений, представляющий совокупность внешних сил и моментов (нагрузка от кабеля, неоднородности среды, несоответствие реальной и линейной моделей движения ТНПА); w_b – случайный гауссовский процесс с нулевым средним и известной ковариационной матрицей;

модель объекта в горизонтальной плоскости:

$$\begin{aligned}\dot{v}_z &= a_{11g}vv_z + a_{12g}v_x\omega_y + a_{14g}v_z|v_z| + \\ &+ b_{11g}v^2\delta_{bb} + b_{12g}v^2\delta_{bn} + d_{11g}C_z(0) + d_{12g}T_z; \\ \dot{\omega}_y &= a_{21g}vv_z + a_{22g}v_x\omega_y + a_{24g}v_z|v_z| + \\ &+ b_{21g}v^2\delta_{bb} + b_{22g}v^2\delta_{bn} + d_{21g}m_y(0) + d_{22g}T_z; \\ \dot{\phi} &= \omega_y.\end{aligned}$$

Матричная запись полученной системы имеет вид

$$\dot{x}_g = \mathbf{A}_g x_g + f(x_g) + \mathbf{B}_g u_g + F_{og} + w_g,$$

где $x_g = (v_z, \omega_y, \phi)^T$ – вектор фазовых координат, описывающих состояние подводного аппарата в горизонтальной плоскости; $\mathbf{A}_g, \mathbf{B}_g$ – известные матрицы состояния, зависящие от продольной скорости:

$$\mathbf{A}_g = \begin{pmatrix} a_{11g}v_x & a_{12g}v_x & 0 \\ a_{21g}v_x & a_{22g}v_x & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ и } \mathbf{B}_g = \begin{pmatrix} b_{11g}v_x^2 & b_{12g}v_x^2 \\ b_{21g}v_x^2 & b_{22g}v_x^2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$f(x_g) = (a_{13g}v_z|v_z|, a_{23g}v_z|v_z|, 0)^T$ – вектор нелинейных членов; F_g – вектор внешних возмущений, представляющий совокупность внешних сил и моментов, а также несоответствие реальной и линейной моделей движения; w_g – случайный гауссовский процесс с нулевым средним и известной ковариационной матрицей;

модель объекта при движении по крену:

$$\begin{aligned}\dot{\omega}_x &= a_{11k}v_x\omega_x + a_{12k}\theta + a_{13k}\omega_x|\omega_x| + a_{14k}v_xv_z + \\ &+ a_{15k}v_x\omega_y + b_{11k}v_x^2\delta_{bb} + b_{12k}v_x^2\delta_{bn}; \\ \dot{\theta} &= \omega_x.\end{aligned}$$

Матричная запись полученной системы имеет вид

$$\dot{x}_k = \mathbf{A}_k x_k + f(x_k) + \mathbf{B}_k u_k + F_{ok} + w_k,$$

где $x_k = (\omega_x, \theta)^T$ – вектор фазовых координат, описывающих состояние подводного аппарата; $\mathbf{A}_k, \mathbf{B}_k$ – известные матрицы состояния, зависящие от продольной скорости

$$\mathbf{A}_k = \begin{pmatrix} a_{11k}v_x & a_{12k} \\ a_{21k} & 0 \end{pmatrix} \text{ и } \mathbf{B}_k = \begin{pmatrix} b_{11k}v_x^2 & b_{12k}v_x^2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$f(x_k) = (a_{13k}\omega_x|\omega_x| + a_{14k}v_xv_z + a_{15k}v_x\omega_y, 0)^T$ – вектор нелинейных членов; w_k – случайный гауссовский процесс с нулевым средним и известной ковариационной матрицей.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ

Современные измерительные комплексы позволяют определять достаточно большой объем информации о параметрах движения судна. В качестве измеряемых координат в работе рассмотрены угол дифферента, курса, крена и глубины погружения. С достаточной степенью точности математическая модель системы измерения в вертикальной плоскости [7] представляется в виде

$$y_b = \mathbf{C}_b x_b + \xi_b,$$

где $\mathbf{C}_b = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ – матрица наблюдений;

$y = (y_{v_y}, y_{\omega_z}, y_{\psi}, y_{\eta})^T$ – вектор измерений координат движения; $x_b = (v_y, \omega_z, \psi, \eta)^T$ – вектор фазовых координат; $\xi_b = (\xi_{v_y}, \xi_{\omega_z}, \xi_{\psi}, \xi_{\eta})^T$ – случайная векторная помеха измерения с известными статистическими характеристиками.

Для горизонтальной плоскости

$$y_g = \mathbf{C}_g x_g + \xi_g,$$

где $\mathbf{C}_g = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ – матрица наблюдений; $y_g = (y_{v_z}, y_{\omega_y}, y_{\phi})^T$ – вектор измерений координат движения; $x_g = (v_z, \omega_y, \phi)^T$ – вектор фазовых координат; $\xi_g = (\xi_{v_z}, \xi_{\omega_y}, \xi_{\phi})^T$ – случайная векторная помеха измерения с известными статистическими характеристиками.

По крену

$$y_k = \mathbf{C}_k x_k + \xi_k,$$

где $\mathbf{C}_k = \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}$ – матрица наблюдений; $y_k = (y_{\omega_x}, y_{\theta})^T$ – вектор измерений координат движения; $x_k = (\omega_x, \theta)^T$ – вектор фазовых координат; $\xi_k = (\xi_{\omega_x}, \xi_{\theta})^T$ – случайная векторная помеха измерения с известными статистическими характеристиками.

Вектор измерений

$$y_{b1} = \mathbf{C}_{b1} x_{b1} + \xi_{b1}; \quad y_{b2} = \mathbf{C}_{b2} x_{b2} + \xi_{b2},$$

где $\mathbf{C}_{b1} = \mathbf{C}_{b2} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}$ – матрицы наблюдений; $y_{b1} = (y_{v_y}, y_{\eta})^T$, $y_{b2} = (y_{\omega_z}, y_{\psi})^T$ – векторы измерений координат движения; $x_{b1} = (v_y, \eta)^T$, $x_{b2} = (\omega_z, \psi)^T$ – векторы фазовых координат; $\xi_{b1} = (\xi_{v_y}, \xi_{\eta})^T$, $\xi_{b2} = (\xi_{\omega_z}, \xi_{\psi})^T$ – случайные векторные помехи измерения с известными статистическими характеристиками.

Входящие в модель движения ТНПА внешние возмущения можно представить как совокупность возмущений, связанных с неточностью реальной модели движения, линейным ее приближением, неоднородностью морской среды и различной величиной нагрузки от кабеля.

АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ТНПА

Для получения оценок фазовых координат движения ТНПА $\hat{x}_b = (\hat{v}_y, \hat{\omega}_z, \hat{\psi}, \hat{\eta})^T$, $\hat{x}_g = (\hat{v}_z, \hat{\omega}_y, \hat{\phi})^T$, $\hat{x}_k = (\hat{\omega}_x, \hat{\theta})^T$ $\hat{x}_{b1} = (\hat{v}_y, \hat{\eta})^T$, $\hat{x}_{b2} = (\hat{\omega}_z, \hat{\psi})^T$ по измерениям применим классический фильтр Калмана [8].

а) Калмановский алгоритм фильтрации для линеаризованной модели движения ТНПА в вертикальной плоскости

$$\dot{\hat{x}}_b = \hat{A}_b \hat{x}_b + \hat{B}_b u_b + K_{0b} (y_b - C_b \hat{x}_b),$$

где коэффициенты усиления K_{0b} определяются из уравнений Риккати $\dot{P}_b = \hat{A}_b P_b + P_b \hat{A}_b^T - P_b C_b^T R_b^{-1} C_b P_b + Q_b$, причем $K_{0b} = (K_{ij}) = P_b C_b^T R_b^{-1}$. При этом матрицы $\hat{A}_b$ и $\hat{B}_b$ имеют вид

$$\hat{A}_g = \begin{pmatrix} a_{11g} y_{Vx} & a_{12g} y_{Vx} & 0 \\ a_{21g} y_{Vx} & a_{22g} y_{Vx} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ и } \hat{B}_g = \begin{pmatrix} b_{11g} y_{Vx}^2 & b_{12g} y_{Vx}^2 \\ b_{21g} y_{Vx}^2 & b_{22g} y_{Vx}^2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

б) Калмановский алгоритм фильтрации для горизонтальной плоскости и крена

$$\dot{\hat{x}}_g = \hat{A}_g \hat{x}_g + \hat{B}_g u_g + K_{0g} (y_g - C_g \hat{x}_g),$$

где коэффициенты усиления и K_{0g} определяются из уравнений Риккати $\dot{P}_g = \hat{A}_g P_g + P_g \hat{A}_g^T - P_g C_g^T R_g^{-1} C_g P_g + Q_g$, причем $K_{0g} = (K_{ij}) = P_g C_g^T R_g^{-1}$. При этом матрицы $\hat{A}_g$ и $\hat{B}_g$ имеют вид

$$\hat{A}_g = \begin{pmatrix} a_{11g} y_{Vx} & a_{12g} y_{Vx} & 0 \\ a_{21g} y_{Vx} & a_{22g} y_{Vx} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ и } \hat{B}_g = \begin{pmatrix} b_{11g} y_{Vx}^2 & b_{12g} y_{Vx}^2 \\ b_{21g} y_{Vx}^2 & b_{22g} y_{Vx}^2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\dot{\hat{x}}_k = \hat{A}_k \hat{x}_k + \hat{B}_k u_k + K_{0k} (y_k - C_k \hat{x}_k),$$

где коэффициенты усиления и K_{0k} определяются из уравнений Риккати $\dot{P}_k = \hat{A}_k P_k + P_k \hat{A}_k^T - P_k C_k^T R_k^{-1} C_k P_k + Q_k$, причем $K_{0k} = (K_{ij}) = P_k C_k^T R_k^{-1}$. При этом матрицы $\hat{A}_k$ и $\hat{B}_k$ имеют вид

$$\hat{A}_k = \begin{pmatrix} a_{11k} y_{Vx} & a_{12k} \\ a_{21k} & 0 \end{pmatrix} \text{ и } \hat{B}_k = \begin{pmatrix} b_{11k} y_{Vx}^2 & b_{12k} y_{Vx}^2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Выполнять расчет коэффициентов K_{0b}, K_{0g}, K_{0k} на бортовых вычислителях в реальном масштабе времени нецелесообразно из-за сложности решения уравнений Риккати. Исследования, проведенные на стенде полномасштабного имитационного моделирования, показали, что эти вычисления можно выполнить на этапе проектирования системы управления, так как эти коэффициенты постоянны для каждого из рассматриваемых фильтров по плоскостям и скоростям движения МПО. Например, для скорости носителя $v = 2$ м/с, эти коэффициенты равны

$$K_{0b} = \begin{pmatrix} 3,10; 0,00; 0,00; 0,49 \\ 0,00; 3,10; 0,16; 0,00 \\ 0,00; 0,16; 3,20; 0,00 \\ 0,50; 0,00; 0,00; 3,30 \end{pmatrix}; K_{0g} = \begin{pmatrix} 2,9; 0,0; 0,0 \\ 0,0; 3,0; 0,5 \\ 0,0; 0,5; 3,3 \end{pmatrix};$$

$$K_{0k} = \begin{pmatrix} 1,1; 0,1 \\ 0,1; 3,2 \end{pmatrix}; K_{0b1} = \begin{pmatrix} 3,1; 0,5 \\ 0,5; 3,3 \end{pmatrix}; K_{0b2} = \begin{pmatrix} 3,1; 0,5 \\ 0,5; 3,3 \end{pmatrix}.$$

АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ НЕВЯЗКАМИ

Приведенные алгоритмы позволяют получать несмещенные оценки фазовых координат только в случае, когда матрицы состояния и управления A_b, B_b и A_g, B_g достоверны, а также внешние воздействия и помехи измерения представляют собой случайные гауссовские процессы с известными статистическими характеристиками. При этом невязки $v_b = y_b - C_b \hat{x}_b$ и $v_g = y_g - C_g \hat{x}_g$, представляют собой центрированные случайные процессы. При неточной информации о параметрах модели или внешних возмущающих воздействиях (нагрузка от кабеля) эта невязка перестает быть центрированной.

Для устранения этой ошибки и повышения качества оценок в работах [8, 9] предложен алгоритм, включающий в обратную связь не только текущие невязки измеряемых координат, но накапливаемые интегральные невязки. В этом случае алгоритмы фильтрации в вертикальной плоскости примут вид

$$\dot{\hat{x}}_b = \hat{A}_b \hat{x}_b + \hat{B}_b u_b + K_{0b} (y_b - C_b \hat{x}_b) + \hat{F}_b.$$

При этом оценка внешних возмущений $\hat{F}_b$ для вертикальной плоскости представляется в виде суммы интегральных невязок

$$\hat{F}_b = \sum_{i=1}^n \hat{F}_{ib} = K_{1b} \int (y_b - C_b \hat{x}_b) d\tau_i;$$

$$\dot{\hat{x}}_g = \hat{A}_g \hat{x}_g + \hat{B}_g u_g + K_{0g} (y_g - C_g \hat{x}_g) + \hat{F}_g.$$

Для горизонтальной плоскости оценка внешних возмущений $\hat{F}_g$ представляется в виде суммы интегральных невязок

$$\hat{F}_g = \sum_{i=1}^n \hat{F}_{ig} = K_{1g} \int (y_g - C_g \hat{x}_g) d\tau_i;$$

$$\dot{\hat{x}}_k = \hat{A}_k \hat{x}_k + \hat{B}_k u_k + K_{0k} (y_k - C_k \hat{x}_k) + \hat{F}_k.$$

Оценка внешних возмущений $\hat{F}_k$ представляется в виде суммы интегральных невязок

$$\hat{F}_k = \sum_{i=1}^n \hat{F}_{ik} = K_{1k} \int (y_k - C_k \hat{x}_k) d\tau_i,$$

где коэффициент усиления K_{1k} вычислен методом имитационного моделирования.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ

Структура регуляторов стандартна для вертикального и горизонтального рулей. Алгоритм управления имеет вид

$$\dot{u} = f(\sigma) - u,$$

где функция $f(\sigma)$ описывается в виде

$$f(\sigma) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\sigma| < \sigma_0; \\ du_0(\sigma - \sigma_0)/(\sigma_1 - \sigma_0), & \text{если } \sigma_0 \leq \sigma \leq \sigma_1; \\ du_0, & \text{если } \sigma > \sigma_1; \\ du_0(\sigma + \sigma_0)/(\sigma_1 - \sigma_0), & \text{если } -\sigma_1 \leq \sigma \leq -\sigma_0; \\ -du_0, & \text{если } \sigma < -\sigma_1, \end{cases}$$

где u – управляющее воздействие; du_0 определяет скорость кладки руля, σ_{ji} – функция переключения управляющих воздействий.

Если $u > u_{\max}$, то $u = u_{\max}$. Если же $u < u_{\min}$, то $u = u_{\min}$. Величины σ , как правило, определяются следующим образом:

а) при переходе по глубине и дифференту величины σ_k σ_p равны:

$$\sigma_k = k_k \hat{x} - u_k = k_\eta (\hat{\eta} - \eta_{zad}) + k_{d\eta} d\hat{\eta} + k_\psi (\hat{\psi} - \psi_{zad}) + k_{d\psi} d\hat{\psi} - u_k,$$

где k_k, k_p зависят от скорости хода и величины отклонения от стабилизируемой глубины, получаемые методами оптимального управления, причем кормовой руль отвечает за переход по дифференту, а носовой по глубине [4–6].

б) при переходе по курсу и крену

$$\sigma_{bb} = k_{bb} \hat{x} - u = k_\phi (\hat{\phi} - \phi_{zad}) + k_{d\phi} d\hat{\phi} - u_{bb};$$

$$\sigma_{bn} = k_{bn} \hat{x} - u_{bn} = k_\theta (\hat{\theta} - \theta_{zad}) + k_{d\theta} d\hat{\theta} - u_{bn},$$

причем верхний вертикальный руль отвечает за переход по курсу, а нижний за стабилизацию по крену.

УЧЕТ ВОЗМУЩЕНИЙ СО СТОРОНЫ КАБЕЛЯ НА ТНПА

Для учета возмущений со стороны кабеля на ТНПА применяются алгоритмы фильтрации, т.е. фильтр с интегральными невязками:

а) при переходе по глубине и дифференту величины σ соответственно равны

$$\sigma_k = k_k \hat{x} - u_k = k_\eta (\hat{\eta} - \eta_{zad}) + \\ + k_{d\eta} d\hat{\eta} + k_\psi (\hat{\psi} - \psi_{zad}) + k_{d\psi} d\hat{\psi} - u_k + k_f \hat{F};$$

б) при переходе по курсу и крену

$$\sigma_{bb} = k_{bb} \hat{x} - u_{bb} = k_\phi (\hat{\phi} - \phi_{zad}) + k_{d\phi} d\hat{\phi} - u_{bb} - \Delta u_\phi;$$

$$\sigma_{bn} = k_{bn} \hat{x} - u_{bn} = k_\theta (\hat{\theta} - \theta_{zad}) + k_{d\theta} d\hat{\theta} - u_{bn} - \Delta u_\theta.$$

На рис. 3 представлена структурная схема системы управления ТНПА при включении в контур управления фильтра с интегральными невязками.

Данная структура позволяет получать не только оценки фазовых координат $\hat{x}_b = (\hat{V}_z, \hat{\omega}_y, \hat{\psi}, \hat{\eta})^T$, $\hat{x}_g = (\hat{V}_y, \hat{\omega}_z, \hat{\phi})^T$, $\hat{x}_k = (\hat{\omega}_x, \hat{\theta})^T$ объекта в различных режимах плавания, но и восстанавливать неизвестные внешние возмущения, действующие на объект, в том числе и силы со стороны кабеля.

На рис. 4 представлены результаты моделирования для типового ТНПА (масса – 350 кг, длина – 3 м, скорость движения МПО 2 м/с) и перепадом вертикального возмущения в ± 120 Н соответственно.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СРЕДЫ

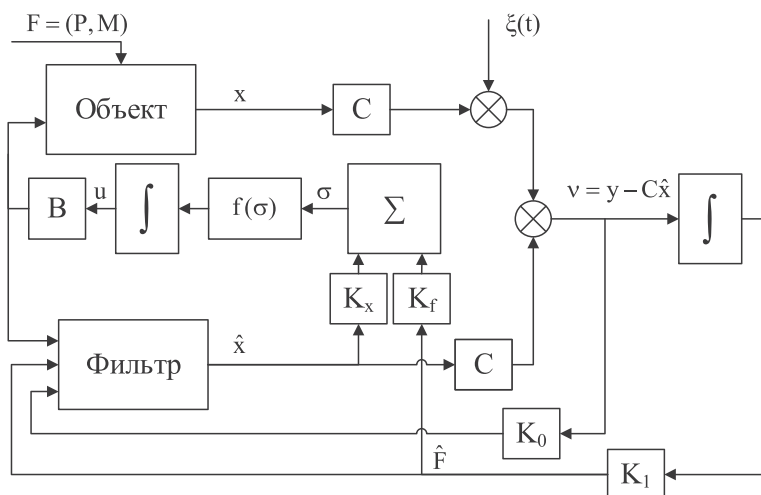


Рис. 3. Структурная схема системы управления подводным объектом с восстановлением неизвестных внешних воздействий

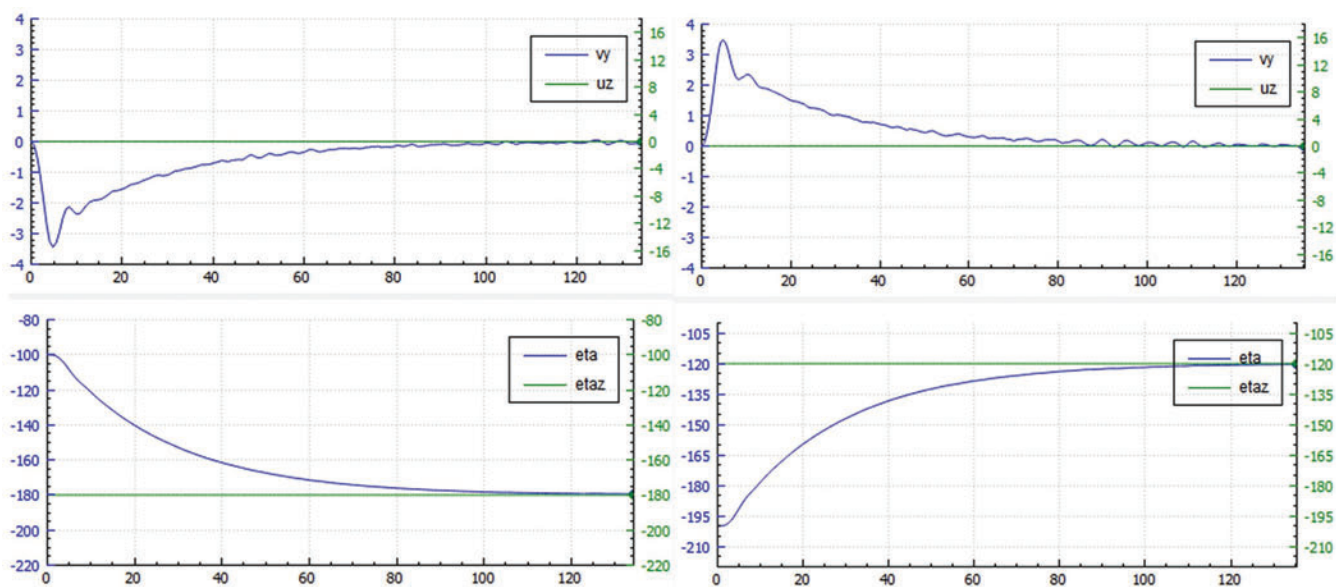


Рис. 4. Результат моделирования движения ТНПА со скоростью 2 м/с и выталкивающим (слева) и тянущим (справа) возмущением в 120 Н

НА УПРАВЛЕНИЕ ТНПА ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ КАБЕЛЯ

Нулевая плавучесть кабеля при его изготовлении определяется для среднего типового значения плотности морской среды. На стенде полномасштабного имитационного моделирования были проведены исследования по влиянию изменения плотности морской среды (вызванное, к примеру, ее распреснением) на общую плавучесть кабеля. На рис. 5 и рис. 6 представлен эффект провисания кабеля при изменении плотности среды в меньшую и большую стороны. На рис. 5 представлена визуализация моделирования кабеля при уменьшении плотности среды (распреснении) на 10 кг/м^3 .

Уменьшить провисание кабеля можно, скомпенсировать увеличением скорости движения носителя (см. рис. 6) либо включением обратного хода двигательной установки ТНПА.

ВЫВОДЫ

Предложена методика решения задачи стабилизации кабеля с помощью ТНПА на глубине движения МПО (носителя):

1. Предложенная структура системы управления ТНПА, включающая фильтр с интегральными невязками, позволяет:

- вычислить нагрузку от кабеля;
- учесть погрешность математической модели ТНПА, вызванную ее линеаризацией;
- учесть возмущения от неоднородностей водной среды (гидрологии)

2. Созданы аппаратно-программный стенд для исследования задачи управления ТНПА и программное обеспечение, позволяющее автоматизировать процесс разработки алгоритмов адаптивного управления ТНПА с целью стабилизации кабеля.

3. Разработана методология исследования сложных динамических задач на основе совместного применения аналитических методов теории управления, современных компьютерных технологий с графическим и визуальным отображением и методов полномасштабного имитационного моделирования.

Проведенное полномасштабное имитационное моделирование показало эффективность разработанных алгоритмов управления.

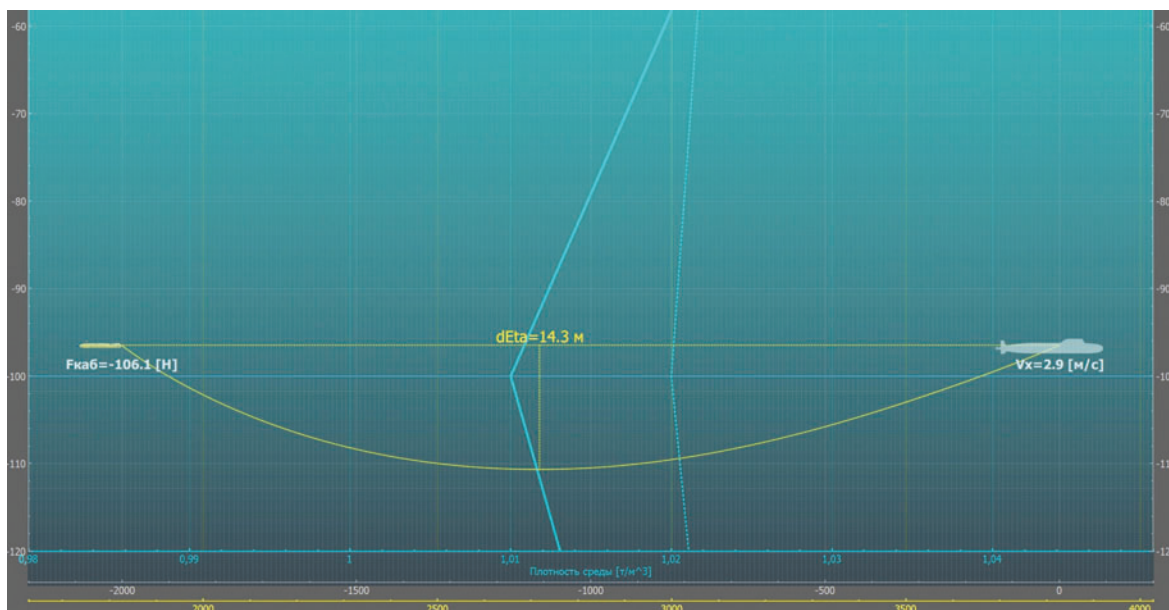


Рис. 5. Эффект провисания кабеля при распреснении среды движения на 10 кг/м^3 при скорости носителя $v = 3 \text{ м/с}$

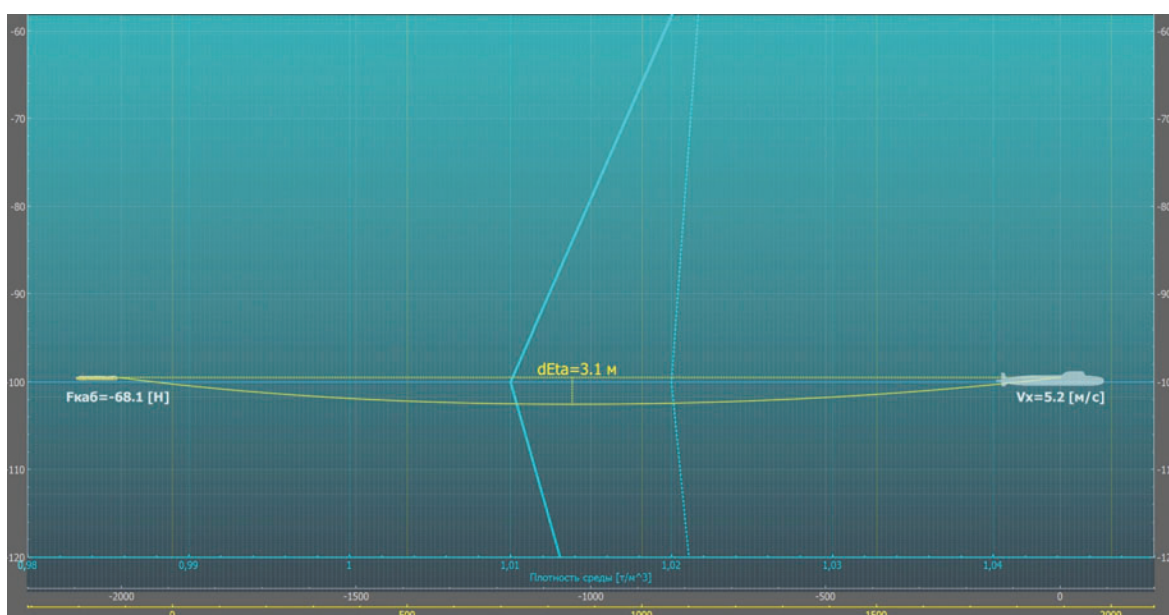


Рис. 6. Эффект провисания кабеля при распреснении среды движения на 100 кг/м^3 при скорости носителя $v = 5 \text{ м/с}$

ЛИТЕРАТУРА

1. Рождественский В.В. Динамика подводной лодки. – Л.: Судостроение, 1970.
2. Автономные подводные роботы / Под ред. М.Д. Агеева. – М.: Наука, 2005.
3. Киселев Л.В., Медведев А.В. Сравнительный анализ и оптимизация динамических свойств автономных подводных роботов различных проектов и конфигураций // Подводные исследования и робототехника. – 2012. – №1(13).
4. Борисов В.Г., Данилова С.К. Методология исследования и разработки многорежимной комплексной алгоритмической структуры системы управления морскими эргатическими объектами. – Матлы 8-й Всеросс. науч.-практ. конфер. «Перспективные системы и задачи управления», Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2013, с. 228–236.
5. Данилова С.К. Один подход к определению области достижимости вектора Ψ_0 для решения задач управления по принципу максимума. – Тр. IV Международ. конфер. по проблемам управления. – М.: ИПУ РАН, 2009, с. 201–206.
6. Данилова С.К., Кусков И.М. Проектирование безопасного управления классом морских подводных объектов на основе методов теории управления и имитационного моделирования (режим «без хода»). – Тр. 9-й Всеросс. науч.-практ. конфер. «Перспективные системы и задачи управления» и 4-й молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах». – Таганрог: Южный федеральный университет, 2014, с. 155–166.
7. Квакернаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. – М.: Мир, 1977.
8. Тарасов Н.Н., Тахтамышев М.Г. Алгоритмы получения несмещенных оценок при действии неизвестных внешних возмущений // Проблемы управления. – 2012. – №6. – С. 69–74.
9. Острецов Г.Э., Тарасов Н.Н. Управление кораблем при действии внешних возмущений с использованием интегральных невязок // Судостроение. – 2013. – №6.
10. Джонсон С. Теория регуляторов, приспособляющихся к возмущениям. – В кн.: Фильтрация и стохастическое управление динамических системах / Под ред. К.Т. Леондеса. – М.: Мир, 1980. – 406 с.
11. Леондес К.Т. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах. – М.: Мир, 1980. – 406 с. ■

В настоящее время в качестве успокоителей качки корабля широко используются бортовые кили, достаточно эффективные на судах всех типов; бортовые управляемые рули на быстроходных пассажирских судах; жидкостные цистерны разных типов на торговых судах, совершающих длительные рейсы в океане.

В среднем эти устройства могут снизить качку примерно на две трети. Как будет показано ниже, методы теории управляемых случайных процессов позволяют достичь большего снижения качки. Правда, при этом необходимо организовать противодействие с помощью компенсаторов реактивного типа. Может оказаться, что от такого компенсатора потребуется слишком большая мощность, что не всегда приемлемо. Практически целесообразно сочетать известные средства успокоения качки с несколько модифицированными методами управления случайными процессами (из-за ограничения мощности двигателя компенсатора качки), что позволит в сумме достичь существенного снижения качки по сравнению с достигнутыми в настоящее время.

Дифференциальное представление волнения. Математическую модель волнения моря можно представить в виде спектра высокочастотного процесса, выражаемого формулой

$$G(\omega) = C \frac{\alpha^2 + \omega^2}{(\alpha^2 + \beta^2)^2 + (\alpha^2 - \beta^2)^2 \omega^2 + \omega^4},$$

где ω – угловая частота; α, β – параметры спектра [2]; Сопределяется формулой $C = \frac{4\alpha(\alpha^2 + \beta^2) \cdot D}{2\alpha^2 + \beta^2}$. Параметры спектра

характеризуются значениями [1], приведенными в табл. 1.

Таблица 1
Характеристики волнения моря

Характеристика	Значения при волнении моря, баллы		
	4	6	8
Дисперсия D высоты волн, м ²	0,1	0,862	3,72
α , с ⁻¹	0,32	0,17	0,12
β , с ⁻¹	1,49	0,78	0,56

Такому спектру соответствуют дифференциальные уравнения [3]

$$d\theta_i = v_i dt + \sqrt{C_2} \cdot d \cdot w_i;$$

$$dv_i = -[(\alpha^2 + \beta^2)\theta_i + 2\alpha \cdot v_i]dt + \alpha \cdot \sqrt{C_2} d \cdot w_i,$$

где w_i – винеровский процесс; C_2 – мощность шумовой помехи.

Дифференциальное представление качки корабля. Передаточная функция, учитывающая динамические характеристики корабля, согласно работе [4] может быть представлена в виде

$$\Phi(\omega) = \frac{\omega^2}{\sqrt{(\lambda^2 - \omega^2)^2 + 4\lambda^2 \mu^2 \omega^2}}.$$

Такой передаточной функции соответствует линейный дифференциальный оператор, переводящий уравнения волнения в уравнения качки. Последний, по методике, изложенной в [5], может быть представлен системой уравнений

$$d\hat{\theta}_i = \hat{v}_i dt - 2\lambda\mu\theta_i dt;$$

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ, УМЕНЬШАЮЩИХ КАЧКУ КОРАБЛЯ

А.П. Лось, д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотрудник,
А.К. Розов, д-р техн. наук., науч. сотрудник, ВУНЦ ВМФ «ВМА»,
контакт. тел. +7(950) 046 0571

$$d\hat{v}_i = -(\lambda^2 \hat{\theta}_i + 2\lambda\mu \hat{v}_i)dt + (-\lambda^2 + 4\lambda^2 \mu^2)\theta_i dt,$$

где μ – коэффициент демпфирования; λ – средняя частота качки.

Основные понятия теории управления случайными процессами. В основе теоретических исследований по методам управления случайными процессами были положены идеи динамического программирования Р. Беллмана и последовательного анализа А. Вальда.

Случайные последовательности, управляемые по неполным данным, впервые систематически изучались А. Ширяевым [6]. Это довольно сложная область математической статистики, еще не завершенная в своей разработке.

В качестве управляемой системы рассматривается система многомерного процесса $\theta_1(t), \dots, \theta_k(t)$, представляемая стохастическим уравнением

$$d\theta_i = [C(t)U_i + Q(t)\theta_i]dt + \delta(t)dw(t),$$

где $C(t), Q(t), \delta(t)$ – матрицы размерностями $k \times c, l \times v; l \times c$ – детерминированные функции времени; w – винеровский процесс.

В значительной части работ по управляемым процессам диффузионного типа рассматривается задача управления динамическими системами приведенного вида с квадратичным критерием качества, когда математическое ожидание квадратичной формы от переменного состояния θ_i и управления U_i на фиксированном интервале времени T имеет вид

$$V(U, T) = M \left\{ \theta_i^* h \theta_i + \int_0^T [\theta_i^* H(t) \theta_i + U_i^* R(t) U_i] dt \right\},$$

где $R(t)$ – симметричная матрица с элементами функции времени.

Обычно функционал $V(U, T)$ интерпретируется как «ошибка системы плюс управляемое усилие». Слагаемые с θ_i рассматриваются как плата за отклонение траектории от некоторой желательной траектории, слагаемые с U_i – как плата за использование управляющих воздействий, слагаемое $\theta_i^* h \theta_i$ – как плата за неудачу в достижении некоторого целевого множества к моменту остановки. Следовательно, $V(U, T)$ представляет собой в известной мере компромисс между ошибками состояния и управляющим усилием.

Задача управления состоит в определении последовательно поступающих значений U_i , минимизирующих $V(U, T)$. Согласно теореме, приведенной в работе [7], определяемое управление характеризуется формулой

$$U_i = -R^{-1}C^*(t)P(t)\hat{m}_i; \quad 0 \leq t \leq T,$$

где матрица $P(t)$ является решением уравнения Риккати $\dot{P}(t) = \alpha(t)P(t) + P(t)\alpha^*(t) + H(t) - P(t)C(t)R^{-1}(t)C^*(t)P(t)$,

$$P(T) = h.$$

При этом цена управления окажется равной

$$J(U) = m_0 P(0) m_0 + \int_0^T \text{tr} [b^*(s) P(s) b(s)] ds + \text{tr} [h \cdot P(0)],$$

$$m_0 = M \theta_0.$$

Здесь через tr обозначен след матрицы $A = X \cdot Y$:

$$\text{tr} X \cdot Y = \sum_{i,j} X_{i,j} \cdot Y_{i,j}.$$

При достаточно больших значениях T (и постоянных во времени высоты волн $H(t) = H$ и $R(t) = R$) режим управления устанавливается и превращается в стационарный. В этом случае дифференциальные уравнения для $P(t)$ будут алгебраическими и P_T можно найти в результате их решения, а в одномерном случае – как корень уравнения

$$CR^{-1}C^*P_T^2 - 2\alpha P_T - H = 0.$$

Именно этот случай установившегося управления и интересует. Для него может быть определена зависимость эффективности управления – величины дисперсии управляемого процесса от значения P_T , а также их зависимость от величины помех C . В приведенном ниже примере будет оценено различие в значениях $D\theta_t$ и $D\tilde{U}_0(t)$ от H на более простой модели волнения и качки. При этом заметим, что для того, чтобы частота волнения была несколько больше частоты качки, параметр b будет взят несколько большим, чем в уравнениях для качки.

Пример. Управление в условиях волнения водной среды и качки корабля. Уравнения волнения с учетом приведенных выше ограничений могут быть представлены рекуррентными соотношениями:

$$\hat{\theta}_{t_{k+1}} = \hat{\theta}_{t_k} + \hat{v}_{t_k} \cdot \Delta;$$

$$\hat{v}_{t_{k+1}} = \hat{v}_{t_k} - (\hat{b}_0 \hat{\theta}_{t_k} + \hat{b}_1 \hat{v}_{t_k}) \cdot \Delta + \sigma \sqrt{C_2} \cdot X_{t_{k+1}}^{(b)};$$

$$\sigma = \hat{\delta}_1 \sqrt{b_0 - \frac{b_1^2}{4}}; \quad X_{t_{k+1}}^{(b)} \sim N(0,1),$$

где Δ – величина шага моделирования; $\hat{\theta}_0 = \hat{v}_0 = 0$; $b_0 = 1,5\pi^2 C^{-2}$; $b_1 = 0$; $\pi \hat{n}^{-1}, C = 1$ с.

Управление качкой определяется соотношениями:

$$\theta_{t_{k+1}} = \theta_{t_k} + [\tilde{U}_0(t_k) + v_{t_k}] \cdot \Delta;$$

$$v_{t_{k+1}} = v_{t_k} - (\delta_0 \theta_{t_k} + b_1 v_{t_k}) \cdot \Delta + \hat{\theta}_{t_k} \cdot \Delta;$$

$$\theta_0 = v_0 = 0; \quad b_0 = \pi^2 c^{-2}; \quad b_1 = 0, \pi c^{-1}.$$

Результаты моделирования – зависимость $D\theta_t$ и $D\tilde{U}_0(t)$ от H имеет вид, приведенный в табл. 2.

Приведенные результаты показывают, каким путем следует вычислять управляющее воздействие $\tilde{U}_0(t)$ и

Результаты моделирования

Зависимость	Значения H				
	0	10	10^2	10^3	10^4
$D\theta_t$	0,4078	0,0883	0,01849	0,001849	0,000182
$D\tilde{U}_0(t)$	0	0,4742	1,514	1,753	1,788

какую эффективность можно ожидать от его применения для уменьшения качки корабля.

Заметим, что само $\tilde{U}_0(t)$ должно быть представлено в единицах силы. Для этого должно быть учтено ускорение, определяемое производной процесса θ_t , и значением момента инерции (массы) корпуса корабля.

Сама конструкция компенсатора, а также размещение его на палубе корабля или за бортом требует специального анализа и является технической задачей, не рассматриваемой в данной статье.

Исходя из приведенного теоретического подхода, компенсатор должен обладать регулируемой мощностью. Скорее всего, это будет двигатель реактивного типа, подобно тем, которые поставляются на самолеты, или двигатель, приводящий во вращение подкильные винты. Возможны и другие варианты компенсаторов качки.

Подведем итоги предыдущего изложения перечнем узлов, составляющих систему уменьшения качки корабля. Ими являются:

- индикатор, отслеживающий мгновенные значения качки θ_t ;
- цифровой вычислитель (компьютер) для вычисления $\tilde{U}_0(t)$;
- регулируемый компенсатор качки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Четыркин Н.В. Обусловия расчета характеристик внешних сил при вероятностной оценке общей прочности корпуса судна. – Л.: Изд. ЦНИИМФ, 1962. – Вып.41.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Советское радио, 1977.
3. Розов А.К. Оптимальные статистические решения. – СПб.: Политехника, 2016. – 260 с.
4. Справочник по теории корабля: Статистика судов: Качка судов. – Т. 2. – Л.: Судостроение, 1985. – 440 с.
5. Пугачев В.С., Синицин И.Н. Статистические дифференциальные системы. – М.: Наука, 1985. – 559 с.
6. Щиряев А.Н. К теории решающих функций и управлению процессом наблюдения по неполным данным. – Докл. на III Пражской конф., 1962. – Тр. Пражской конференции, Prague, 1964. – Л.: Судостроение, 1985. – 440 с.
7. Липцер Р.Ш., Щиряев А.Н. Статистика случайных процессов. – М.: Наука, 1974. – 696 с. ■

Развитие теоретических принципов интерпретации сложных процессов и явлений в современных исследованиях и практических приложениях характеризуется интеграцией интеллектуальных технологий XXI в. и высокопроизводительных вычислений [1 – 15]. Такая интеграция способствует развитию инновационного подхода в системе образования, связанного с построением формализованных теорий при решении сложных научно-технических проблем по созданию новой техники и технологий.

Теория систем искусственного интеллекта (СИИ), реализующая динамическую модель современной теории катастроф (СТК) [6], открывает возможности функционального анализа и математической логики при аналитической и геометрической интерпретации физических аспектов различных приложений сложных технических систем в пространствах поведения и управления, определяемых процессы идентификации, аппроксимации и прогноза. Большинство приложений базируется на интеграции знаний о поведении исследуемых феноменов на основе концептуальных моделей, онтологических принципов и аксиоматики СИИ новых поколений.

Ниже рассмотрен подход, определяющий совершенствование подготовки иностранных специалистов на базе системы знаний в области моделирования эволюционной динамики сложных систем на основе СТК и компьютерной математики (КМ) [6 – 8]. Результаты анализа выполнены с целью приложения к задачам интерпретации морских динамических объектов (ДО) с учетом следующих особенностей:

- снижение неопределенности при обработке данных динамических измерений и построении формализованной системы знаний;
- моделирование и визуализация результатов вычислений при функционировании СИИ в сложной динамической среде;
- интеграция знаний при разработке управляющих воздействий и организации системы поддержки принятия решений (ППР).

Концептуальные решения, на базе которых формируется парадигма виртуального моделирования при интерпретации поведения ДО, поддерживаются достижениями современной компьютерной математики с помощью нейродинамических (ND), мультиагентных, символических и когнитивных систем [8].

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ИНОСТРАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ОСНОВЕ ДОСТИЖЕНИЙ СОВРЕМЕННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ И ТЕОРИИ КАТАСТРОФ

В.В. Григорьев-Голубев, канд. физ.-матем. наук, декан,

Ю.И. Нечаев, д-р техн. наук, проф.,

К.В. Рождественский, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, проректор по международным связям, СПбГМТУ, контакт. тел. (812) 751 1911, 714 2923

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТВОРЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИОБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ

Развитие новых подходов к моделированию динамики сложных систем в эволюционирующей среде открывает перспективы создания интеграционных теорий и концептуальных решений при интерпретации динамических ситуаций в режиме экстренных вычислений (Urgent Computing – UC) [15]. Сложность и комплексность проблемы интеграции достижений искусственного интеллекта (ИИ) и высокопроизводительных вычислений потребовали разработки формализованной системы интерпретации знаний на основе методов КМ. Такая интеграция осуществляется в рамках концептуальных моделей СТК, ориентированной на преобразование информации в виде цепочки «моделирование–прогнозирование–принятие решений».

Исследования и разработки в области эволюционной динамики сложных систем, особенно нелинейных нестационарных систем (NN-систем) [7] позволяют перестроить этот курс

на основе достижений интеллектуальных технологий XXI в. [5, 9] и СТК [6]. Рассмотрение КМ как эффективного инструмента интерпретации сложного взаимодействия позволяет более гибко и адекватно описывать феномен поведения в условиях неопределенности и неполноты исходной информации. Формирование теоретических моделей КМ в различных приложениях связано с построением функций интерпретации эволюционной динамики диссипативных систем – исходного теоретического базиса проблемы. Поддержка процедур интерпретации сформулирована в виде принципов и концептуальных решений, позволяющих эффективно применять методы КМ в сложных динамических средах. Основные модели эволюционной динамики содержательно охватывают решение проблем реконструкции пространств поведения, управления и бифуркационного множества СТК в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды.

Общая модель преобразования информации при построении курса лекций в рамках сервисно-ориентирован-



Рис. 1. Концептуальный базис построения курса компьютерной математики на основе СОА

ной архитектуры (COA) [14] представлена на рис. 1. Здесь выделены основные сервисы, обеспечивающие поддержку функционирования системы обучения в рамках интерактивного диалога с аудиторией. Опыт чтения лекций в ведущих университетах мира – Кембридже и Оксфорде (Англия) и Гарвардском университете (США) – позволяют организовать учебный процесс на современном уровне в виде такого диалога. Такая интерпретация процесса обучения позволяет построить читаемый курс в виде обсуждения проблем, представленных в теоретической части лекции, а компьютерная поддержка в виде COA – обеспечить необходимыми вычислительными средствами интеллектуальной поддержки (ИП) работу с современным аппаратом анализа и синтеза генерируемых решений.

Сервисы А – Н обеспечивают изложение курса на уровне проблемного диалога с аудиторией в виде процедур ИП в пространствах проведения и управления СТК. Причем сервисы А – D содержат формализованные процедуры идентификации, оценки особенностей ситуации, аппроксимации и прогноза, а сервисы Е – Н – генерацию и анализ альтернатив, выработку управленческих решений и их реализацию.

Студент как будущий специалист в области судостроения и морской техники в ряде случаев становится и оператором системы управления – специалистом необычного профиля, профессиональная деятельность которого отличается тем, что принимать решения ему придется в сложных (экстремальных и нештатных) ситуациях в условиях неопределенности и дефицита времени. Именно поэтому курс КМ призван обеспечить процедуры ИП необходимым аппаратом знаний, определяющим содержание лекционного курса. Структура лекции представлена на рис. 2, где дается содержательная интерпретация последовательности приобретения знаний при интерактивном взаимодействии с аудиторией.

В процессе диалога с аудиторией сначала представляется теоретический базис изучаемой проблемы, на основе которого ведется постановка и обсуждение предлагаемых решений с использованием ИП программного комплекса моделирования и визуализации динамических ситуаций. Для обеспечения современного уровня интерактивного взаимодействия используются принципы человеко-машинного обучения на базе математического аппарата знаний, построенного в рамках интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений [5 – 9, 13 – 15].



Рис. 2. Концептуальная модель, определяющая структуру проблемной лекции

СОВРЕМЕННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МАТЕМАТИКА И ПАРАДИГМЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Развитие новых подходов к обработке информации в сложной динамической среде открывает перспективы развития концептуальных решений при интерпретации динамических ситуаций в режиме УС. Сложность и комплексность проблемы интеграции достижений ИИ и высокопроизводительных технологий потребовали разработки формализованной системы знаний о состоянии и развитии методов современной компьютерной математики в рамках концептуальных моделей динамической теории катастроф, ориентированных на преобразование информации в виде цепочки «моделирование–прогнозирование–принятие решений». Истоки формального аппарата компьютерной математики в приложении к рассматри-

ваемой проблеме можно проследить на основе представлений математической системы, изложенных в работе [3].

Рассмотрим состояние компьютерной математики на основе сравнительного анализа исходной модели [3] и современного подхода в рамках динамической теории катастроф [6]. Результаты анализа выполнены с целью приложения к задачам интерпретации сложных динамических систем (рис. 3), где использованы следующие обозначения:

А – теория функций, обратные функции и отображения, графические структуры, логическая арифметика, матрицы и векторные пространства, алгебраические структуры;

В – концепция теории множеств, фазовые структуры, отношения в базах данных и структурах данных, аналитические свойства функций и функционального анализа;



Рис. 3. Сравнительный анализ вычислительных технологий компьютерной математики: А, В, С – концептуальные решения [3]; D, E, F – парадигма СТК [6]

С – теория множеств, структуры данных и представления графов, маршруты, циклы и связность, теория функций и отображений, элементы компьютерной геометрии;

Д – концепция УС, интегрирующая достижения ИИ и современной компьютерной математики при формализации знаний, построении НФС, выполнении алгоритмов обработки информации в процессе возникновения и развития критических ситуаций на интервале реализации;

Е – гибридные технологии, реализующие комплексный подход к моделированию и интерпретации динамических ситуаций на основе концепций Data Mining, Soft Computing, ND-систем, когнитивного, символического и мультиагентного моделирования;

Ф – концепция Big Data обеспечивающая адаптацию и развитие современного компьютерного моделирования с использованием больших наборов данных из различных источников, включая информацию, полученную в результате вычислительных экспериментов с учетом особенностей вычислительно-интенсивных (Computationally Intensive) и информационно-интенсивных (Data Intensive) задач на базе высокоуровневых средств описания динамики взаимодействия.

Результаты сравнительного анализа информационного пространства данных, приведенных в пунктах А – F и на рис. 3, позволяют сделать следующие основные выводы:

- подход [3] ориентирован на выполнение математических операций, основанных на построении вычислительного комплекса компьютерной математики в рамках традиционных представлений об интерпретации динамики взаимодействия на основе классической математики;
- парадигма, реализующая современную теорию катастроф, обеспечивает более высокий уровень контроля динамических ситуаций с учетом реально взаимодействующих динамических полей внешнего возмущения и развития эволюционной динамики в нестационарной среде УС и много-режимного принципа синергетического управления;
- формализация потоков информации в рамках концептуальных решений современной теории катастроф, отражающая вычислительную среду компьютерной математики на основе современных представлений о поведении эволюционирующих систем как о процессах преобразования информации при интеллектуальной поддержке «облачных» вычислений, Грид-технологий, ND-систем и СИИ новых поколений.

Таким образом, принципиальное отличие рассматриваемого подхода к интерпретации динамических ситуаций состоит том, что структуры знаний на этапах оценки параметров внешней среды, состояния ДО и динамики взаимодействия построены на основе новых представлений о процессах развития эволюционной динамики сложных систем. Формальные модели и алгоритмы преобразования информации, положенные в основу концептуальных решений, построены с использованием реальных данных о динамике внешней среды в виде «климатического спектра» морского волнения и нестационарных порывов ветрового потока. Оценка поведения ДО и динамики взаимодействия отображает интерпретацию сложных процессов эволюции в критических режимах движения на основе модифицированных моделей Дюффинга и Матье, компоненты которых учитывают интерференционную составляющую взаимодействия корабельных и набегających волн, модель расчета которой до сих пор не разработана в рамках приложений классической математики в задачах поведения ДО при различном уровне действующих возмущений. Важное отличие нового подхода к оценке триады «внешняя среда»–«динамика объекта»–«динамика взаимодействия» состоит в учете фактора УС и технологий обработки информации в сложных динамических средах на основе достижений суперкомпьютерных технологий.

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрим проблему реализации методов виртуального моделирования при параллельной обработке информации в мультипроцессорной вычислительной среде на основе СТК [6 – 8] (рис. 4).

Среди множества задач планирования действий в системе ИП обучения выделяют две наиболее типичные задачи:

1. Минимальное время реализации конкретной задачи интерпретации генерируемого решения при допустимом уровне ошибок (уровне риска решения) [1, 5, 11]:

$$\sum_{i=1}^N t_i \rightarrow \min, \mu(H^*) \leq \mu_{\text{per}}, \quad (1)$$

где t_i – время выполнения i -й оперативной единицы алгоритма в системе ИП; $i = 1, \dots, N$ – интегральная оценка функции риска формируемого плана решения задачи $\mu(H^*)$ с учетом функции риска; H – множество возможных планов решения (альтернатив); μ_{per} – заданный уровень риска.

Как следует из выражения (1), минимизация времени выполнения алгоритма решения модельной задачи в процессе обучения устраняет временную избыточность в формируемом плане при ограниченной степени риска.

2. Максимальная надежность генерируемых решений при допустимом времени их реализации в сложной динамической среде

$$m(H^*) \rightarrow \max \sum_{i=1}^N t_i \leq T_{\text{per}}, \quad (2)$$

где T_{per} – допустимое время выполнения плана операции.

Время генерации и принятия управленческих решений является основной характеристикой и наиболее существенным фактором сложности решения задачи в процессе обучения. В условиях дефицита времени обучаемый принимает решение по «свернутым» алгоритмам, полагаясь на свою интуицию и опыт. При этом возникает риск неправильных действий по устранению неадекватных решений и конфликтных ситуаций в системе интерактивного взаимодействия.

Задача обучения при оценке параметров пространства поведения и управления содержат неопределенности при взаимодействии исследуемого ДО с внешней средой. Совокупность неопределенностей разделяют на две группы: неопределенности в исходных данных и в процедурах моделирования. К первой

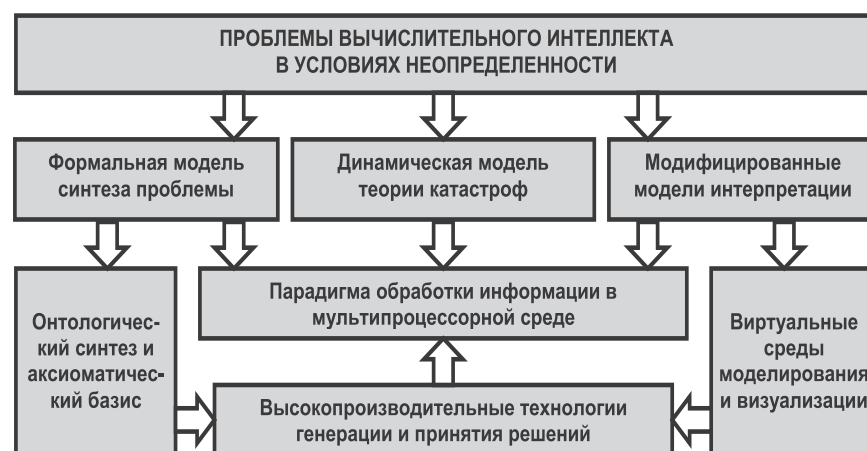


Рис. 4. Концептуальная модель высокопроизводительных вычислений в условиях неопределенности

группе относятся: структурная неопределенность при неполной информации связей «вход – выход» исследуемой модели; стохастическая неопределенность, определяемая уровнем шума в выборке данных, и информационная неопределенность, зависящая от качества выборки и числа измерений. Вторая группа включает: функциональную неопределенность, возникающую при выборе функционального базиса; параметрическую неопределенность, определяющую выбор алгоритмов решения задачи идентификации, аппроксимации и прогноза, и критериальную неопределенность, связанную с выбором критериев и методов решения задач структурной идентификации.

При формализации среды функционирования с учетом неопределенностей в исходных данных можно выделить три среды моделирования и визуализации текущей ситуации, которые используются при оценке адекватности разрабатываемых математических моделей: *слабая неопределенность*, определяемая сложностью формализации динамики взаимодействия с учетом действующих факторов и критериального базиса; *значительная неопределенность* в сложных условиях взаимодействия при различном уровне внешних возмущений; *полная неопределенность*, обусловленная отсутствием модели взаимодействия и формализуемая на основе гипотез и упрощающих предположений [7].

Оценка адекватности функции интерпретации поведения разрабатываемого ДО осуществляется путем сопоставления текущей $M[S(Cur)]$ и эталонной $M[S(Prec)]$ моделей. В условиях значительной неопределенности используется логический базис нечеткой формальной системы (НФС): модель функции интерпретации считается адекватной выделенному прецеденту при условии выполнения критерия адекватности в виде [7]:

$$CR\{M[S(Cur)], M[S(Prec)]\} \in \mu(tr), \quad (3)$$

где $\mu(tr)$ – функция принадлежности (ФП), определяющая значения порога нечеткого равенства ситуаций $\mu(tr) \in [0,8;1,0]$.

Критерий оптимальности при выборе модели интерпретации в условиях неопределенности представляет собой отображение на множестве допустимых решений

$$Q := M_1 \rightarrow R^+, \quad (4)$$

где R^+ – множество неотрицательных вещественных чисел.

Функция Q позволяет реализовать процедуру сравнения вариантов решения $m' \in M'$, если

$$Q(m') = \min Q'(m'), m' \in M'. \quad (5)$$

Оптимизационная задача $\langle M, D, Q \rangle$ содержит M – пространство решений, D – ограничения в M допустимой области

$$M' \subseteq D, Q: M' \rightarrow R^+ \quad (6)$$

с критерием оптимальности Q .

При анализе и выборе вычислительных процедур виртуального моделирования на основе системы ИП используются *нечеткие отношения* R . Такие отношения формируются на основе НФС для заданного множества X и нечеткого подмножества декартова произведения $X \times X$, характеризующегося функциями принадлежности (ФП) $\mu_R: X \times X \rightarrow [0, 1]$. Носителем нечеткого отношения R на множестве X является подмножество декартова произведения $X \times X$ вида

$$\text{Supp } R = \{(x_i, x_j) | (x_i, x_j) \in X \times X, \mu_R(x_i, x_j) > 0\}. \quad (7)$$

Нечеткое отношение R задается в виде матрицы смежности и графа отношений. Строки и столбцы матрицы смежности помечаются элементами $x \in X$, а на пересечении i -й строки и j -го столбца располагается элемент $r_{ij} = \mu_R(x_i, x_j)$, где $\mu_R(x_i, x_j)$ – ФП элемента из $X \times X$ нечеткому графу R . Граф отношения R представляется множеством вершин X и дуг (x_i, x_j) , которым предписано соответствующее значение функции принадлежности μ_R .

Таким образом, классификацию математических моделей в рамках представлений (3) – (7) проводят по элементам модели и зависимости, описываемой целевую функцию, ограничения и граничные условия. При этом модель (3) обеспечивает выполнение основной задачи интерпретации – создание вычислительной среды виртуального моделирования процессов, протекающих параллельно и обеспечивающих организацию информационного обмена (синхронизацию), а также механизмы генерации и принятия решений в сложной динамической среде. Направления исследований в задачах динамики в условиях неопределенности связаны с формированием множества альтернатив

и выбором решения на основе концепции конкуренции, а также сценарного подхода и ансамблевого моделирования, которое рассматривается как управление совокупностью альтернативных решений [7].

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МУЛЬТИМОДЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ИП ПРИОБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ

При разработке СИИ новых поколений используется мультимодельный комплекс (ММК) компьютерного моделирования на основе GRID-систем, технологий «облачных» вычислений (CLOUD-технологии) [11] и сервисно-ориентированной архитектуры (COA) [12]. Принципиально важным является переход от формальных методов интерпретации динамических ситуаций к практическим результатам представления состояний систем, полученных на основе современной компьютерной математики и СТК [6 – 8].

Организация СИИ как открытой развивающейся АДС представляется в следующем виде:

$$ADS = (s \in S, Str(I, U), G(Str, Dec), Int(F), P(F, E), C(S), I(Dec), U(Dec)), \quad (8)$$

где $s \in S$ – элементы системы; $Str(I, U)$ – структура системы в виде совокупности информационных и управляющих связей; $G(Str, Dec)$ – порядок функционирования (оценка состояния объекта управления (ОУ), генерация стратегий и выбор решения), $Int(F)$ – интервал функционирования; $P(FE)$ – предпочтения функциональных элементов; $C(S)$ – допустимые множества состояний ОУ; $I(Dec)$ – информация на момент принятия решения; $U(Dec)$ – механизмы управления и правила принятия управленческих решений.

Пространство знаний (6) определяет построение логической системы управления основе НФС. Структура ММК представлена на рис. 5.

Представленная структура характеризует отображение $f: T \rightarrow X$, определяемое как сеть топологического

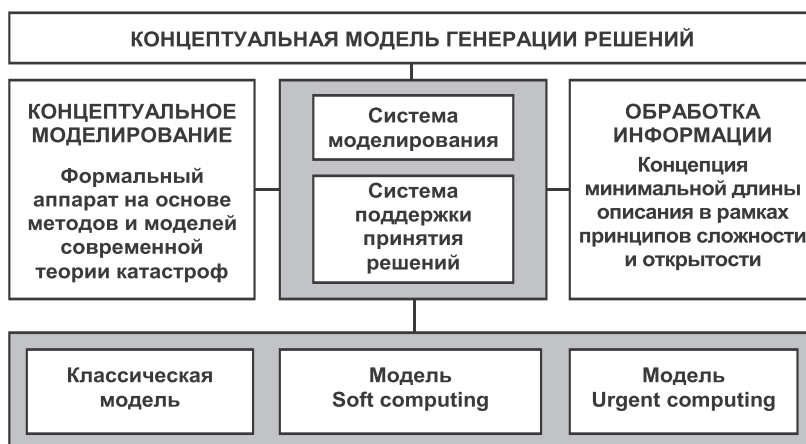


Рис. 5. ММК интерпретации поведения МДО

пространства (семантическая, иерархическая, динамическая), где T – направленное множество. Сеть включена в множество $B \subset X$, если существует $t_0 < T$ такое, что

$$(t_0 < t) \Rightarrow [f_i \in B]. \quad (9)$$

Для удобства формализации и представления информации мульти-модельных структур проблемной области используется матрица $K(ONT)$ (Knowledge-Ontology) [7]:

$$K(ONT) = \begin{pmatrix} T(S)_1 & B(S)_1 & U(S)_1 & C(S)_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ T(S)_i & B(S)_i & U(S)_i & C(S)_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ T(S)_n & B(S)_n & U(S)_n & C(S)_n \end{pmatrix}, \quad (10)$$

в которой столбцы представлены множествами, определяющими классы математических описаний $T(S)$, модели поведения $B(S)$, модели управления $U(S)$ и модели взаимодействия $C(S)$.

Оперативный модуль СИИ осуществляет контроль развития текущей ситуации при различном уровне неопределенности на основе концептуальной модели, построенной с заданными ограничениями, условиями функционирования и приоритетами. Компоненты, обеспечивающие цепочку преобразования информации реализуются на основе представления:

$$< AF \rightarrow SU \rightarrow DS >, \quad (11)$$

где AF – анализ и прогноз ситуации; SU – выработка стратегий управления; DS – принятие решений и оперативное управление.

Модель функционирования интегрированного комплекса СИИ содержит множество элементов на интервале реализации $[t_0, t_k]$:

$$Set(E)t = < Set(Appr)t \cup Set(Ident)t \cup \cup Set(For)t >, t \in [t_0, t_k], \quad (12)$$

где кортеж $<\bullet>$ определяет пространства поведения и управления R^n и R^r СТК [6], интегрирующие множества задач идентификации $Set(Ident)$, аппроксима-

ции $Set(Appr)$ и прогноза $Set(For)$.

Последовательность операций выполнения преобразований в пространствах R^n и R^r позволяет рассматривать цепочку множеств $M_1 \subset M_2 \subset \dots \subset M_n$. Задача нахождения приближенного квазирешения на компакте M сводится к минимизации функционала, т.е. к нахождению минимума функции переменных.

Факторы, определяющие иерархическую структуру, позволяют реализовать совокупность взаимодействий ДО с внешней средой как иерархически взаимосвязанные фазы эволюции на множествах поведения и управления СТК. Интерпретация процессов взаимодействия ДО в этих пространствах обеспечивается на основе приведенных концептуальных решений ММК и состоит в формировании структуры с различными описаниями классов задач в пространстве управляющих переменных области поиска с системой ограничений [8]:

$$z_i^- \leq z_i \leq z_i^+, \quad i = 1, \dots, r, \quad (13)$$

где z_i^+ и z_i^- – нижний и верхний пределы значений для i -й управляющей переменной, а r – число управляемых переменных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практические приложения рассмотренного подхода к построению структуры знаний современной подготовки зарубежных специалистов на базе СТК и компьютерной математики охватывают широкий класс прикладных задач инновационного образования в области создания новой техники и технологий. Обсуждаемые примеры взаимодействия МДО с внешней средой связаны с использованием теоретических основ моделирования NN-систем на основе концептуальных решений СИИ: возникновения пульсирующей «потенциальной ямы», посадка ЛА в морских условиях, моделирование чрезвычайных ситуаций при ударе разрушающейся и экстремальной волны, а также в услови-

ях интенсивного обледенения [1, 6 – 8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бортовые интеллектуальные системы. – Ч. 1: Авиационные системы. Ч. 2: Корабельные системы. – М.: Радиотехника, 2006. Ч. 3: Системы корабельной посадки летательных аппаратов. – М.: Радиотехника, 2008.
2. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987.
3. Кук Д., Бейс Г. Компьютерная математика. – М.: Наука. 1990.
4. Моисеев Н.Н. Избранные труды. – М.: Тайрекс Ко, 2003.
5. Нейрокомпьютеры в интеллектуальных технологиях XXI века. – М.: Радиотехника, 2011.
6. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – СПб.: Арт-Экспресс, 2011.
7. Нечаев Ю.И. Топология нелинейных нестационарных систем: теория и приложения. – СПб.: Арт-Экспресс, 2015.
8. Нечаев Ю.И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. – СПб.: Арт-Экспресс, 2018.
9. Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. – М.: Прогресс – Традиция, 2000.
10. Системы искусственного интеллекта в интеллектуальных технологиях XXI века. – СПб.: Арт-Экспресс, 2011.
11. Солодовников В.В., Тумаркин В.И. Теория сложности и проектирование систем управления. – М.: Наука, 1990.
12. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986.
13. Foster I., Zhao Y., Raicu I., Lu S. Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared // Preprint arXiv:0901.0131, 2008 [Электронный ресурс]: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0901/0901.0131.pdf>
14. Lublinsky B. Defining SOA as an architectural style. 9 January 2007. [Электронный ресурс]: <http://www.ibm.com/developerworks/architecture/library/ar-soastyle/>
15. Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25-26, 2007. [Электронный ресурс]: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php>. ■

Прежде чем начинать разговор о тенденциях развития тех или иных технических систем, считаю необходимым обратиться к их прошлому, к истории становления, чтобы иметь точку, от которой можно отталкиваться в будущее.

Несмотря на малую известность систем совместного безопасного применения оружия (далее – ССПО), даже в среде людей непосредственно связанных с ВМФ, история развития подобных систем насчитывает уже шесть десятилетий. Первая система, призванная обеспечивать безопасность корабля при использовании собственных огневых средств, была разработана в 1958 г. для ракетного крейсера пр. 58.

Работы по ее проектированию были поручены ЦКБ «Меридиан». С этого момента в рамках ЦКБ «Меридиан», НПО «Меридиан», ОАО «НПФ «Меридиан» и, наконец, АО «НПФ «Меридиан» было разработано и изготовлено более 140 различных систем совместного безопасного применения оружия типа «Блокировка» для кораблей из состава флотов СССР, России, Индии, Китая, Алжира.

НАЗНАЧЕНИЕ ССПО

Сегодня ССПО – неотъемлемая часть надводных кораблей ВМФ РФ, обладающих широким спектром боевых возможностей. Само появление этих систем неразрывно связано с наличием на борту корабля комплексов вооружения различного назначения, таких как ударные ракетные комплексы, ракетные зенитные комплексы, артиллерийские установки, реактивные бомбометные установки и средства радиоэлектронной борьбы. Применение перечисленных средств само по себе может оказывать негативное воздействие на корабельные надстройки, оборудование, расположенное на открытой палубе, антенные посты и личный состав корабля. Одновременное применение нескольких огневых средств создает дополнительные опасные ситуации по причине возникновения вероятности их взаимного воздействия в случае пересечения плоскостей работы в непосредственной близости от корабля. Так, при поражении крылатой ракеты артиллерийским снарядом, произошедшем на небезопасном расстоянии от борта корабля, возможно разрушение ракеты вследствие взрыва ее боевой части, а также частичное повреждение планера, не связанное со взрывом боевой части ракеты. При развитии подобной ситуации наносится ущерб крайне ограниченному на корабле боезапасу, а главное, возникает опасность повреждения корабельных надстроек, антенных постов, радиоэлектронного оборудования и гибели личного состава, находящегося на откры-

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ СОВМЕСТНОГО БЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОРУЖИЯ

О.М. Рогов, *вед. инженер АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0300, 602 0364*

тых постах. Кроме непосредственного соударения, влияние на собственные средства поражения может оказывать форс пламени стартового двигателя зенитной управляемой или крылатой ракеты, возникающий при выходе ракеты из пусковой установки, или ударные волны, характерные для артиллерийских комплексов.

Во избежание развития негативных ситуаций ССПО «разносит» во времени пуски тех или иных комплексов вооружения, блокируя их цепи стрельбы в соответствии с принятым алгоритмом. Данный алгоритм учитывает пространственные характеристики, а именно: расположение установок на корабле, углы их горизонтального и вертикального наведения при работе по цели; углы послестартового разворота ракет. Кроме того, учитывается ряд параметров, связанных со свойствами входящих в состав комплекса систем управления, такими как циклограммы работы, период предстартовой подготовки, и с особенностями используемых средств поражения, которые могут различаться даже в рамках одного комплекса вооружения (траектории и скорости на начальном участке движения). Время блокирования работы боевого средства зависит от конкретной ситуации и может составлять от нескольких миллисекунд до нескольких десятков секунд. Безусловно, введение временных ограничений на применение спецсредств по прямому назначению снижает боевой потенциал корабля и его боевую устойчивость, что предъявляет серьезные требования к постановке задач и выбору алгоритмов работы ССПО.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ССПО

Со дня создания ССПО прошло несколько этапов модернизации, среди которых можно выделить четыре основных. Каждое следующее поколение отличалось большей надежностью, конструктивными, техническими и технологическими улучшениями, а также меньшими массогабаритными характеристиками.

В системах первого поколения в качестве элементной базы использовались в основном реле, полупроводники, приборы-датчики с механическими кулачками и фоторегистрирующая аппаратура для обеспечения документирования процесса работы системы.

Для второго поколения ССПО характерно использование микросхем, унифицированных модулей, вращающихся трансформаторов в приборах-датчиках и малогабаритных реле. Модульное построение позволило значительно снизить количество и массогабаритные характеристики приборов, а также унифицировать связи с сопрягаемыми системами.

Представителями третьего поколения ССПО считаются системы, в состав которых впервые вошел прибор документирования информации, не использующий фоторегистрирующую аппаратуру для документирования процесса работы системы, что позволило не только отказаться от применения морально устаревшей регистрирующей фотоаппаратуры, но и реализовать на базе данного прибора такие важные функции, как сохранение информации о пусках и опасных ситуациях (событиях) на съемный носитель, а также ее вывод на печатающее устройство для последующего анализа.

В 2015 г. АО «НПФ «Меридиан» была разработана ССПО четвертого поколения. Новое поколение систем реализовано на современной элементной базе с применением микропроцессорной техники и цифровыми каналами передачи данных, что позволило прийти к унифицированной приборной модели системы и упростить взаимодействие с новыми комплексами вооружения. Помимо физической модернизации системы, большое внимание было уделено оптимизации алгоритмов работы и снижению времени блокирования цепей стрельбы. Впервые были решены задачи обеспечения безопасности в плоскостях вертикального и горизонтального наведения с учетом заданного допустимого расстояния от борта корабля. Эти решения создали предпосылки для увеличения зон возможной работы при совместном использовании комплексов корабля. Кроме того, были увеличены разрешенные зоны взлета-посадки летательных аппаратов, введена возможность внедрения новых задач в уже готовую систему посредством модернизации программного обеспечения. Использование цифровых каналов обмена данными для получения информации об угловом положении от систем управления и использование микропроцессорных средств обработки полученной инфор-

мации привело к повышению точности решения задач.

Таким образом, можно с уверенностью констатировать, что в настоящий момент в отношении одиночного корабля эффективно реализуются задачи, возложенные на ССПО, а также сведено к минимуму их отрицательное влияние на эффективность применения средств путем внедрения методов решения воздушных задач в трехмерном пространстве.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ССПО

Кораблестроительная программа РФ последних лет, предполагающая значительное увеличение кораблей различных типов в ВМФ РФ, а также опыт их использования в ходе сирийского кризиса, ставит вопрос о совместном безопасном применении оружия несколькими надводными кораблями в составе тактической группы (далее ТГ). Необходимо отметить, что данный вопрос до настоящего времени должным образом не прорабатывался. Очевидно, что взаимное влияние средств поражения над кораблями при пересечении траектории их полета в районе размещения ТГ, как и в случае одиночного корабля, может повлечь поражение конструкций и личного состава открытых боевых постов.

Применение вооружения кораблями ТГ в случае совместных действий по обороне и нападению имеет свои особенности и предполагает максимальное использование всех имеющихся средств поражения: ударных ракетных комплексов для непосредственного выполнения задач, стоящих перед ТГ; зенитных и артиллерийских комплексов, а также комплексов радиоэлектронной борьбы для отражения атак противника.

Поскольку совместное плавание ТГ совершается в походных порядках, ордером и строях, принципиальное значение для реализации совместного безопасного применения оружия ТГ имеют параметры строя, такие как пеленг и дистанция между кораблями.

Выбор дистанции и пеленга строя кораблей зависит от аспектов, которые условно можно объединить в организационные и технические.

К *организационным аспектам*, влияющим на выбор пеленга строя и дистанции между кораблями, будут относиться:

- обеспечение эффективного отражения ударов и атак различных сил и средств противника;
- обеспечение свободы маневра, удобства управления и быстрого перестроения в боевой ордер для решения частных тактических задач;

- обеспечение кругового наблюдения, при котором отсутствуют секторы, непросматриваемые техническими и зрительными средствами («затененные» корабельными надстройками);
- уменьшение эффективности ударов воздушного противника назначением безопасных расстояний между кораблями, исключающих одновременное поражение двух соседних кораблей ядерным боеприпасом или серией обычных боеприпасов, а также расположением их с учетом требований тактической маскировки;
- обеспечение эффективного использования зенитных огневых средств и средств РЭБ за счет максимальной величины суммарного поражающего потенциала средств воздушного нападения противника с направления угрозы;
- обеспечение эффективного применения выстреливаемых средств пассивных радиолокационных и тепловых помех;
- К *техническим аспектам* будут относиться следующие:
- назначение дистанции между кораблями в зависимости от их водоизмещения, поставленной задачи, конкретных условий плавания;
- назначение дистанции между кораблями, при которой исключаются или существенно уменьшаются взаимные помехи радиоэлектронных средств, обеспечивая электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств.

Помимо параметров строя, для решения задач совместного безопасного применения оружия важное значение имеют технические характеристики комплексов вооружения, в частности огневых средств, а также временные диаграммы их работы в рамках всей тактической группы кораблей. Особенности применяемых средств поражения определяют понятие абсолютного безопасного радиуса для каждого корабля. Это понятие подразумевает минимальное расстояние от условного центра корабля, на котором взаимное воздействие каких бы то ни было поражающих средств не наносит ущерба корабельному оборудованию и личному составу. В свою очередь, временные характеристики применения спецсредств в рамках тактической группы кораблей должны учитываться с целью расчета временных интервалов от момента старта огневых средств с одного корабля до его входа в пространство, ограниченное абсолютным безопасным радиусом другого корабля и выхода из него.

Формулирование задач совместного безопасного применения оружия ТГ

представляется возможно путем моделирования конкретных ситуаций. При этом предполагается выбор конкретного проекта корабля и определение элементов ордера (пеленг строя, дистанцию между кораблями ТГ, курсовые углы на корабль ордера) с учетом описанных аспектов. Применяя типовой вариант удара противника, зная состав огневых средств (ОС) и средств радиоэлектронной борьбы ТГ, возможно графически, путем наложения опасных зон и областей поражения ОС кораблей (сначала однотипных, далее и разнотипных – УР, ЗОС, артиллерия, КВП) выявить возможные конфликтные ситуации.

На основании полученных результатов можно определить перечень воздушных задач, решаемых ССПО в составе ТГ, что, в свою очередь, позволит обосновать объем и параметры информационного обмена для решения задач ССПО кораблей в составе ТГ, а также требования к аппаратным средствам ССПО и обеспечивающим системам.

ВЫВОДЫ

Задача обеспечения совместного безопасного применения оружия для тактической группы кораблей основывается на таковой для одиночного корабля. Вместе с тем решение данной задачи требует учета большого количества дополнительных факторов, которые выдвигают совершенно новые требования к аппаратным средствам и линиям передачи данных новых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование зенитных управляемых ракет / Под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова. – М.: Изд. МАИ, 2001.
2. Кирюшов Н.П., Чугунов А.Н. Современная корабельная артиллерия в морском бою. – СПб.: ВСОК ВМФ, 2001.
3. Научно-производственная фирма «Меридиан». Три века с флотом. События. Факты. Люди / ОАО «Концерн «Моринформсистема-Агат». – СПб., 2013.
4. Тихоненко А.М., Rogov O.M. Стрелять разрешается. Системы совместного безопасного применения оружия // Морской вестник. – 2016. – №2(58). – С. 81.
5. Rogov O.M., Лагун А.В. Безопасность корабля – наша работа. Системы совместного безопасного применения спецсредств // Морская радиоэлектроника. – 2017. – №4(62). – С. 34-38.
6. Ласточкин Н.Н. Системы совместного безопасного применения оружия // Морской сборник. – 2018 (2050) – №1. – 97с.
7. Современное состояние и перспективы развития систем совместного безопасного применения оружия на надводных кораблях // Аналитич. обзор науч. информ. / НИИ КиВ ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМФ». – 2015. – Вып. 17(166). – 22 с. ■

4 августа 2019 г. исполняется 90 лет капитану 1 ранга в отставке, кандидату физико-математических наук, доктору технических наук, старшему научному сотруднику, действительному члену Международной академии навигации и управления движением, ветерану подразделений особого риска, ведущему научному сотруднику АО «ГНИНГИ», научному редактору журнала «Навигация и гидрография» и научно-техническому сборнику АО «ГНИНГИ», председателю инновационного комитета НТО судостроителей, члену редколлегии журнала «Морской вестник» Павлу Ивановичу Малееву.

Павел Иванович родился 4 августа 1929 г. в селе Сорочинское Урицкого района Кустанайской области. После окончания средней школы в 1947 г. он поступил в Государственный университет в г. Алма-Ата на физико-математический факультет. Успешно окончив университет в 1952 г. и получив специальность физика-экспериментатора с уклоном в ядерную и атомную физику, планировал продолжить образование в аспирантуре Физико-технического института АН СССР. К этому были все основания, в том числе и приглашение из института. Однако этим планам в тот период не суждено было осуществиться. В его судьбе произошли резкие перемены, связанные с бурным развитием в послевоенные годы ВМФ СССР, обновлением технических средств флота. Необходимо было создавать более совершенные, в том числе и принципиально новые, приборы и устройства. Для скорейшего решения стоящих задач Правительством СССР было принято постановление об открытии в Военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А. Н. Крылова специальных курсов переподготовки физиков и математиков, окончивших университеты страны, по требуемым флоту специальностям. На эти курсы (на факультет радиосвязи) в мае 1952 г. был направлен и Павел Иванович Малеев, призванный в ряды военно-морского флота в звании лейтенанта.

В эти же годы на вооружение армии и флота стало поступать ядерное оружие. Появилась необходимость открытия в академии и военно-морских училищах новых дисциплин по изучению этого оружия и его поражающих факторов. Вследствие этого часть слушателей курсов академии, в том числе и Павел Иванович Малеев (после завершения учебы на курсах), были переориентированы на работу преподавателями. В ноябре 1953 г. Павел Иванович был назначен преподавателем в Высшее военно-морское училище инженеров оружия в Ленинграде, где прослужил до 1960 г. В 1957 г. принимал непосредственное участие в испытаниях ядерного оружия на Новой Земле.

В 1960 г. он успешно защитил диссертацию. Ему была присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук. В том же году в связи с расформированием училища вместе с факультетом был переведен в Каспийское высшее военно-морское училище в Баку на должность старшего преподавателя, где прослужил до сентября 1962 г.

В период преподавательской деятельности готовил и читал лекции по ряду дисциплин, таких как ядерная физика, дозиметрия, физические основы ядерных реак-

К 90-ЛЕТИЮ П.И. МАЛЕЕВА

АО «ГНИНГИ»,
контакт. тел. +7(960) 283 2609



торов, ядерные энергетические установки подводных лодок, поражающие факторы ядерного оружия. За эти годы им самостоятельно и в соавторстве для курсантов высших военно-морских училищ написаны и изданы четыре учебника: «Сборник задач на энергетические свойства ядер и радиоактивность» (1955), «Основы ядерной физики» (1960), «Основы теории ядерных реакторов» (1962), «Корабельные специальные энергетические установки» (1962) и монография «Детекторы ядерных излучений» (1961).

В сентябре 1962 г. в Павел Иванович был переведен на научную работу в Научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт (ГНИНГИ) Министерства обороны СССР в Ленинграде, где ему было поручено вести исследования по созданию гироскопов на новых физических принципах, эффектах и явлениях для высокоточных инерциальных навигационных систем подводных лодок. В последующие годы диапазон научных исследований Павла Ивановича был значительно расширен. В этом институте он трудится уже более 56 лет.

Пройдя путь от младшего научного сотрудника в звании капитан-лейтенанта до уже в звании капитана 1 ранга начальника одного из ведущих отделов института (с 1976 г. по 1987 г., после увольнения в запас по возрасту) ведущего научного сотрудника, научного редактора двух журналов: «Навигация и гидрография» и «Научно-технический сборник трудов ГНИНГИ». Павел Иванович и сегодня продолжает вносить значительный вклад в развитие средств навигации.

В 2002 г. Павел Иванович защитил диссертацию, получив ученую степень доктора технических наук. Он – автор более 300 печатных научных работ, в том числе 6 монографий и 42 авторских свидетельства на изобретения и патентов. С 1997 г. – ветеран труда, член Диссертационного совета при институте.

Наиболее существенный вклад Павел Иванович внес в развитие гироскопических приборов, измерителей скорости и глубины, в повышение точности и скрытности работы навигационных комплексов подводных лодок. Его монография «Новые типы гироскопов», изданная в 1971 г., не потеряла актуальность и в настоящее время. Разработанный и прошедший под его председательством государственные испытания ряд эхолотов «Малога» и пять модификаций успешно эксплуатируются на кораблях и судах флота. Созданный при его военном научном сопровождении электростатический гироскоп – один из основных элементов, обеспечивающих требуемую точность средств навигации стратегических подводных лодок.

С апреля 2003 г. П.И. Малеев – эксперт научно-технической сферы федерального реестра экспертов Министерства промышленности, науки и технологий РФ. С февраля 2012 г. – эксперт Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации. С мая 2004 г. – академик Международной академии навигации и управления движением. С 2011 г. – председатель секции «Морская навигация, гидрография, геофизика и гидрометеорология» «Международного и Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова», председатель Инновационного Комитета НТО судостроителей, член редколлегии журнала «Морской вестник».

В 2005 г. имя П.И. Малеева включено в библиографический словарь «Знаменитые люди Санкт-Петербурга», где отражены биографии 2000 известных деятелей за всю 300-летнюю историю города, в 2008 г. – в библиографический словарь «Знаменитые люди Северного флота».

Стаж воинской службы – более 35 лет (с мая 1952 по ноябрь 1987 г.), педагогический стаж – 10 лет, из них 8 лет (с 1953 по 1962 г.) в высших военно-морских училищах и 2 года в Ленинградском институте точной механики и оптики.

За время нахождения в ГНИНГИ выявил более 30 новых физических принципов, явлений и эффектов, еще не используемых в средствах навигации, но представляющих интерес для их совершенствования.

Им разработано четыре новых метода скрытного определения местоположения морского объекта на любой глубине его нахождения. На всех участках работ Павел Иванович Малеев проявлял глубокие профессиональные знания, настойчивость и инициативу в выполнении поставленных задач.

Коллектив АО «ГНИНГИ» поздравляет Павла Ивановича с юбилеем и желает ему крепкого здоровья и больших успехов в работе на благо отечественной науки.

Редакционный совет и редколлегия журнала «Морской вестник» надеются на дальнейшее сотрудничество и желают Павлу Ивановичу бодрости и творческих открытий на благо Российского ВМФ. ■

Нами предпринята попытка рассмотреть в историческом и теоретическом плане промысел северо-восточной арктической трески как наиболее изученной и самой крупной популяции, оценить применяемые меры регулирования вылова и рационального использования запасов. Прежде всего следует отметить, что, употребляя термины «рациональное рыболовство» и «рациональное использование запасов», мы придерживаемся трактовки Т. Ф. Дементьевой [8], что «рациональное рыболовство должно обеспечивать вылов рыбы такого состояния, размера и возраста, при котором получается наибольшая рыбная продукция высокого качества и одновременно рациональное использование кормовых ресурсов водоема».

В послевоенной (с 1946 г.) истории баренцевоморского трескового промысла на 2006–2013 гг. пришелся небывалый рост запаса трески, особенно его нерестовой части. За семь лет биомасса половозрелых рыб возросла с 605 до 2662 тыс. т, т.е. в 4,4 раза [26]. Представляется, что этому способствовали две основные причины. Во-первых, начавшееся в 2004–2005 гг. заметное потепление моря [19] сформировало и в последующие годы поддерживало комплекс благоприятных гидрологических и связанных с этим кормовых условий, обеспечивающих успешность инкубации икры, выживания личинок и молоди. В результате появилось несколько высокоурожайных поколений, которые по мере их роста и вступления в промысловый запас ежегодно увеличивали его биомассу.

Во-вторых, на этот благоприятный период наложилась реформа регулирования трескового промысла [15]. Правил регулирования промысла трески (ПРП) предусматривалось, в частности, «стремление к достижению стабильности общего допустимого улова (ОДУ) из года в год» [14]. Для реализации такой стратегии, отвечающей прежде всего интересам рынка (поддерживать высокую цену на треску), годовые объемы ОДУ изменялись не адекватно растущему запасу, а не более чем на 10% (с 2016 г. этот диапазон был расширен до 20%).

К началу второй декады 2000-х гг., когда промысловый запас трески достиг 4 млн. т, а нерестовый (SSB) – 2 млн. т, необходимость в корректировке действующего ПРП стала очевидной. Суммарно возросшая пищевая потребность трески угрожала не только мойве как основному тресковому корму, но и другим видам, обитающим в ареале трески, включая и собственную молодь. Широко известному фактору каннибализма трески на тот момент особого значения еще не придавалось.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАПАСОВ ТРЕСКИ БАРЕНЦЕВА МОРЕА И ВОЗМОЖНОСТИ ЯРУСНОГО ПРОМЫСЛА В СДЕРЖИВАНИИ ЕЕ КАННИБАЛИЗМА

В. М. Борисов, канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник,
В. А. Ульченко, ст. специалист, ФГБНУ ВНИРО,
А. К. Чумаков, канд. биол. наук, ген. директор ООО «Персей»,
forecast@vniro.ru, perseim@mail.ru

Тем не менее 45-я сессия Смешанной российско-норвежской комиссии (СРНК) внесла в прежний вариант ПРП пункт о возможности увеличения промысловой смертности от $F_{msy} = 0,4$ до $F_{tr} = 0,6$ по мере увеличения биомассы нерестового запаса (SSB или B) от $2B_{pa} = 920$ тыс. т до $3B_{pa} = 1380$ тыс. т. При этом $B_{pa} = 460$ тыс. т соответствует «ра», т.е. предосторожному подходу к эксплуатации запаса трески [17].

В соответствии с этим нововведением в ПРП и принимая во внимание, что весь период 2010–2018 гг. SSB трески превышал $3B_{pa}$, целевую промысловую смертность можно было устанавливать на уровне $F_{tr} = 0,6$.

При этом, руководствуясь текущими оценками SSB и принятым ходом кривой F_{tr} модернизированного ПРП, ОДУ в эти годы мог быть на уровне не только 1 млн. т, но и существенно выше. Фактически же вылов в 2010–2012 гг. ограничивался объемами в 610–730 тыс. т, а к 1 млн. т приблизился лишь в 2013 и 2014 гг. Но и в эти годы, и ранее (с 2009 г.) промысловая смертность колебалась между 0,24 и 0,29, несмотря на то, что в соответствии с ПРП F не должна быть ниже 0,3, если SSB выше B_{pa} [15]. Кроме того, для реализации прописанного в ПРП стратегического стремления к постоянству ОДУ его величины, рекомендуемые на каждый последующий год, дополнительно «задемпфировались» с учетом величин SSB по прошлому году, текущему и прогнозам для трех последующих лет, а также корректировались вектором динамики развития запаса. При отрицательной его динамике (что вполне ожидаемо после достижения исторического максимума) рекомендовалось 20%-ное снижение ОДУ независимо от существующего, пусть и достаточно высокого, уровня SSB [27].

В результате такой разносторонней охранной для нерестового запаса системы идея устанавливать ОДУ в соответствии с уровнем SSB до сих пор так и не была опробована. Наоборот, наметившаяся тенденция к сокращению запаса в 2014 г. тут же послужила сигналом к снижению ОДУ, что сохраняло прежние

преференции для крупной старшевозрастной трески, которая, наращивая каннибализм в условиях дефицита других кормов, снижала шансы на очередные высокочисленные пополнения.

Представляется, что в условиях такой невыгодной для промысла саморегуляции численности трески некоторый позитив могло бы внести расширение ярусного промысла в Баренцевом море, ориентированного преимущественно на изъятие крупной старшевозрастной трески.

Содержание статьи как раз и посвящено анализу состояния современного баренцевоморского ярусного промысла и возможностям его использования для перманентной корректировки запаса трески в сторону его омоложения.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА

В статье использованы материалы, собранные научными наблюдателями ВНИРО на ярусных судах компании ООО «Персей» преимущественно в осенние периоды 2013–2018 гг.

Сбор научно-промысловой информации, характеризующей биологическое состояние объектов ярусного лова, в настоящее время затруднен и ограничен. Это связано с тем, что в последние годы (с 2014 г.) по финансовым причинам были прекращены регулярные систематические наблюдения, прежде осуществляемые сотрудниками ФГБНУ «ПИНРО» в рейсах на российских ярусоловах. Сейчас объем доступной информации с этих судов фактически ограничивается лишь промысловыми данными, поступающими в Мурманский филиал Центра системы мониторинга рыболовства и связи (ЦСМС). При сопоставлении российского ярусного промысла с норвежским привлекались данные Директората рыболовства Норвегии.

Сравнительный анализ многолетних данных, касающихся динамики ихтиомассы и возрастного состава 3–15-летней трески в периоды завывшенной (1979–1989 гг.) и ослабленной (2007–2017 гг.) промысловой нагрузки на запас проводился с использованием архивных материалов Рабочей группы

ИКЕС по арктическому рыболовству [28]. Динамика запаса трески в условиях действия прежнего (2004–2015 гг.) и существующего (с 2016 г.) модернизированного ПРП рассматривалась на основе Протоколов ежегодных сессий СРНК с учетом биомасс промыслового и нерестового запасов трески по периодам за 1998–2006 гг. и 2007–2017 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Треска в ярусном промысле донных рыб Баренцева моря. При анализе доступного материала, касающегося международного промысла баренцевоморских донных рыб, для общей картины представляется достаточным ограничить глубину ретроспективы пятилетием 2013–2017 гг., включающем вылов по шести основным видам (табл. 1).

За рассматриваемые годы совместными усилиями стран, ведущих регулярный баренцевоморский промысел донных рыб (из них лидирующую семерку составляют Норвегия, Россия, Фарерские острова, Франция, Германия, Великобритания, Польша), вылавливалось в среднем около 1,3 млн. т. В этом объеме более 70% приходится на треску, что объясняет особый международный интерес к этому объекту в смысле сохранения и поддержания ее запаса на уровнях, обеспечивающих долговременно высокие уловы. Решение такой стратегически важной задачи постоянно требует совершенствования уже используемых и внедрения новых мер регулирования промысла.

В этой связи необходимо иметь в виду, что преимущественный достаточно масштабный донный траловый промысел в Баренцевом море дает

Таблица 1
Международный вылов основных донных рыб Баренцева моря в районах 1, 2а и 2в (по районированию ИКЕС)

Год	Объем вылова, тыс. т						
	треска	пикша	сайда*	черный палтус	зубатки	морские окуни*	Всего
2013	966,1	193,7	97,1	22,2	23,4	2,9	1305,4
2014	986,4	177,5	102,7	22,7	21,2	14,7	1325,4
2015	864,5	194,8	101,4	24,7	25,3	21,1	1231,8
2016	849,4	233,4	112,4	25,2	25,0	28,3	1273,7
2017	868,3	227,6	113,4	26,4	25,5	24,7	1285,9
Среднее	906,9	205,4	105,4	24,2	24,1	18,3	1284,4
%	70,6	16,0	8,2	1,9	1,9	1,4	100,0

* Без пелагического промысла

Таблица 2
Среднегодовые оценки запаса и вылова трески по пятилетиям в период 1990–2017 гг. тралами и другими орудиями лова на основе данных AFWG 2018 [28]

Период	Запас, тыс. т	Вылов					
		Всего, тыс. т	траловый		ярусный и др.		
			тыс. т	% от запаса	тыс. т	% от запаса	% от общего вылова
1990–1994	1763	423,4	303,6	24,0	119,8	6,8	28,2
1995–1999	1481	555,8	373,9	25,2	181,9	12,3	32,7
2000–2004	1518	442,6	312,7	20,6	129,9	8,5	29,3
2005–2009	2241	472,8	339,6	15,1	133,2	5,9	29,0
2010–2017	3748	824,0	601,5	16,0	222,5	5,9	27,0

относительно полную информацию лишь о той части запасов, которая облавливается донными тралами. Другие виды донного промысла, в частности ярусного, не столь масштабны, и поэтому большая часть их потенциальной сырьевой базы остается в тени, существенно недооценивается, что косвенно препятствует расширению их масштабов.

Как видно из табл. 2, лишь в 1995–1999 гг. нетраловыми способами лова от запаса трески изымалось только 12,3 %. В другие периоды эта доля колебалась

на уровне 5,9–8,5 %.

На фоне общего вылова трески, составлявшего в 1990–2000-е гг. 423,4–824 тыс. т, нетраловый промысел обеспечивал 27–32,5 %. Вклад российских ярусоловов в этот показатель весьма низок, поскольку их участие в общероссийском вылове баренцевоморских донных рыб за 2013–2017 гг. ограничивалось 25,2–38,0 тыс. т, или 4,5–6,6% (табл. 3).

Основная причина столь низкого участия российских ярусоловов в отечественном рыбном промысле на севере состоит в их малом количестве.

Таблица 3
Российский ярусный вылов основных донных рыб Баренцева моря

Год	Вылов по видам рыб, тыс. т							Суммы всех объектов лова по годам	Доля ярусного от общего вылова, %
	треска	зубатки	пикша	черный палтус	менек	камбала-ерш	другие донные		
2013	15,3	6,3	2,3	1,1	0,04	0,04	0,11	25,2	4,5
2014	14,2	7,4	2,6	1,3	0,07	0,04	0,12	25,7	4,6
2015	18,1	10,0	4,7	1,6	0,1	0,04	0,11	34,5	6,5
2016	20,3	10,2	5,6	1,5	0,2	0,07	0,12	38,0	6,5
2017	19,6	11,2	6,0	0,9	0,2	0,09	0,11	38,0	6,6
Средние, тыс. т	17,5	9,0	4,2	1,3	0,08	0,06	0,11	32,3	
Средние, %	54,2	27,9	13,0	4,0	0,3	0,3	0,3	100	

Таблица 4
Российский промысел нетраловыми орудиями лова в дальневосточных морях

Год	Объем вылова, тыс. т			
	Все донные орудия лова	Донными тралами и снюрреводами		Донными нетраловыми орудиями лова*
		тыс. т	%	тыс. т
2013	429,6	359,2	84	70,4
2014	451,3	386,4	86	64,8
2015	433,4	354,7	82	78,7
2016	419,1	334,4	80	84,7
2017	433,4	341,8	79	91,7

* Яруса донные, сети донные ставные, невода закидные, ловушки ставные

Распределение норвежских годовых уловов донных рыб по орудиям лова

Орудия лова	Объем улова в годы													
	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	тыс.т	%	тыс.т	%	тыс.т	%	тыс.т	%	тыс.т	%	тыс.т	%	тыс.т	%
Трал	294	40,2	310	40,0	297	37,8	304	37,5	303	36,9	290	37,2	312	39,1
Сети	152	20,9	157	20,2	156	19,9	168	20,8	168	20,5	152	19,5	138	17,3
Ярус	129	17,6	143	18,4	151	19,3	155	19,2	143	17,4	144	18,4	146	18,3
Снюрревод	73	10,0	89	11,5	100	12,8	118	14,6	134	16,3	29	16,6	139	17,4
Джиггер	24	3,2	29	3,7	31	4,0	29	3,5	41	4,9	30	3,8	30	3,8
Невод	58	8,0	48	6,2	49	6,3	35	4,4	32	3,9	35	4,5	31	4,0
Всего	731		776		784		809		789		780		796	

Например, в 2017 г. ярусный промысел трески, пикши, зубаток и черного палтуса вели всего 15 судов, из которых только 6 составляли суда специализированной постройки, а 9 были переоборудованы из разного типа тральщиков [21].

Данные табл. 4 позволяют сравнить относительные объемы отечественного ярусного промысла в Баренцевом море и нетралового промысла России в дальневосточных морях.

Наши расчеты, выполненные на основе данных, представленных в книге «Рыбное хозяйство Норвегии» [10], показывают, что в 2010–2016 гг. норвежский лов тралами обеспечивал лишь 36,9–40,2% от общегодовых норвежских уловов донных рыб, тогда как 60–63 % вылавливалось донными сетями, ярусами, снюрреводами и др. (табл. 5).

Российский же промысел донных рыб ведется исключительно ярусами. Справедливости ради уместно вспомнить отечественные исследования 1990-х гг., показывавших возможности промысла на севере и снюрреводами, и удами с автоматизированным управлением, и донными сетями [2, 5, 12, 20, 22]. Но, к

сожалению, практического воплощения, тем более в промышленных масштабах, эти работы не нашли.

Параллельное рассмотрение данных российского и норвежского ярусного промысла оправданно по трем причинам. Во-первых, потому что видовой ассортимент ярусных уловов обеих стран практически идентичен (табл. 3, табл. 6). Во-вторых, перечисленные в таблицах виды являются представителями единичных норвежско-баренцевоморских популяций, что позволяет анализировать их западные и восточные компоненты комплексно, а не в отрыве друг от друга. И в-третьих, норвежский ярусный промысел по объемам вылова существенно (почти в 4 раза) превышает российский, что при объединении данных, несомненно, способствует большей объективности и репрезентативности анализа.

Из табл. 3 видно, что российский ярусный флот базируется в основном на треске (54,2%), зубатках (27,9%) и пикше (13%). Черный палтус в лидирующую тройку не входит, составляя лишь 4% в общем российском ярусном вылове. На другие донные виды, при включении в эту группу также менька и камбалы-

ерша, приходится в среднем не более 1 %. Именно такая картина складывалась, по крайней мере, в 2013–2017 гг.

Распределение норвежских ярусных уловов по объектам промысла (см. табл. 6) отличается от российских существенно меньшей долей зубаток (4,5%) и относительно высоким выловом менька (6,9%), который в российских уловах не превышает 0,3%. Доля сайды в норвежских ярусах близка к 2%, тогда как российские ярусники этот вид практически не облавливают.

Заслуживает внимания также краткий анализ распределения норвежского и российского ярусного вылова по зонам промысла. Данные табл. 7 указывают на то, что более 77% норвежского ярусного вылова донных рыб происходит в районах, расположенных в границах национальной экономической зоны. При этом основную часть такого вылова приносит многочисленный малотоннажный «москитный» флот, промысляющий в прибрежных водах, что экономически вполне оправданно из-за «короткого плеча» выхода судов в районы промысла и доставки уловов на берег.

Таблица 6

Норвежский ярусный вылов основных донных рыб Баренцева моря

Год	Вылов по видам рыб, тыс. т							Суммы всех объектов лова по годам
	треска	пикша	менек	зубатки	черный палтус	сайда	другие донные	
2013	76,3	34,6	7,8	9,3	4,6	2,1	1,1	135,8
2014	71,1	32,1	7,7	4,6	4,7	1,3	0,7	122,2
2015	65,3	33,1	9,2	4,2	4,7	2,3	0,9	119,7
2016	62,4	34,9	10,7	5,1	5,8	2,8	0,9	122,6
2017	61,5	38,2	7,0	4,4	6,3	2,0	0,8	120,2
Средние, тыс. т	66,5	34,5	8,5	5,5	5,2	2,1	0,9	123,2
Средние, %	54,0	28,0	6,9	4,5	4,2	1,7	0,7	100

Таблица 7

Норвежский ярусный вылов основных донных рыб Баренцева моря в 2013–2017 гг. по зонам промысла

Зона	Объем вылова донных рыб по зонам, т						
	2013	2014	2015	2016	2017	Средний по зонам промысла	
						т	%
Норвежская экономическая зона	103 572	96 516	90 622	97 600	91 773	96 017	77,3
Охранная зона вокруг Шпицбергена	20 859	16 734	20 551	19 137	12 033	17 863	14,4
Российская экономическая зона	10 526	9066	8526	5856	16 626	10 120	8,1
Международная зона в Баренцевом море (открытые районы)	953	48	0	25	0	205	0,2
Всего	135 910	122 364	119 699	122 618	120 432	124 205	100,0

Российский ярусный вылов основных донных рыб Баренцева моря в 2013–2017 гг. по зонам промысла

Зона	Объем вылова донных рыб по зонам, т						
	2013	2014	2015	2016	2017	Средние по зонам промысла	
						т	%
Российская экономическая зона	8056	7857	13 327	16 841	19 555	13 127	40,6
Норвежская экономическая зона	11 423	10 391	10 435	8485	6946	9536	29,5
Охранная зона вокруг Шпицбергена	5802	7223	10 853	12 026	11 360	9453	29,2
Международная зона в Баренцевом море (открытые районы)	47	218	127	544	153	218	0,7
Всего	25 328	25 689	34 742	37 896	38 014	32 334	100,0

Тем не менее вклад относительно более крупных ярусников, ведущих экспедиционный лов в рыбоохранной зоне архипелага Шпицберген, также весьма ощутим (14,4 %). Кроме того, дополнительно до 8 % норвежских ярусных уловов обеспечивают доступные для норвежского флота районы российской экономической зоны.

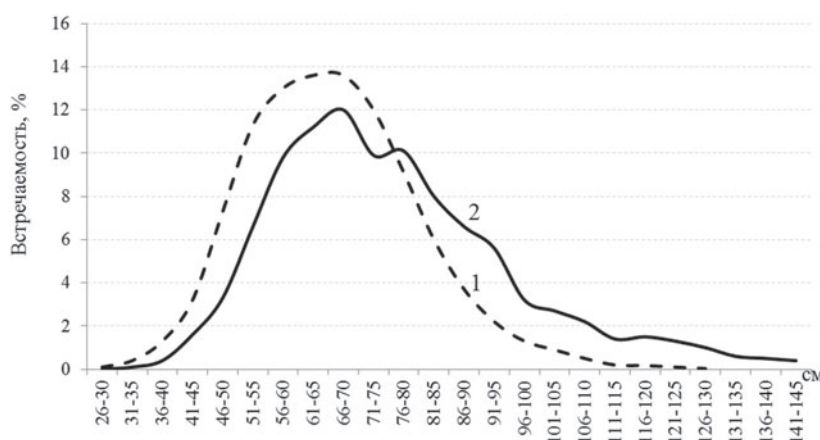
Схожесть в распределении российского ярусного промысла (табл. 8) с норвежским состоит лишь в том, что основная его часть (40,6%), так же как и в Норвегии, приходится на свою экономическую зону. Здесь российские ярусоловы наращивали вылов с 8 тыс. т в 2013 г. до 19,5 тыс. т к 2017 г. Следующей по объемам вылова до 2016 г. оставалась норвежская экономическая зона, обеспечивая в 2013 и 2014 гг. российские выловы на уровне 10,4–11,4 тыс. т, но с 2016 г. они сократились до 8,5–6,9 тыс. т. На этом фоне значимость рыбоохранной зоны вокруг Шпицбергена, наоборот, возрастала с 5,8 до 12,0 тыс. т в 2016 г. до 11,4 тыс. т в 2017 г.

Значение открытых районов Баренцева моря в общем отечественном ярусном промысле составляет менее 1%.

Динамика возрастного состава и других биологических показателей трески при разных режимах промысла. Анализ ярусных уловов 2016–2018 гг. из районов российской экономической зоны показал, что размерный ряд трески в них колебался от 32 до 145 см с наибольшей встречаемостью (12%) рыб размерами 66–70 см. При этом рыбы длиной более 100 см составляли 11,6%, а прилов непромысловой молоди (до 44 см) в среднем ограничивался 0,8% (рис. 1).

Сравнительный анализ осредненного размерного ряда уловов конвенционными тралями (ячея 125 мм + селективные решетки) из районов российской экономической зоны за эти же годы показывает заметное смещение кривой размерного распределения влево. Вершина этой кривой приходится на размерную группу 56–65 см, доля которой там около 14%. Прилов непромысловой молоди в тралях по сравнению с ярусами был существенно выше (5,0%), а встречаемость трески крупнее 100 см не превышала 2,0%.

Аналогичное распределение трески по размерам в ярусных и тралово-снюр-



Трали, %	0,1	0,4	1,3	3,2	7,3	11,3	13	13,6	13,6	12	9,1	6	3,7	2,2	1,3	0,9	0,5	0,2	0,17	0,1	0,03	0	0	0
Яруса, %	0	0,1	0,4	1,6	3,3	6,6	9,8	11,2	12	9,9	10,1	8	6,6	5,6	3,2	2,7	2,2	1,4	1,5	1,3	1	0,6	0,5	0,4

Рис. 1. Осредненные (за 2016–2018 гг.) размерные ряды трески из уловов тралями (1) и ярусами (2) в российской экономической зоне Баренцева моря

реводных уловах наблюдается и у трески прикамчатских вод [1].

Приведенное сравнение данных о размерном составе траловых и ярусных уловов баренцевоморской трески дополнительно подтверждает широко известный факт о добыче ярусами относительно более крупной рыбы, особенно если промысловики ставят это своей целью и экспериментируют с размерами крючков и видами наживок [6, 7, 10, 24, 26].

В исследовании по воздействию различного режима промысла на структуру

запасов трески были проведены расчеты, характеризующие динамику промысловой ихтиомассы по возрастам. Для этой цели на основе исходных данных, содержащихся в ежегодных отчетах Рабочей группы ИКЕС по арктическому рыболовству [28] о массе и численности рыб разного возраста в уловах, были использованы произведения численности каждой возрастной группы на среднюю массу одного экземпляра в соответствующем возрасте.

В этом плане показательно 20-летие 1998–2017 гг., включающее в себя как

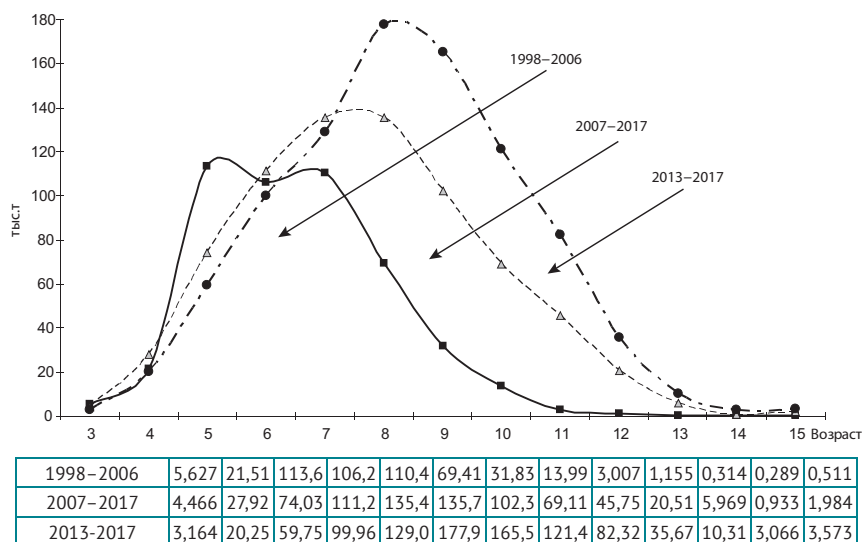
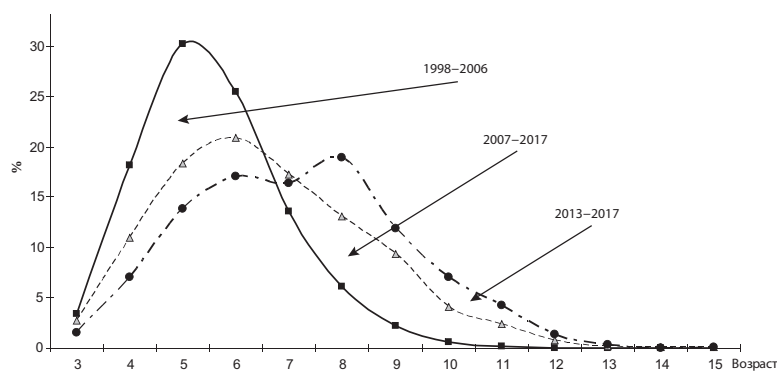


Рис. 2. Динамика промысловой ихтиомассы трески по возрастным группам



1998-2006	3,38	18,19	30,25	25,49	13,57	6,12	2,18	0,59	0,16	0,04	0,013	0,01	0,01
2007-2017	2,76	10,92	18,38	20,89	17,21	13,08	9,33	4,06	2,37	0,74	0,2	0,05	0,06
2013-2017	1,57	7,08	13,85	17,11	16,39	18,98	11,89	7,08	4,25	1,32	0,34	0,008	0,1

Рис. 3. Возрастной состав уловов трески по периодам промысла, %

Таблица 9
Возрастной состав уловов трески при разных уровнях промысловой смертности

Годы	Возрастной состав трески, % в возрасте, лет											F
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	>12	
1967-1978	13,90	25,63	26,16	16,47	9,20	5,28	2,28	0,68	0,24	0,08	0,07	0,68
1979-1989	5,89	22,80	29,24	22,85	12,21	4,36	1,81	0,56	0,19	0,06	0,04	0,83
1990-1993	7,17	18,61	22,28	17,59	15,29	10,17	5,47	2,91	0,39	0,09	0,01	0,43
1994-2006	3,55	18,48	29,96	24,92	13,77	6,32	2,19	0,59	0,14	0,04	0,03	0,77
2007-2017	2,83	11,53	19,43	19,98	18,19	13,84	8,19	3,77	1,63	0,42	0,18	0,31

период (1998–2006 гг.) с относительно низким среднегодовым уровнем промысловой биомассы трески (1460 тыс. т), так и период (2007–2017 гг.) со сравнительно высокой биомассой (3105 тыс. т). Внутри этого периода на 2013–2017 гг. приходится наибольший уровень промысловой ихтиомассы (3614 тыс. т), что заслуживает отдельного анализа.

В первом анализируемом периоде от сравнительно низкого промыслового запаса, изменяющегося в диапазоне 1150–1716 тыс. т, ежегодно вы-

лавливалось по 415–641 тыс. т. Промысловую биомассу в этом периоде создавали в основном три возрастные группы: 5-, 6- и 7-летние рыбы (рис. 2). На них в среднем приходилось 330 тыс. т, или 69% от общего среднегодового вылова в этот период. Соответственно вклад в общий вылов 8-летних и более старших рыб ограничивался только 120,5 тыс. т (25,2%). Участие в обеспечении промысла 3- и 4-леток при их достаточно высокой среднегодовой численности в уловах

(24,4 млн. экз.), но низкой индивидуальной массе (0,88 кг) не превышало 6,0%. В сменившем его 11-летнем периоде (2007–2017 гг.) пик ихтиомассы сместился на 7–8-летнюю треску, составлявшую в уловах около 37%.

Но наиболее рельефно в сравнении с первым периодом выглядит специально выделенное пятилетие 2013–2017 гг. В нем пик накопления ихтиомассы (37,7%) приходится уже на 8–9-летних рыб, а основная часть промысловой ихтиомассы формируется за счет 8–12-летней трески. В среднегодовом вылове 2013–2017 гг. на ее долю приходилось 66%. При этом, судя по рис. 3, по сравнению с предыдущими периодами это связано с более высокой численностью старшевозрастных рыб. В 2013–2017 гг. они составляли 44%, тогда как для первого периода было характерно преобладание 5-летней трески, среднегодовая доля которой составляла 30,25%. Численность последующих возрастных групп снижалась настолько, что уже 8-летние рыбы и старше не превышали 9%.

Влияние интенсивности промысла (в данном случае промысловой смертности F) на структуру запаса (на возрастной состав уловов) в еще большей степени демонстрирует анализ 50-летней ретроспективы 1967–2017 гг. (табл. 9). При относительно высоком промысловом запасе в 1967–1978 гг. (около 2,2 млн. т) и промысловой смертности F , в среднем составляющей 0,68, наиболее многочисленными возрастными группами в уловах были 4-х и 5-летние рыбы, на долю которых приходилось 51,8%, тогда как рыбы 8 лет и старше составляли только 8,6%.

В следующем, 11-летнем, периоде (1979–1989 гг.), когда среднегодовая

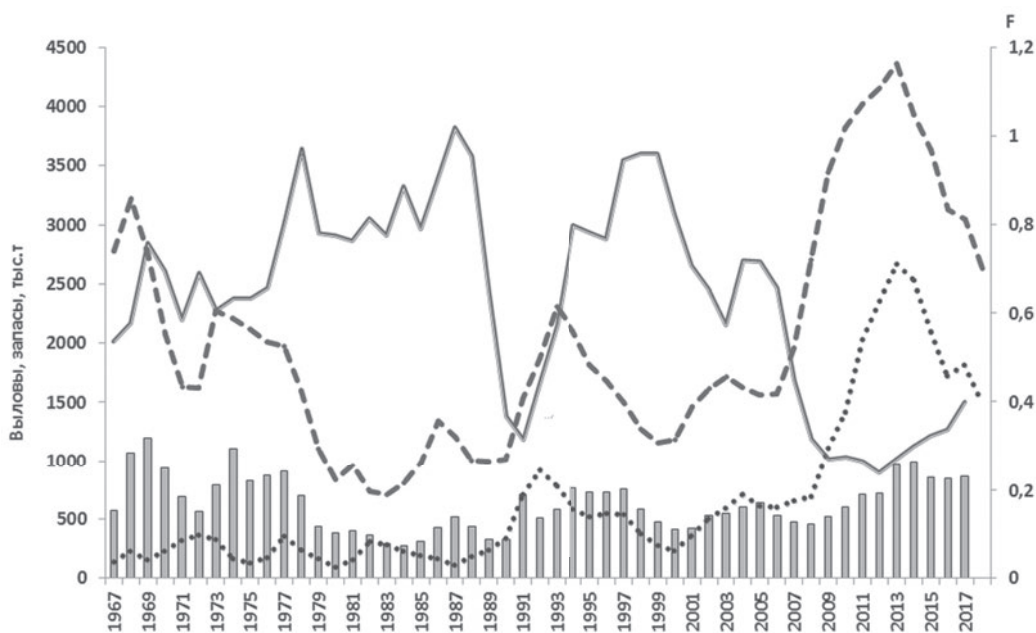


Рис. 4. Динамика запасов, вылова и промысловой смертности трески Баренцева моря (1967–2017 гг.)
■ — уловы, — — — — промысловый запас, — нерестовый запас, — — — — F

промысловая смертность возросла до $F = 0,83$, а биомасса промыслового запаса снизилась до 973 тыс. т (рис. 4), максимум численности сместился на 5–6-летних рыб (52,1 %) при некотором снижении доли (до 7,0%) 8-летних рыб и более старших.

Короткий период (1990–1993 гг.) нового роста запаса (от 1 млн. т до 2,3 млн. т) ознаменовался значительным снижением промысловой смертности (с 0,68 и 0,83 до 0,43) и заметным (на фоне предыдущих периодов) увеличением относительной численности рыб, начиная уже с 7-леток. Если в 1967–1978 гг. и 1979–1989 гг. треска такого возраста составляла в уловах соответственно 17,83 и 19,23 %, то в 1990–1993 гг. доля таких рыб в уловах увеличилась до 34,33 %.

Накопление в популяции старшевозрастных рыб в условиях пониженной промысловой смертности особенно заметно проявилось в 2007–2017 гг. Ослабление промыслового пресса с $F = 0,77$ (среднее значение по 1994–2006 гг.) до $F = 0,31$ (среднее за 2007–2017 гг.) вдвое увеличило долю 7–12-летней трески: с прежних 23,08 % до 46,22 % (см. табл. 9).

Параллельно с накоплением в популяции старшевозрастных особей замедляется созревание трески, что демонстрируют огивы, представленные на рис. 5.

Так, в 1994–2006 гг., при относительно высокой среднегодовой промысловой смертности ($F = 0,77$) доля половозрелой 7–8-летней трески составляла 62,9–84,6%. Но при снижении F до 0,31 (2007–2018 гг.) среди 7–8-леток зрелых особей оказывалось только 52,3–77,9%. Это говорит о том, что интенсивный промысел не только укорачивает размерный ряд трески, но и способствует ускорению ее созревания.

Данные, содержащиеся в отчетах АФВГ о восстановленных абсолютных

численностях по возрастам, позволили проследить за убылью поколений в разные по интенсивности промысла периоды. По нашим расчетам, каждое вновь народившееся поколение трески уже за первые пять лет участия в промыслах (от 3 до 8 лет), а также от естественных причин (хищники, болезни, травмы от орудий лова и др.) теряет в среднем 87,6% своей исходной численности, учтенной в возрасте «3+». Но в условиях относительно мощного пресса промысла (1979–1989 гг., $F = 0,83$) до 8 лет от каждого поколения в среднем доживало только 3,2 %, тогда как при ослабленной промысловой нагрузке (2007–2017 гг., $F = 0,31$) к такому возрасту выживало 21,5% крупных рыб, потенциальных потребителей большого количества собственной молоди.

Повышенный каннибализм препятствует полноценному вступлению новых поколений в промысловое стадо, что в конечном счете способствовало сокращению запаса. Именно для предотвращения такого негативного процесса в модернизированном ПРП предусматривалась возможность увеличения F по мере роста SSB. Однако в СРНК приоритетным остается «стремление к стабильности ОДУ из года в год» либо к его снижению, если прогнозируется хоть какое-либо снижение SSB вне связи с его оценками в абсолютных величинах. При современном нерестовом запасе трески (1,2 млн. т) ее промысловая смертность в соответствии с ходом кривой F_{tr} [18] может составлять 0,50–0,55, что пока позволяет не снижать ОДУ, а удерживать его на уровне 750–780 тыс. т.

Приведенные расчеты можно оценить лишь как ориентировочные. Но они вскрывают следующий важный момент, имеющий непосредственное отношение к регулированию промысла и к управлению эксплуатируемыми запаса-

ми. Поддержание высокого уровня F неизбежно приводит к омоложению популяции. Примером этому может служить не только баренцевоморская треска, но и исландская, «18-летние особи которой в середине 1960-х гг. водились везде, а к 1974 г. треска старше 12 лет стала редкостью из-за чрезмерного промысла в предыдущие годы» [13].

При анализе современного состояния ярусного промысла в Баренцевом море обращает на себя внимание тот факт, что его доля в общем вылове донных баренцевоморских видов рыб (около 1,3 млн. т) составляла в 2013–2017 гг. 18,3% по норвежскому и 5,7% по российскому промыслу. В случае учета в норвежском промысле помимо ярусов других донных орудий лова (придонные сети, невода, снюрреводы, уды) суммарная доля нетрального промысла увеличивается до 60–63%. Неоправданно низкое российское участие в нетральном баренцевоморском промысле донных рыб должно вызывать беспокойство по следующим соображениям.

Несмотря на декларируемое в российско-норвежском Договоре от 15.09.2010 г. сохранении доступа России во все районы баренцевоморского рыболовства, высока вероятность того, что Норвегия уже в ближайшем будущем может ограничить промысел тралящими орудиями лова в связи с масштабным ущербом, который траления наносят экосистеме моря. Элементы такого ограничения в последние годы уже апробируются Норвегией. Это закрытие обширных районов для тралового промысла в связи со значительным приловом молоди промысловых рыб. Береговая охрана Норвегии ужесточает проверки российских промысловых судов, ведущих промысел в западных районах Баренцева моря. За прилов и выбросы маломерных рыб российские тралящики подвергаются наложению штрафов и аресту. В действиях береговой охраны Норвегии прослеживается четкий курс на выдавливание российского тралового промысла из районов совместного пользования. Такой курс безболезнен для Норвегии, берущей тралями не более 40 % вылова донных рыб, но это весьма тревожный сигнал для России, у которой тралы обеспечивают до 95% вылова. Такая ситуация требует пересмотра акцентов в отношении масштабов применения российских траловых и ярусных орудий лова.

Можно надеяться, что неизбежные трудности, связанные с расширением отечественного ярусного промысла на севере будут перекрываться целым рядом преимуществ, которыми он обладает по сравнению с траловым. В их числе: минимизация воздействия промысла

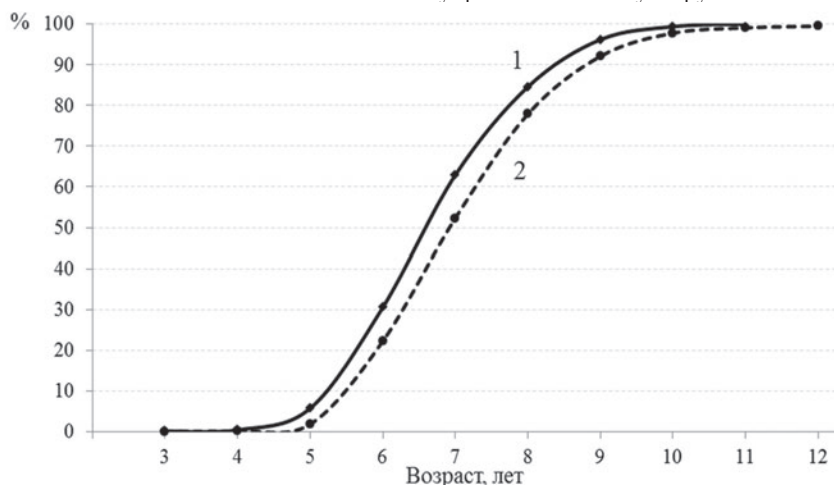


Рис. 5. Созревание трески по возрастам в периоды интенсивного (1) и ослабленного (2) режима промысла

на экосистему моря, особенно на ее придонные и донные компоненты; дополнительное промысловое использование бестраловых зон (участки с тяжелыми каменистыми грунтами, неудобными для тралений, районы с высоким приловом молоди); повышенная экономическая эффективность (по расходу топлива, трудозатратам, качеству рыбопродукции); меньшая зависимость от погодных условий [6, 23, 24].

Но кроме выше перечисленных плюсов ярусного лова особого внимания заслуживает тот факт, что масштабный ярусный промысел за счет преимущественного изъятия более крупных особей, т.е. своего селекционного влияния на структуру запаса [3], может рассматриваться как рычаг корректировки возрастного состава облавливаемой популяции. Эту, бесспорно ценную его особенность было бы весьма полезно использовать применительно к треске, например, с 2008 г., когда началось, а позже и продолжалось накопление в запасе крупных старшевозрастных особей, потенциальных потребителей собственной молоди [3, 4]. Вполне вероятно, что повышенный промысловый пресс на старшевозрастную часть запаса мог бы предотвратить или, по крайней мере, затормозить его падение после 2013 г. В этом проявилось бы не голословное, а фактическое управление запасом. Сделанную оговорку считаем уместной, так как в прописанном Правиле «управления» запасом трески (см., например, Протокол СРНК-2018, Приложение 12) все пункты, включая и стратегические принципы, по существу касаются регулирования промысла, изменения его режима, а не управления запасом. К категории управления запасом, по-видимому, могут быть отнесены лишь те меры, реализация которых целенаправленно, в нужную (желаемую) сторону может повлиять на динамику численности запаса, его биомассу, возрастную структуру. В этой связи последовательное сокращение ОДУ трески с 1021 тыс. т в 2013 г. до 732 тыс. т в 2019 г., вводимое с целью поддержания запаса на прежнем высоком уровне, не дали желаемого эффекта. Промысловая биомасса запаса изменялась, но в сторону, противоположную от ожидаемой, что в данном случае не позволяет сокращение ОДУ расценивать в качестве целенаправленно управленческой меры на благо запаса. Более того, как показывает вышеприведенный анализ разных режимов промысла трески по периодам (см. рис. 3, табл. 9), ослабление прессы промысла сопровождается накоплением старшевозрастных рыб, что приводит к росту каннибализма с последующим обратным эффектом для запаса – к его снижению.

Вышеприведенные рассуждения, а также результаты вынужденного «эксперимента» по ослаблению баренцевоморского трескового промысла в военные и послевоенные годы, когда среднегодовой показатель промысловой смертности F за 1946–1960 гг. составлял 0,44, заставляют говорить о закономерной обратной связи между показателем F и численной долей старшевозрастных рыб. Механизм такого явления, по-видимому, состоит в том, что при регулярном относительно интенсивном облове популяции у большого числа особей после каждого их участия в промысловых операциях снижаются шансы дожить до перехода в следующую возрастную группу. При этом, естественно, чем выше интенсивность промысла, тем этих шансов меньше, а чем продолжительнее жизненный цикл конкретной популяции, тем заметнее эта закономерность проявляется. Баренцевоморская треска – типичный представитель таких популяций, в которой интенсивный промысел (1994–2006 гг.) оказывает «омолаживающее» влияние на возрастную структуру, тогда как ослабление промысла (2007–2016 гг.) привело к обратному результату – к накоплению старшевозрастного контингента. Отсюда оправданная для многих «мирных» рыб логика – снижение ОДУ обеспечивает сохранение и наращивание запаса применительно к хищным рыбам и, в частности, к треске далеко не всегда бесспорна.

В предыдущей многолетней истории регулирования промысла баренцевоморской трески (с начала 1960-х гг.) использовался известный ряд таких мер, которые в основном были направлены на охрану молоди (увеличение ячеи в кутках тралов, повышение минимального промыслового размера, ограничение на прилов маломерной трески, селективные решетки, введение бестраловых зон). Ограничения на объемы ОДУ и связанное с этим поддержание высокого SSB вводились по сути в надежде на рост численности промысловых рекрутов [29]. Основания к этому вполне понятны: высокое значение SSB обеспечивает высокую популяционную плодovitость, которая при прочих равных условиях инкубации икры, выживания личинок и молоди дает высоко численное промысловое пополнение. Однако ожидаемые позитивные последствия от увеличения доли SSB в запасе у трески как хищника неожиданно обернулись негативной стороной – повышенным каннибализмом и как следствие, к самосокращению запаса.

В этой связи весьма полезным было бы сдерживание роста каннибализма целенаправленной элиминацией основного потребителя промысловых рекрутов

– старшевозрастной трески. Такая мера в отношении запаса могла бы заслуженно считаться управленческой, поскольку непосредственно изменяла бы структуру запаса в нужную сторону.

Представляется, что хищнический пресс взрослой трески на собственную молодь в немалой степени может быть ослаблен увеличением доли нетралового, в том числе донного, ярусного промысла, который, как и другие пассивные орудия лова, в гораздо большей степени, чем тралы, изымают крупную рыбу.

Результаты многолетних научных исследований, проводимых ООО «Персей» совместно с учеными ПИНРО, ВНИРО и ММБИ РАН в 1992–2012 гг. [2, 3, 5, 6, 7, 22, 23, 24], показали наличие в 200-мильной экономической зоне России и в прилегающих районах Баренцева моря значительной сырьевой базы для круглогодичного высокопроизводительного ярусного промысла крупной трески, пикши, палтуса, зубаток. С целью вовлечения в сферу промышленного использования выявленной сырьевой базы был предложен системный инвестиционный проект «Стимулирование производства современных ресурсосберегающих рыбопромысловых судов в России». Инициаторами проекта выступили Ленинградский судостроительный завод ОАО «Пелла» и рыбопромысловая компания ООО «Персей» (г. Мурманск). Этот проект рассматривался на Ученых советах ВНИРО, ПИНРО, ММБИ РАН, на заседании АСИ и одобрен Наблюдательным советом АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» АСИ под председательством Президента РФ В. В. Путина (Протокол заседания от 14 ноября 2013 г., п. № 4, разд. IV) и был поддержан Правительством Ленинградской области.

Ожидалось, что широкомасштабное внедрение ярусного лова в практику отечественного рыболовства в Северном бассейне позволит повысить культуру и технику безопасности труда наших рыбаков, приведет не только к увеличению их профессионализма, повышению производительности добычи и качества выпускаемой продукции, росту прибыли, но и создаст возможности для значительного увеличения объемов вылова за счет вовлечения в сферу промысла крупных хищных рыб и снижения естественной смертности молоди за счет уменьшения каннибализма. Предварительные расчеты показывают, что сырьевая база позволяет увеличить вылов более 120 тыс. т в год донных рыб, что обеспечит круглогодичной работой 20–25 современных средних судов ярусного лова и благоприятно отразится на промысловом запасе для судов тралового лова. Объем реализации выработанной рыбо-

продукции только на ярусных судах мог бы составить более 20 млрд. руб. в год.

В рамках этого проекта на новой площадке завода «Пелла» завершилось строительство современного судостроительного комплекса на 1200 высокотехнологичных рабочих мест. Расчетный годовой объем выпуска продукции на новых мощностях завода «Пелла» составляет более 10 млрд. руб. (8–10 ед. морских судов длиной до 100 м и осадкой до 6 м). Кроме того, в 2016 г. завод «Пелла» завершил строительство первого современного ресурсосберегающего морского научно-промыслового судна с автоматизированной системой ярусного лова (длиной 48 м) для рыбопромысловой компании «Персей». К сожалению, из-за бездействия руководителей Росрыболовства (ресурсного обеспечения) завод вынужден был продать это судно в Норвегию.

В целях ускорения вовлечения в сферу промышленного использования выявленной сырьевой базы и организации серийного производства современных высокотехнологичных судов ярусного лова в России необходимо принятие мер государственной поддержки законодательного характера. Для стимулирования строительства научно-исследовательского и поискового флотов необходимо внести ряд изменений в федеральное законодательство и в нормативно-правовые акты, в том числе внести корректировку в Ст. 21 Федерального закона о рыболовстве для стимулирования привлечения внебюджетных инвестиций (частных российских компаний) на строительство современных научно-промысловых судов на отечественных верфях, а также осуществления научных Программ морских ресурсных исследований с участием ученых отраслевых институтов в целях выявления дополнительной сырьевой базы (ВБР) в Российской экономической зоне и в Мировом океане. В целях окупаемости затрат, связанных с проведением морских ресурсных исследований, поправки к закону должны предусмотреть предоставление указанным компаниям (судовладельцам НИС) квот на вылов, переработку и реализацию ВБР, выделяемых им в научно-исследовательских целях.

В мировой практике (Канада, США) объемы вылова в научно-исследовательских и контрольных целях не входят в ОДУ и осуществляются в пределах погрешности оценок промысловых запасов эксплуатируемых популяций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В 2013–2017 гг. отечественным ярусным промыслом в Баренцевом море (при полном отсутствии других нетраловых орудий лова) добывалось

в среднем 5,7% от общего российского вылова донных рыб. Этот показатель представляется неоправданно низким не только на фоне норвежского (63%) (включающего помимо ярусов донные сети, снюрреводы, невода, уды), но и в сравнении с аналогичным показателем российского дальневосточного промысла (17,8%).

2. Многолетний (более 70 лет) ретроспективный анализ возрастного состава уловов в разные по интенсивности промысла периоды показывает, что снижение F приводит к удлинению в запасе возрастного ряда, к накоплению популяции крупных старшевозрастных рыб, которые, создавая дефицит традиционных кормов, переходят на потребление собственной молоди.

3. Канныализм трески в условиях чрезмерного накопления нерестового запаса (2,0–2,7 млн. т по 2011–2015 гг.) становится ощутимым негативным фактором, сокращающим численность промысловых рекрутов с последующим снижением промыслового запаса (от 3,6 млн. т в 2015 г. до 2,4 млн. т в 2019 г.).

4. В сложившейся ситуации сокращение ОДУ как меры регулирования промысла, обычно используемой для восстановления запасов, применительно к треске оказывается неэффективным. Немаловажная причина состоит в том, что крупные особи трески гораздо успешнее чем промысловая молодежь избегают попадания в трал [11, 25]. Эта причина вместе с канниализмом делают бессмысленным поддержание в популяции баренцевоморской трески SSB более $2B_{pa}$, равных 920 тыс. т [4].

5. Помимо общеизвестных преимуществ ярусного промысла по сравнению с траловым (более высокое товарное качество вылавливаемой рыбы, существенно меньший расход топлива, соответствие экологической безопасности, сокращение приловов молоди, выбросов и др.) яруса ориентированы на отлов относительно крупной рыбы. Эта особенность ярусного промысла может и должна использоваться для фактического управления запасом баренцевоморской трески, корректируя возрастную структуру сокращением доли старшевозрастных особей – основных потребителей собственной молоди.

6. Однако реализация идеи управления запасом баренцевоморской трески посредством целенаправленного повышения изъятия старшевозрастных групп невозможна при существующей низкой доли ярусного промысла (особенно отечественного) в сравнении с траловым.

7. Необходимость расширения ярусного и других способов лова касается прежде всего российского промысла.

Изменить ситуацию, по-видимому, можно только принятием административного решения руководством отрасли о расширении масштабов отечественного ярусного промысла на севере. Надеяться же на инициативу частных судовладельцев с учетом их постоянного стремления не столько к перспективной, сколько к «сиюминутной» выгоде, пока что нет оснований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Н.П. Треска *Gadus macrocephalus* прикамчатских вод. – В кн. Тихоокеанская треска дальневосточных вод России / Под ред. А.М. Орлова. – М.: Изд. ВНИРО, 2013. – 320 с.
2. Бойцов В.Д., Исаев Н.А., Мельянец Р.В., Руднев В.Г. Промысел в прибрежной зоне Мурмана и пути его совершенствования. – Развитие прибрежного промысла и аквакультуры в Баренцевом море: Сб. докл. Науч.-практич. конф. – Мурманск: Изд. ПИНРО, 1994, с. 35–48.
3. Борисов В.М. Селекционное влияние промысла на структуру популяций длинноклювых рыб // Вопросы ихтиологии. – 1978. – Т. 18. – Вып. 6. – С. 1010–1019.
4. Борисов В.М., Тарантова И. В., Крылова Г.А. О необходимости учета хищничества баренцевоморской трески (*Gadus morhua morhua*) в регулировании ее промысла // Вопросы рыболовства. – 2018. – Т. 19. – № 1. – С. 20–33.
5. Глухов В.М. Орудия лова для прибрежного промысла. – Развитие прибрежного промысла и аквакультуры в Баренцевом море: Сб. докл. Науч.-практич. конф. – Мурманск: Изд. ПИНРО, 1994, с. 71–78.
6. Греков А.А. Донный ярусный промысел в Баренцевом море и сопредельных водах. – Мурманск: Изд. ПИНРО, 2012. – 215 с.
7. Греков А.А., Павленко А.А. Сравнение ярусного и тралового донных видов промысла в Баренцевом море для разработки предложений по устойчивому использованию морских биоресурсов Баренцева моря // Всемирный фонд дикой природы (WWF): Технический отчет WWF. – 2011. – Вып. 4. – 52 с.
8. Деметьева Т.Ф. Биологическое обоснование промысловых прогнозов. – М.: Пищевая пром-сть, 1976. – 239 с.
9. Зиланов В.К., Борисов В.М., Лука Г.И. Рыбное хозяйство Норвегии. – М.: Изд. ВНИРО, 2017, 296 с.
10. Кокорин Н.В. Лов рыбы ярусами. – М., Изд. ВНИРО, 1994. – 421 с.
11. Коротков В. К. Реакция рыб на трал, технология их лова. – Калининград: ЭКБ АО «МАРИНПО», 1998. – 397 с.
12. Криворучко В.М., Озеров Ю.Б., Каспрук В.А. К вопросу об организации прибрежного удебного лова трески в районе Терiberки. – Развитие прибрежного промысла и аквакультуры в Баренцевом море: Сб. докл. Науч.-практич. конф. – Мурманск: Изд. ПИНРО, 1994, м. 155–157.
13. Курлански М. Треска: биография рыбы, изменившей мир. – М.: Вече, 2017. – 352 с.
14. Протокол 34-й сессии Смешанной Российско-Норвежской Комиссии по рыболовству. Калининград. 2005. – 17 с. – <http://www.jointfish.com>
15. Протокол 36-й сессии Смешанной Рос-

- сийско-Норвежской Комиссии по рыболовству. Санкт-Петербург. 2007. – 19 с. – <http://www.jointfish.com>
16. Протокол 38-й сессии Смешанной Рос-сийско-Норвежской Комиссии по рыболовству. Сочи, 2009. – 22 с. – <http://www.jointfish.com>
 17. Протокол 45-й сессии Смешанной Рос-сийско-Норвежской Комиссии по рыболовству. Астрахань, 2015. – 17 с. – <http://www.jointfish.com>
 18. Протокол 46-й сессии Смешанной Рос-сийско-Норвежской Комиссии по рыболовству. Норвегия, 2016. – 23 с. – <http://www.jointfish.com>
 19. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого морей и Северной Атлантики в 2018 г. / ПИНРО; отв. ред. Е.А. Шамрай. – Мурманск: Изд. ПИНРО, 2018. – 128 с.
 20. Стасенков В.А. Материалы экспериментального снюрреводного промысла в юго-восточной части Баренцева моря. – Развитие прибрежного промысла и ак-вакультуры в Баренцевом море: Сб. докл. Науч.-практич. конфер.. – Мурманск: Изд. ПИНРО, 1994, с. 149–154.
 21. Характеристика состояния запасов промысловых объектов в районах Северной Атлантики, в морях Северного рыбохозяйственного бассейна и прилегающих районах Арктики в 2017 г. и прогноз возможного вылова на 2019 г. – Мурманск: Изд. ПИНРО, 2018. – 357 с.
 22. Чумаков А.К., Глухов В.М. Ярусный промысел донных рыб в морях Северо-Европейского бассейна. – Развитие прибрежного промысла и аквакультуры в Баренцевом море: Сб. докл. Науч.-практич. конфер. – Мурманск: Изд. ПИНРО, 1994, с. 79–100.
 23. Чумаков А.К., Борисов В.М. Перспективы развития ресурсосберегающих технологий на отечественном промысле донных рыб Баренцева моря, Устойчивое использование биологических ресурсов морей России: Проблемы и перспективы. – Тез. докл. Всерос. науч. конф. (Сочи, 16 – 17 мая 2012). – М.: ВНИРО; WWF России, 2012, с. 25–26.
 24. Чумаков А.К., Лука Г.И. Перспективы развития ярусного промысла в Баренцевом море. – СПб.: Наука, 2014. – 334 с.
 25. Huse I., Løkkeborg S., Soldal A.V. Relative selectivity in trawl, longline and gillnet fisheries for cod and haddock // ICES Journal of Marine Science. – 2000. – Vol.57. – P. 1271–1282.
 26. Løkkeborg S. Importance of gear parameters catch rates and selectivity. – Bergen: IMR, 2010, 22 p.
 27. Report of the Arctic Fisheries Working Group (AFWG). – ICES CM 2015
 28. Report of the Arctic Fisheries Working Group (AFWG). – ICES CM 2018/ACOM:06 – 857 p.
 29. Yaragina N.A., Asgeir A., Sokolov K.M. 5.4. Cod. // The Barents Sea: ecosystem, resources, management: half a century of Russian-Norwegian cooperation. / Edit. T. Jakobsen, V. K. Ozhigin. – Trondheim: Tapir Academic Press, 2011, p. 225–270. ■

Государственные программы РФ по развитию арктической и субарктической зоны Дальнего Востока, климатические изменения в этих регионах, а также проведенный анализ существующих программных средств и информационных ресурсов в сфере организации морских грузоперевозок указывают на необходимость использования эффективной системы управления и модернизации инфраструктуры региона, для которой важную роль играет высокопроизводительная организация морских грузоперевозок, что, в свою очередь, требует разработки интеллектуальной информационной транспортно-логистической системы управления [1].

Анализируя процесс морских грузоперевозок, можно сделать вывод, что множество факторов, участвующих в процессе грузоперевозок и влияющих на него, носят качественный, неточный или размытый характер, и размерность задачи велика, поэтому при разработке системы необходимо прибегнуть к интеллектуальным технологиям, таким как нейронные сети, математический аппарат нечеткой логики. Также важным моментом в выборе технологий является необходимость обработки и использования накопленных знаний экспертов – специалистов в сфере судовождения и морских грузоперевозок [2].

Базовый компонент интеллектуальной системы – блок нечеткого вывода для модуля расчета эффективности организации морских грузоперевозок в арктических условиях.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Системы нечеткого вывода предназначены для преобразования значений входных переменных процесса управления в выходные переменные на основе

ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БАЗЫ ЗНАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Е.Ю. Соболевская, ст. преподаватель
ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»,
С. В. Глушков, д-р техн. наук, проф., декан,
Н. Г. Левченко, канд. техн. наук, доцент,
А. М. Коваленко, капитан дальнего плавания,
ст. инструктор – преподаватель
Дальневосточного морского тренажерного центра (ДВМТЦ),
ФБОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»,
levchenko@msun.ru, gluskov@msun.ru, kramar71946@gmail.com

использования нечетких правил продукций. Для этого системы нечеткого вывода должны содержать базу правил нечетких продукций и реализовывать нечеткий вывод заключений на основе посылок или условий, представленных в форме нечетких лингвистических высказываний [1].

- Процесс преобразования включает [1]:
- формирование базы знаний, в том числе с использованием знаний экспертов в данной области;
 - фазификацию;
 - формирование правил для базы знаний;
 - дефазификацию.

С помощью системы нечеткого вывода связываются воздействующие входные параметры и логические правила, используя базу знаний, сформированную экспертами. База правил для нечеткого вывода формируется на ос-

нове знаний экспертов в данной предметной области.

Для решения процесса, такого как фазификация, для расчета эффективности организации морских грузоперевозок в арктических условиях необходимо выделить:

- лингвистические переменные и их термы;
- параметрическую функцию принадлежности.

Рассмотрены нечеткие системы двух типов – Мамдани и Сугэно. Основное различие систем заключается в разных способах задания выходной переменной в правилах, образующих базу знаний. В системах типа Мамдани значения выходной переменной задаются нечеткими термами, в системах типа Сугэно – линейной комбинацией входных переменных [3]. После анализа «природы» входных переменных был выбран нечеткий вывод Мамдани.

База знаний Мамдани задается нечеткими термами и может трактоваться как разбиение пространства влияющих факторов на подобласти с размытыми границами, внутри которых функция отклика принимает нечеткое значение.

Нечеткий вывод Мамдани выполняется по базе знаний [2]

$$(x_1 = \tilde{a}_{ij} \text{ и } x_2 = \tilde{a}_{2j} \text{ и } \dots \text{ и } x_n = \tilde{a}_{nj} \text{ с весом } w_j) \Rightarrow y = \tilde{a}_{ij}, j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где $\tilde{a}_{ij}$ – нечеткий терм, которым оценивается переменная x_i в j -м правиле, $i = \overline{1, n}$; $\tilde{a}_{ij}$ – нечеткое заключение j -го правила; m – количество правил в базе знаний; $w_j \in [0, 1]$ – весовой коэффициент, отражающий адекватность j -го правила.

Все значения входных и выходных переменных заданы нечеткими термами.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Основной целью повышения безопасности мореплавания и эффективности грузоперевозок в арктической и субарктической зонах Дальнего Востока России, является минимизация рисков и стоимости доставки с учетом ненарушения графика. Поэтому основным входным параметром является навигация (наличие льда, толщина льда и т. д.). При формировании базы правил нечеткого вывода типа Мамдани и сравнительном анализе результатов эксперимента и сведений экспертов стало очевидно, что для дальнейшего построения рабочей модели грузоперевозки необходимо дополнить входные переменные.

При анализе данного региона плавания были рассмотрены следующие документы: закон о Северном морском пути; приказ об утверждении правил плавания в акватории Северного морского пути; Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах; Атлас ледовых образований; Номенклатура морских льдов; Лоции морей [4–11].

Рассмотрев тарифы на ледокольную проводку судов, оказываемую ФГУП «Атомфлот» в акватории Северного морского пути (СМП), и ФГУП «Росморпорт», было выявлено, что периоды навигации делятся на два сезона, а именно, летне-осенний и зимне-весенний [12, 13].

ФГУП «Атомфлот» осуществляет деятельность в акватории СМП, а ФГУП «Росморпорт» – в различных бассейнах, рассматриваемых в данной работе (Анадырь, Певек, Providения, Магадан, Петропавловск-Камчатский).

В приказе Федеральной службы по тарифам от 4 марта 2014 г. № 45-т/1 «Об утверждении тарифов на ледокольную проводку судов, оказываемую ФГУП «Атомфлот» в акватории Северного морского пути» указывается класс судна

в зависимости от сезона [12]. Выделены ледовые классы судна в зависимости от периода навигации (табл. 1).

В данной работе маршрут будет включать в себя порты (Магадан, Петропавловск-Камчатский, Анадырь, Providения, Певек) в разных вариациях, т. е. в разной очередности и при разном количестве посещений.

Перечисленные порты относятся к разным морям и, соответственно, имеют разную ледовую обстановку: Магадан – Охотское море, Петропавловск-Камчатский – Тихий океан, Анадырь и Providения – Берингово море, Певек – Восточно-Сибирское море.

На web-представительстве Федерального государственного бюджетного учреждения «Администрации Северного морского пути» доступен сервис «Типы ледовых условий» для каждого ледового класса в определенных морях [12]. На основе данных этого сервиса составлена сводная таблица, фрагмент которой представлен в табл. 2.

Данные табл. 2 являются ключевым элементом для составления базы правил для нечеткого вывода.

Периоды навигации в морском порту: Магадан и Петропавловск-Камчатский – круглогодичная; Анадырь – с 01.07. по 01.10; Providения – с 01.06. по 01.12; Певек – с 03.07 по 25.10.

Основываясь на Лоции морей, обозначим самый протяженный маршрут с включением всех портов и расстояниями между ними в морских милях, которые понадобятся в дальнейшем для расчета тарифа и времени в пути: Магадан – Петропавловск-Камчатский (722) – Анадырь (1077) – Providения (253) – Певек (744);

Таблица 1

Ледовые классы судна в зависимости от периода навигации

Период навигации	Ледовый класс судна
Летне-осенний	Ice 1
	Ice 2
	Ice 3
	Arc 4
	Arc 5
Зимне-весенний	Arc 6 – Arc 9
	Arc 4
	Arc 5
	Arc 6 – Arc 9
	Icebreaker 6 – Icebreaker 8

Петропавловск-Камчатский – (1117) – Providения.

Период навигации также необходимо соотносить с ледовым классом судна. Для судов арктических категорий представлены характеристики допустимых ледовых условий при самостоятельном плавании с типичными для категории (или группы категорий) скоростями. Данный район плавания имеет особую ледовую обстановку, которую разделяют на легкую, среднюю и тяжелую. Зависит ледовая обстановка от возраста льда, торосистости, сплошности льда и формы льда.

Проанализировав все вышеперечисленное, переходим к выявлению/выделению основных классификационных факторов и их весовых коэффициентов.

Ранее были выделены входные переменные «Судно», «Навигация», «Маршрут» [14]. Выделим термины лингвистических переменных: «Период», «Торосистость», «Сплошность льда», «Возраст льда», «Форма льда», «Сжатие», «Заснеженность», «Судно», «Маршрут». Для примера некоторые термины приведены в табл. 3–5.

Для термов лингвистических переменных зададим веса по степени наи-

Таблица 2

Ледовый класс судна и режим плавания в зависимости от региона и периода навигации

Ледовый класс судна	Период навигации	Регион плавания	Плавание	
			самостоятельное (СП)	под проводкой ледокола (ПЛ)
Ice 1 – Ice 3	С 01.07 по 15.11 ежегодно	Чукотское море	+	+
	С 01.07 по 15.11 ежегодно	Восточно-Сибирское море	+	+
Arc 4	С 01.07 по 01.11 ежегодно	Чукотское море	-	-
	С 01.06 по 01.01 ежегодно	Чукотское море	+	+
	С 01.07 по 01.11 ежегодно	Восточно-Сибирское море	+	-
	С 01.06 по 01.01 ежегодно	Восточно-Сибирское море	+	+
	С 01.06 по 01.01 ежегодно	Восточно-Сибирское море	+, *	*

+ При легком типе ледовых условий;

- При легком, среднем и тяжелом типе ледовых условий;

* В летний период с июля по ноябрь разрешено самостоятельное плавание при всех типах ледовых условий.

Таблица 3
Термы лингвистической переменной
«Период»

Диапазон значений	Характеристика терма	Обозначение терма
[0 ...6]	Летне-осенний	S_1
[7 ...12]	Зимне-весенний	S_2

Таблица 4
Термы лингвистической переменной
«Торосистость»

Диапазон значений	Характеристика терма	Обозначение терма
[0...1,25]	Низкий	L_H
[1,25 ...2,5]	Средний	M_H
[2,5 ...5]	Высокий	H_H

Таблица 5
Термы лингвистической переменной
«Сплоченность льда»

Диапазон значений	Характеристика терма	Обозначение терма
[0 ...1,25]	Очень низкий	VL_IC
[1,25 ...2,5]	Низкий	L_IC
[2,5 ...5]	Средний	M_IC
[5 ...10]	Высокий	H_IC

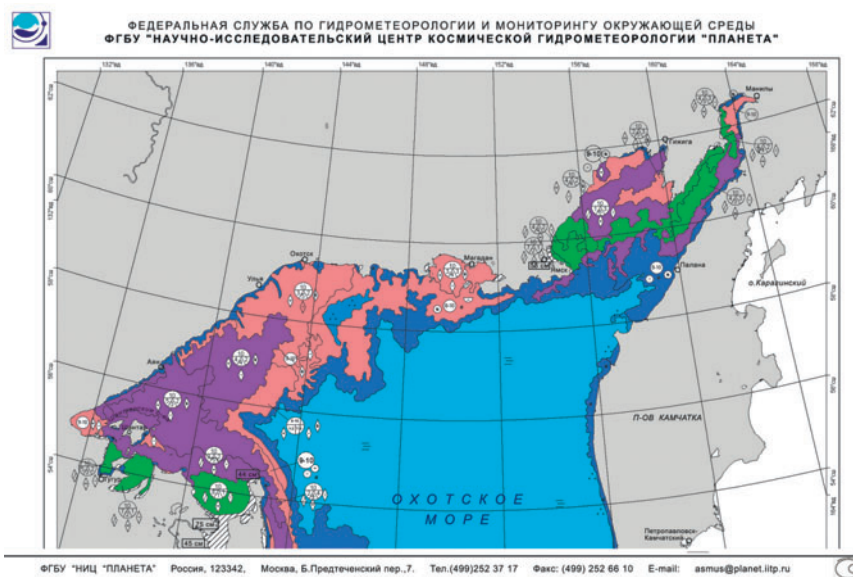
большого влияния на навигацию: «Торосистость», «Возраст льда», «Форма льда» – вес, равный 0,5; «Сплоченность льда» – вес, равный 1.

Карты-схемы ледовой обстановки (фрагмент представлен на рисунке – см. далее) стали основой для разработанной табл. 6 для дальнейшего формирования правил в системе нечеткого вывода Мамдани.

Также при составлении правил с учетом выбранного ледового класса судна, зная расстояния от порта к порту по выбранным маршрутам, скорость в узлах и данные таблицы для определения времени прохождения по заданному расстоянию и скорости, примерно определим время в пути, что в дальнейшем послужит для составления правил в системе нечеткого вывода Мамдани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были сформированы таблицы основных термов для формирования правил базы знаний с учетом характеристик ледовых условий плавания. При разработке системы нечеткого вывода для модуля расчета эффективности организации морских грузоперевозок в арктических условиях используются аналитические методы исследования, компьютерного моделирования и экспериментальные исследования. Следующий этап разработки – формирование базы правил для системы нечеткого вы-



Фрагмент карты-схемы ледовой обстановки Охотского моря

Ледовая обстановка по маршрутам следования

Маршрут	Порт	Период/Дата	Возраст льда	Торосистость	Сплоченность льда	Форма льда
2	Магадан	13–15/01/2019	Серый лед (10–15 см)	–	8–10	Мелкобитый лед 2–20 м
	Анадырь	8–10/01/2019	Тонкий лед (30–70 см)	–		100–500 м

Таблица 6

вода. База правил формируется на основе базы знаний, а она, в свою очередь, на знаниях экспертов в данной области. После формирования базы правил осуществляется переход к этапу «Дефазификация».

Таким образом, при реальных входных данных на выходе обученной нечеткой нейронной сети получаем схему наиболее эффективного использования флота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Levchenko N. G., Sobolevskaya E. Yu., Glushkov S. V. Development of intellectual system for managing the arctic and sub-arctic sea freight // Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education. – 2018. – Vol. 8. – № 1. – P. 10–22.
2. Соболевская Е. Ю., Глушков С. В., Левченко Н. Г. Архитектура интеллектуальной системы организации арктических морских грузоперевозок // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 4 (19). [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/10/Sobolevskaya_4_1_17.pdf, свободный. – (Дата обращения: 15.02.2019).
3. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2007. – 288 с.
4. Таблицы морских расстояний / Управление начальника Гидрографической служ-
- бы ВМФ, 1958. – 225 с.
5. Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс). International code for ship operating in polar waters (Polar code). – СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2016. – 232 с.
6. Бушуев А. В., Волков Н. А., Лоцилов В. С. Атлас ледовых образований / ААНИИ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 139 с.
7. Номенклатура морских льдов условные обозначения для ледовых карт. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 63 с.
8. Лоция Охотского моря. – Вып. 1: Южная часть моря. – Адм. № 1406. – 1984. – 332 с.
9. Лоция Берингова моря. – Ч. 1. Адм. № 1408. – 1981. 586 с.
10. Таблицы морских расстояний. – Т. III. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1981. – 132 с.
11. Лоция Восточно-Сибирского моря. – Адм. № 1119. – 1998. – 352 с.
12. ФГБУ Администрация северного морского пути. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.nsa.ru>, свободный. – (дата обращения: 15.01.2019).
13. ФГУП «Росморпорт». – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rosmorport.ru>, свободный. – (дата обращения: 15.01.2019).
14. Sobolevskaya E. Yu., Glushkov S. V., Levchenko N. G. and Orlov A. P. Development of efficiency module of organization of Arctic sea cargo transportation with application of neural network technologies // Journal of Physics: Conference. 2018. – Ser. Vol. 1015, (May). – [Electronic resource] – Access mode: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1015/4/042057/pdf>, свободный. – (Дата обращения: 15.02.2019). ■

Усталость человека при работе – закономерное следствие повышения интенсивности его труда. Частая и выраженная производственная усталость отрицательно влияет на все основные интегральные показатели труда работника: эффективность, безопасность, комфорт, здоровье. Наиболее наглядным доказательством актуальности вопроса о профессионально обусловленной усталости является разработка в разных отраслях промышленности и транспорта систем управления риском утомления (Fatigue Risk Management System (FRMS), обзор которых приведен в [1]. Особенно актуален этот вопрос при обеспечении безопасности на морском транспорте, где основной причиной аварий с судами становится усталость экипажа, в связи с чем в 2016 г. Международная морская организация решила пересмотреть руководство Guidance on Fatigue Mitigation and Management [2]. Значение усталости для безопасности производства, охраны труда и здоровья работников судостроения мало изучено [3]. Вместе с тем наши исследования показали, что примерно половина судостроителей – рабочих, специалистов, руководителей – отмечают частое или ежедневное производственное утомление умеренной и сильной степени [1].

Проявления усталости комплексны, поэтому они стали предметом исследования специалистов всех наук о труде: экономика (нормирование), организация и охрана труда; психология и социология труда; физиология, медицина и гигиена труда. В некоторых странах усталость как фактор опасности на рабочем месте – предмет правового регулирования. Для эффективного управления комплексными явлениями утомления необходима его количественная модель, разработку которой следует вести, предварительно имея общую [4], а затем и специфические (например, [5]) схемы причинно-следственных связей. Для разработки прогнозных математических моделей производственной усталости, аналогичных компьютерной программе Fatigue-and-risk-index-calculator [6,7], следует использовать прежде всего адекватный, экономичный и оперативный опросный метод сбора данных о симптомах, частоте, степени утомления и его факторов, соответствующих общей схеме причинно-следственных связей. Множество разработанных вопросников об усталости и стрессе изначально не связывали с ранее установленной общей схемой связей, а имели назначение их установить. Кроме того, в них не ставилась задача изучить главный, единый физиологический источник усталости – дефицит дневного [8] и ночного [9] отдыха. Учитывая эти обстоятельства, была поставлена цель – с помощью стандартизированного воп-

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ, ПСИХОСОЦИАЛЬНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ УСТАЛОСТИ И ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ СУДОСТРОЕНИЯ

Г.А. Сорокин, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник
ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья
Роспотребнадзора»,

В.Л. Сулов, канд. мед. наук, заслуженный врач РФ, врач-терапевт Медицинского центра АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 717 0028

росника, привязанного к общей причинно-следственной схеме, количественно охарактеризовать влияние организационных, психосоциальных, экологических и непрофессиональных факторов на усталость и показатели здоровья работников судостроения.

Объект и методика исследования. В исследовании принимали участие мужчины – работники основных цехов судостроения: 101 рабочий, средний возраст 43,6 лет; 25 мастеров, 37,1 лет; 13 инженерно-технических работников, 37,4 года. Исходя из общей схемы причинно-следственных связей между показателями работоспособности и здоровья работников и его факторами (рис. 1), обоснование которой дано в [10], разработана максимально краткая, стандартизированная анкета «Вопросник для изучения утомления работника» [11]. Анкета включает 3–7 вопросов по блокам указанной схемы, относящихся к двум типам – *причины* и *следствия* (рис. 1). За исключением факторов напряжение, стресс на работе, оценка каждого показателя причин проводилась по пятибалльной шкале (1 – не влияет на усталость; 2 – немного влияет; 3 – умеренно; 4 – сильно; 5 – очень сильно). Для оценки профессионального стресса использовались 5 градаций частоты физического, зрительного, умственного и эмоционального напряжения на работе: 1 – никогда; 2 – редко; 3 – иногда; 4 – часто; 5 – всегда. Для общего анализа причин отдельные показатели (вопросы анкеты) объединялись в 6 групп – 6 факторов, источников усталости и стресса работников:

1) **тяжесть и напряженность:** пять показателей – частота физического, зрительного, умственного и эмоционального напряжения. Последнее оценивалось дважды: как следствие от работы с людьми и как следствие ответственности в работе);

2) **режим труда:** объем и интенсивность работы, дефицит времени; вечерняя и ночная смены, работа в выходные; повышенная продолжительность рабочего времени (рабочего дня и недели);

неритмичность по дням и неделям загруженностью работой);

3) **«функционал»:** три показателя должностных обязанностей – неопределенность обязанностей; недостаточная самостоятельность; неопределенность правил, планов;

4) **психосоциальный климат:** четыре показателя – дисбаланс усилий и вознаграждения; неудовлетворенность работой; разобщенность трудового коллектива; отсутствие поддержки администрации;

5) **экология** (производственная среда на рабочем месте): пять показателей – производственный шум, микроклимат; качество воздуха; вибрация, другие факторы;

6) **непрофессиональные причины:** пять показателей – внерабочая нагрузка; недостаток свободного времени; состояние здоровья и особенности личности; недостаток знаний и опыта; другие факторы.

Оценки (баллы) показателей каждого из 6 факторов суммировались и суммы баллов переводились в центильную 5-категоричную шкалу (квинтили). Для сравнительного анализа влияния на усталость и показатели здоровья работников профессиональных и непрофессиональных (НФ) факторов показатели 1–5 факторов объединялись (суммировались) в группу «профессиональные факторы» (ПФ, баллы и квинтили). Дефицит кислорода (ДО) в рабочее и вне рабочее время определялся как сумма двух показателей «объем и интенсивность работы, дефицит времени» и «недостаток свободного вне рабочего времени» (ДО – 2–10 баллов).

Следствия – кратковременные и долговременные эффекты воздействия факторов (см. рис. 1) оценивались по показателям: риски умеренной или сильной усталости на работе, риски ухудшения здоровья, длительных болезней, предболезненных состояний, синдрома хронической усталости (СХУ), количество дней болезни за год, количество и частота симптомов СХУ. Наличие СХУ определялось по методике [11, 12]. В группах работников рассчитывались: средние значения показателей и их ошибка, коэффици-

Вероятность нахождения на рабочем месте в состоянии усталости различной степени и частоты

Степень обычной усталости к концу смены	Частота усталости		
	Иногда	Часто	Ежедневно
Небольшая	3,5	7,0	11,7
Умеренная	3,8	7,5	12,5
Сильная	4,3	8,5	14,2

циенты парных корреляций показателей r ; анализировались линейные регрессионные модели связи причин (вышеуказанные факторы) и следствий (показатели усталости и здоровья).

При определении риска нахождения работников в состоянии усталости использовалась табл. 1 [8, 12, 13].

В табл. 2 представлены показатели усталости и здоровья в группах обследованных работников. В группе рабочих, по сравнению с мастерами и ИТР, примерно в 1,5 раза выше количество дней болезни за год и в 2 раза риск длительных болезней. Эти различия соответствуют разнице дней болезни этих работников, установленной по данным учета заболеваемости с временной утратой трудоспособности [13]. Установлено, что анамнестический метод определения заболеваемости достаточно надежный, коэффициент корреляции субъективных и объективных данных равен 0,85 [14]. Риск сильной усталости на работе у мастеров почти в 2 раза больше, чем у работников других групп. Среди мастеров и ИТР более вероятны состояния предболезни, чем в группе рабочих. Вместе с тем у мастеров не выявлено случаев СХУ.

Положительная корреляция между групповыми факторами усталости и здоровья находится в диапазоне 0,44–0,67 ($p < 0,01$), что по шкале Чеддока соответствует слабой ($r = 0,3–0,5$) и средней ($r = 0,5–0,7$) силе связи переменных. Можно полагать, что эта взаимосвязь факторов в значительной степени обусловлена непрофессиональной причиной – индивидуальными характеристиками работников. У работников с пониженным уровнем работоспособности и здоровья, с тревожным типом личности оценки всех факторов могут смещаться. В табл. 2 показаны корреляции показателей усталости и здоровья судостроителей с их факторами-причинами (значения $r < 0,3$ в табл. 2 не указаны). У рабочих риск усталости умеренной или сильной степени достоверно и положительно коррелируется со всеми факторами. Во всех группах работников этот риск достоверно связан с показателями «тяжесть и напряженность труда» и «непрофессиональные факторы». Степень выраженности синдрома хронической усталости (балльная оценка) у мастеров положительно связан со всеми факторами, кроме «тяжесть и напряженность труда», а у ИТР связь не

выявлена только с фактором «режим труда». У рабочих значение корреляции всех факторов с риском острой усталости превышает 0,3. Однако степень связи этих факторов с симптомами хронической усталости очень слабая – $r < 0,3$. В отличие от этого у мастеров величина корреляции большинства факторов с риском острой и с выраженной хронической усталостью превышает 0,3. При этом в отличие от рабочих прослеживается более тесная связь факторов не с риском усталости на работе, а с ее хроническими симптомами. Можно полагать, что это объясняется тем, что у мастеров следы усталости, связанные преимущественно с эмоциональными нагрузками, исчезают медленнее, чем это происходит при физических нагрузках. В исследовании [12] показано, что при сильной усталости период восстановле-

ния после 8-часового рабочего дня составляет около 6 часов у работников физического труда и 9 часов у работников умственного, эмоционально напряженного труда, поэтому у последних риск хронической усталости вследствие кумуляции следов острого утомления повышен (см. рис. 1). Инерция восстановительных процессов при эмоционально напряженном труде приводит к «профессиональному выгоранию» работников [11].

Графики на рис. 2 количественно характеризуют значения показателей изученных факторов. Видно, что большинство показателей четырех факторов из шести – тяжесть и напряженность труда, «функционал», психосоциальный климат, внерабочая нагрузка оказывают наибольшее значение в группе мастеров.

Все показатели факторов «режим труда и экология» имеют большее значение в группе рабочих. У рабочих дисбаланс усилий и вознаграждения («effort-reward-imbalance», (ERI [10, 15]) является наиболее распространенной причиной усталости среди показателей психосоциального климата. Рис. 3 и рис. 4 характеризуют влияние ERI на усталость работников при разной интенсивности труда и на показатели их здоровья.

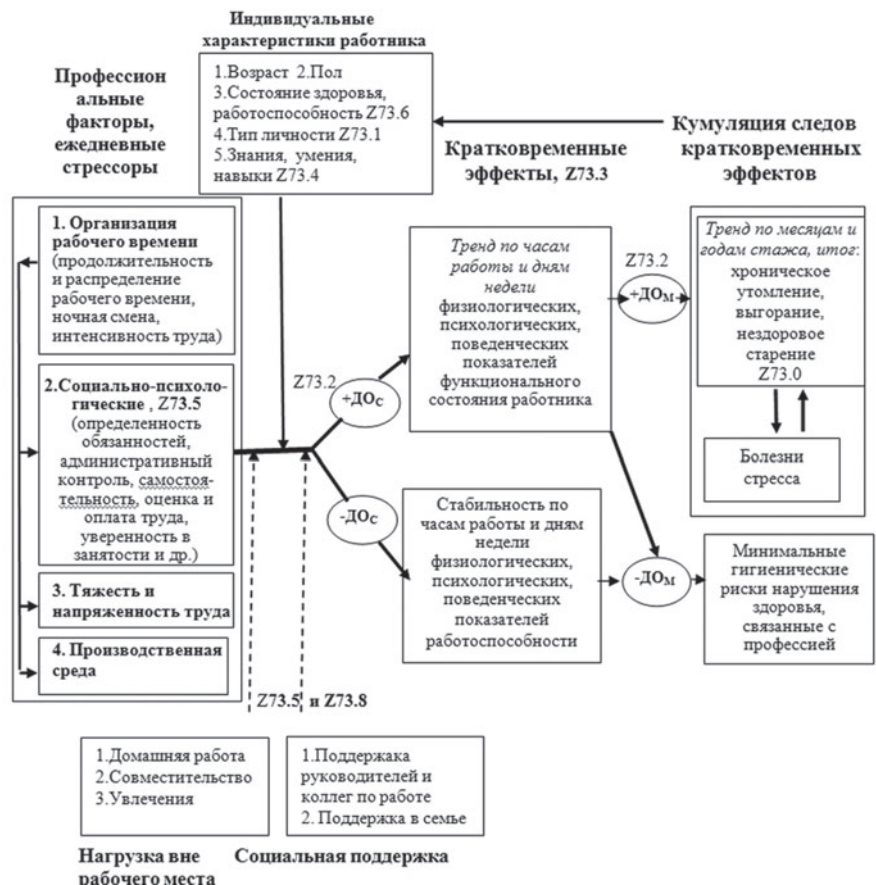


Рис. 1. Общая схема причинно-следственных связей для изучения влияния организационных, психосоциальных, экологических и непрофессиональных факторов на усталость и здоровье работников

Z73.0 ...Z73.8 коды факторов и причин переутомления по международной классификации болезней МКБ-10: Z73.0 – выгорание (burnout); Z73.2 – дефицит отдыха (ДОс – суточный и недельный; ДОм – месячные и годовой [8]); Z73.3 – стрессовое состояние; Z73.5 – ролевые конфликты, психологический климат; Z73.8 – другие, сопутствующие факторы выгорания

Показатели усталости и здоровья рабочих, мастеров и ИТР

Категория профессий	Риск сильной усталости, %	Кол-во дней болезни в год	Риск депрессий, %	Риск ухудшения здоровья за год, %	Риск болеть более 2 недель за год, %	Риск синдрома хронической усталости	Индекс симптомов СХУ, баллы
Рабочие	8,8±2,8	7,3±1,0	16,7±3,7	29,7±4,6	16,2±3,7	18,3±3,9	14,5±,8
Мастера	15,4±7,2	5,5±1,2	23,1±8,4	28,0±9,2	8,0±5,5	0,0	11,9±1,02
ИТР	7,7±7,7	3,5±1,7	23,1±12,2	23,1±12,2	7,7±7,7	25,0±13,0	14,7±2,5

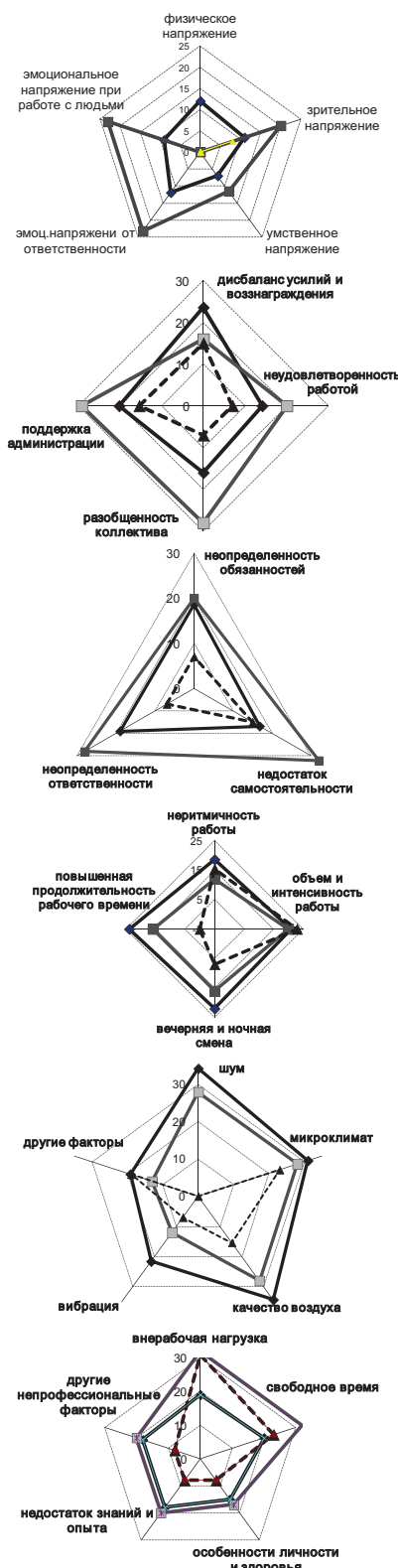


Рис. 2. Вероятность сильного влияния на усталость рабочих, мастеров и специалистов судоверфи организационных, психосоциальных, экологических и непрофессиональных факторов

Черная сплошная и пунктирные линии – соответственно рабочие и специалисты; серая – мастера

Видно, что значение для возникновения усталости работников дисбаланса усилий и вознаграждения резко возрастает при интенсификации труда (рис. 3).

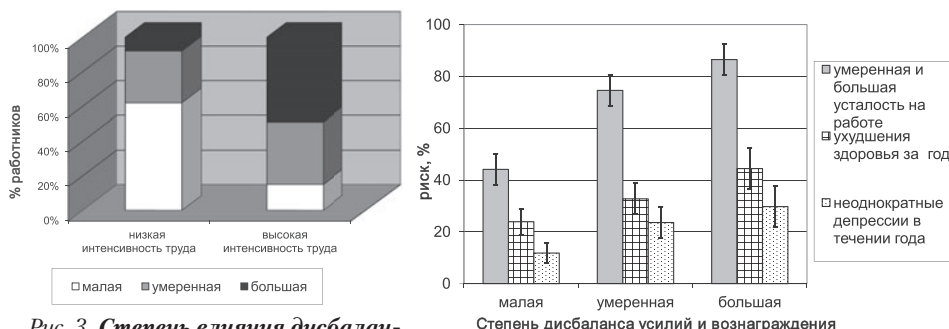


Рис. 3. Степень влияния дисбаланса усилий и вознаграждения на усталость работников при разной интенсивности труда

При высокой степени ERI более чем в 2 раза увеличиваются риск усталости, риски ухудшения здоровья за год и неоднократных предболезненных состояний (рис. 4).

На рис. 5 приведены значения дефицита отдыха в рабочее и в нерабочее время в развитии рисков острой и хронической усталости и в возникновении рисков нарушения здоровья работников (данные включают мужчин и женщин основных цехов и других подразделений судоверфи).

Рис. 4. Влияние дисбаланса усилий и вознаграждения на усталость и здоровье работников

Видно, что гигиенически опасным является дефицит отдыха (ДО) – более 7 баллов; при большей величине ДО резко возрастают риски всех показателей усталости и нарушений здоровья. Эти данные и ранее проведенные исследования [8, 10] показывают, что ведущей причиной профессионально-обусловленной хронической усталости, профессионального выгорания и связанными с ними хроническими нарушениями здоровья является дефицит отдыха, возникающей при профессиональном стрессе и рабочей

Таблица 3

Корреляция показателей усталости и здоровья работников судоверфи с организационными, психосоциальными, экологическими и непрофессиональными факторами

Показатели усталости и здоровья	Профессия	Категории (пентили) факторов					
		Тяжесть, напряженность	Режим труда	Экология труда	«Функционал»	Психосоциальные	Не профессиональные
Риск умеренной или сильной усталости, %	мастер	,45 (*)		,44 (*)		,32	,33
	рабочий	,39 (**)	,48 (**)	,41 (**)	,37 (**)	,41 (**)	,33*
	ИТР	,59 (*)	,47		,55		,34
Риск ухудшения здоровья за год, %	мастер						
	рабочий	,38 (**)					
	ИТР		,43				
Риск депрессии и предболезни несколько раз в год, %	мастер					,45 (*)	0,35
	рабочий	,38 (**)		,32 (**)			
	ИТР	,57		,50		,39	0,36
Риск болезни более 2 недель в год, %	мастер			,32	,33		
	рабочий		,33	,64 (*)		,37	
	ИТР	. (a)					
Риск синдрома хронической усталости, %	мастер	. (a)	. (a)	. (a)	. (a)	. (a)	. (a)
	рабочий						
	ИТР	,73 (**)		,60 (*)	,33		,59*
Симптомы хронической усталости, баллы	мастер		,52 (**)	,42 (*)	,51 (**)	,50 (*)	,52*
	рабочий						
	ИТР	,64 (*)		,73 (*)	,42	,56	,56

** Корреляция значима на уровне $p=0,01$; Корреляция значима на уровне $p=0,05$; * Корреляцию невозможно рассчитать

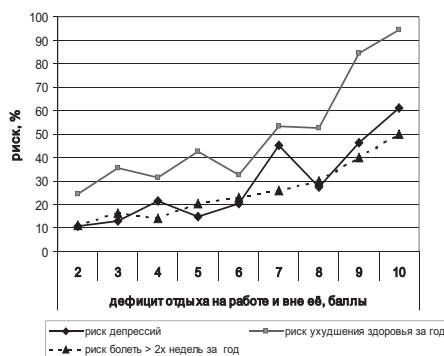
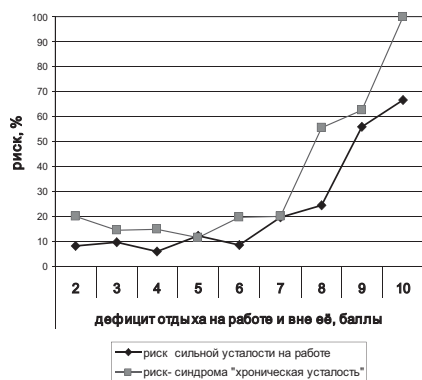


Рис. 5. Риски острой и хронической усталости и риски здоровью работников при дефиците отдыха на работе и во внерабочее время

нагрузке, неадекватной восстановительным возможностям организма человека (см. рис. 1). Величина дефицита отдыха более 7 баллов наблюдается у 13,8% обследованных работников, в том числе у 15% рабочих, 8% у мастеров, 15,4% у ИТР.

Регрессионный анализ «риск умеренной или сильной усталости – профессиональных (ПФ) и непрофессиональных (НП) факторов» показал, что риск зависит преимущественно от профессиональных факторов (все группы работников):

Риск усталости (в пентилях) равен $20,7 + 12,9 \times \text{ПФ}$ (пентилях) + $1,9 \times \text{НП}$ (пентилях).

Вместе с тем в отличие от рабочих у мастеров и ИТР риск сильной усталости связан с непрофессиональными факторами не в меньшей степени, чем с профессиональными.

Установлено, что 2% рабочих, 12% мастеров и 6% ИТР часто сильно устают, они находятся 8,5% рабочего времени в состоянии сильной усталости; 5% рабочих и 6% ИТР, ежедневно сильно устающих, находятся в состоянии сильной усталости 14,2% рабочего времени (см. табл. 1). В целом доля рабочего времени, когда судостроители находятся на рабочем месте в состоянии сильной усталости, составляет у рабочих 7%, у мастеров и ИТР по 12%. В указанные периоды работник экономит физические, умственные и эмоциональные усилия, поэтому безопасность работы и качество ее результатов обычно понижаются [1]. В исследовании [16], в котором в условиях строго контролируемого эксперимента сравнивали ухудшение показателей работоспособности, вызванное усталостью, с ухудшением показателей, вызванным алкогольной интоксикацией, установлено, что даже умеренный уровень усталости приводит к более высоким уровням нарушений работоспособности, чем запрещенный уровень алкогольной интоксикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные сравнительно небольшого объема представляют интерес для обоснования актуальности внедрения FRMS или ее отдельных элементов

для повышения эффективности, безопасности и надежности трудовых процессов на судостроительных предприятиях, в частности:

- определена распространенность состояния острой и хронической усталости среди категорий работников судостроения – рабочих, мастеров и ИТР (табл. 2);
- среди категорий работников причины усталости – повышенная напряженность труда, отрицательные характеристики функциональных обязанностей и психосоциального климата, внерабочая нагрузка, наиболее распространены среди мастеров (20–30% численности), среди рабочих наиболее часто влияют на усталость показатели режима труда и экологии на рабочем месте (22–35%);
- ориентировочные значения риска снижения работоспособности рабочих, мастеров и ИТР вследствие их нахождения на рабочем месте в состоянии сильной усталости составляют 8–12% рабочего времени;
- у рабочих ведущее значение среди психосоциальных причин усталости имеет «дисбаланс усилий и вознаграждения» (25% от численности), утомляющая роль которого резко возрастает при интенсификации трудовых процессов; у мастеров более распространены психосоциальные показатели «поддержка администрации и «разобщенность коллектива» (30%);
- физиологическим источником рисков острой и хронической усталости и связанными с ними хроническими нарушениями здоровья является суммарный дефицит отдыха, образовавшийся в рабочее и внерабочее время;
- у рабочих, отмечающих частую или ежедневную сильную усталость, значение профессиональных причин многократно превышает значение непрофессиональных, а у мастеров и ИТР относительное значение непрофессиональных причин усталости существенно выше.

Для конкретизации по отдельным профессиям, видам работ, участкам и

цехам приоритетных мероприятий по управлению риском усталости и связанными с ним опасностями необходимо проведение дальнейших более масштабных исследований с использованием прежде всего оперативных, экономичных и верифицированных вопросников и экспертных оценок. Учет разнообразных субъективных показателей, как и предлагаемый учет незначительных, мелких инцидентов, микротравм [17], поможет создать выверенную на практике базу данных для управления усталостью и связанных с ней опасностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин Г.А., Сулосов В.Л. Системы управления риском усталости на рабочем месте для повышения безопасности при организации судостроительного производства // Морской вестник. – 2018. – №3(65). – С.1–5.
2. Григорьев Н.Н., Сизаев Д.Б. Формы и эффективность международной морской организации (ИМО) при борьбе с усталостью моряков // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 3. – С. 506–515.
3. Code of practice on safety and health in shipbuilding and ship repair 1 Revised edition. // MECPS/2018/5, ILO, Geneva. – http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/ed_dialogue/sector/documents/normativeinstrument/wcms_618575.pdf
4. Hurrell J.J., McLaney M.A. Exposure to job – A new psychometric instrument // Scan. J. Work Env. Health. – 14. – 1988, suppl 1, 27–28.
5. Сорокин Г.А., Барков Н.В. О профессиональных заболеваниях рук от хронического перенапряжения // Охрана труда и социальное страхование. – 2003. – № 5. – С. 57–62.
6. Fatigue index calculator. – Available at: <http://www.hse.gov.uk/RESEARCH/rtrpdf/rtr446g.pdf>.
7. Fatigue/risk index. Available at: <http://www.hse.gov.uk/research/rtrhtm/rtr446.htm>.
8. Сорокин Г.А. Определение и оценка дефицита отдыха при различных сочетаниях интенсивности труда с продолжительностью рабочего дня и недели. – Тр. Международ. науч.-практ. конф. «Психология труда, инженерная психология и эргономика 2014». – СПб.: 3–5 июля (2014), с. 422–428.
9. Сорокин Г.А. Значение хронических нарушений сна для здоровья работающих и их связь с профессиональным и непрофессиональным нервно-психическим напряжением // Мед. труда. – 2018. – № 5. – С. 8–13.
10. Сорокин Г.А. Работа, утомление и профессиональный риск. – СПб.: Изд. Политех. университета. – 2016–456 с.
11. Сорокин Г.А. Интегральная оценка психосоматических симптомов профессионального выгорания и его профилактика // Вестник Росздрава. – 2018. – № 1. – С. 40–45.
12. Сорокин Г.А. Хронофизиологическое исследование профессионально-обусловленной усталости. – Физиология человека. – 2008. – № 6. – С. 70–77.
13. Сорокин Г.А., Сулосов В.Л. Условия труда и заболеваемость с временной утратой трудоспособности работников судостроительного предприятия // Морские интеллектуальные технологии. – 2010. – Октябрь. – С. 253–257.
14. Воронин В.А., Сорокин Г.А., Плеханов В.П. Анамнестический метод изучения причинно следственных связей между состоянием общественного здоровья производственными, экологическими и социальными факторами // Мед. труда. – 1995. – № 11. – С. 40–43.
15. Effort-reward-imbalance. In: The Handbook of Stress and Health: A Guide to Research and Practice. – First Edition Editor (s): Cary L. Cooper, James Campbell Quick, John Wiley & Sons Ltd, 2017.
16. Dawson D., Reid K.J. Fatigue, alcohol and performance impairment. Article (PDF Available) in Nature 388 (6639):235 • August 1997.
17. Учет микротравм / ohranatruda.ru/news/896/579314. ■

В истории отношений России с Великобританией существовал особый период, отличавшийся от хорошо известного современного состояния, дружбой, союзом и военной поддержкой, которую Россия оказала Англии по просьбе её короля Георга III. Истоки договора между двумя державами, получившего официальное название «Союз дружбы и доброго согласия», восходили к последним годам царствования Екатерины II, когда впервые за три десятилетия своего пребывания на престоле императрица пошла на подписание с Владычицей морей союзного трактата.

Конец XVIII в. ознаменовался военнополитическими и государственными изменениями в Европе, связанными с событиями во Франции, и европейские монархи, объединяясь в коалиции, пытались противостоять стремительно распространявшейся французской революции. Российская императрица Екатерина II в течение трех лет – с 1789 по 1792 г. – оставалась сторонней наблюдательницей за революционными бурями, бушевавшими в Париже, поскольку считала недопустимым бросать русские армии на поля сражений и проливать кровь за чуждые европейские интересы. Но после казни французского короля Людовика XVI и королевы Марии-Антуанетты в феврале 1793 г. государыня кардинально изменила свою позицию и выразила солидарность Георгу III, который одним из первых призвал Европу бороться с разрушителями престолов и законной власти. «Неслыханное варварское злодеяние», потрясшее дворянско-монархическое общество, побудило Екатерину II подумать об эффективных мерах борьбы с «французскими извергами» и пойти на переговоры с Великобританией на предмет заключения союзных обязательств. 25 марта 1793 г. российский посланник в Лондоне – чрезвычайный и полномочный министр Семен Романович Воронцов и статс-секретарь по иностранным делам Великобритании Уильям Гренвилль скрепили подписями двустороннюю конвенцию о мерах против мятежной Франции, что стало заметным событием во внешнеполитической жизни России и Англии.

Следующим этапом стало заключение уже в Петербурге 7 (18) февраля 1795 г. союзного оборонительного договора сроком на восемь лет. Текст договора содержал две секретные статьи, по которым Россия обязалась предоставить Англии военную помощь в числе 12 линейных кораблей и 6 фрегатов для совместных операций с великобританским королевским флотом «против общего врага в Ла-Манше или в океане». Король Георг III, в свою очередь, согласился на условие Екатерины II: в слу-

РОССИЯ И АНГЛИЯ ПРИ ИМПЕРАТОРЕ ПАВЛЕ: 220 ЛЕТ ГОЛЛАНДСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

*Г.А. Гребениčkova, д-р истор. наук, проф., историограф СПб МС,
контакт. тел. (812) 312 5396*

чае, если российская вспомогательная эскадра останется зимовать в английских портах, то ей «будут доставлены все средства, коими имеют право пользоваться союзные и вспомогательные эскадры как в отношении продовольствия, так и могущих потребоваться починков». Другими словами, король гарантировал безвозмездно снабжать российских моряков провизией, лечить их в госпиталях и ремонтировать корабли.

Эскадру, назначенную к берегам Англии, Екатерина II вверила вице-адмиралу П. И. Ханькову, поставив ему задачи нести крейсерскую службу в Северном море, совместно оперировать с английским флотом и обеспечивать защиту побережья Англии. В состав эскадры вошло 12 линейных кораблей – четыре 74-пушечного ранга и восемь 66-пушечного, шесть фрегатов и два мелких судна.



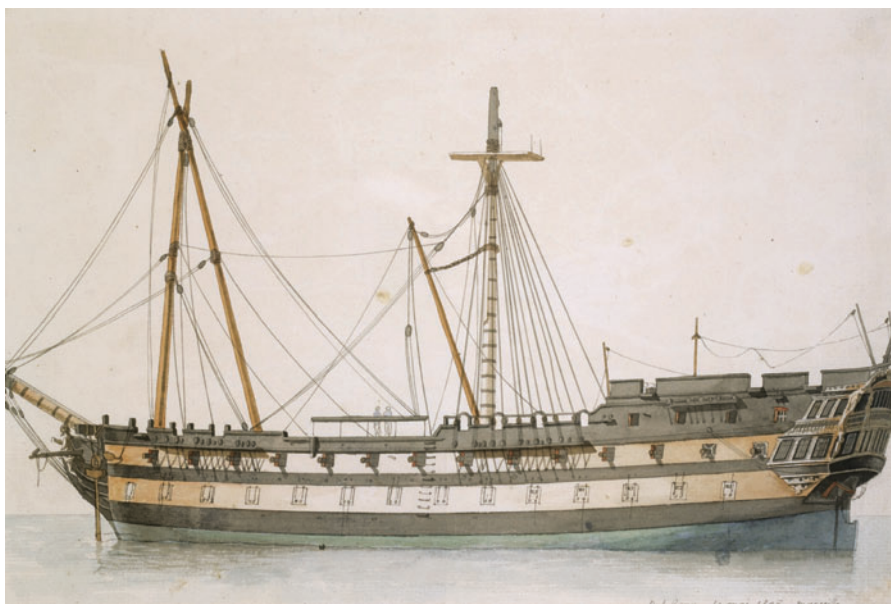
Адмирал П.И. Ханьков

В июне 1795 г. эскадра П. И. Ханькова (флаг на корабле «Память Евстафия») вышла из Кронштадта. В подчинении Петра Ивановича находилось 9517 человек морских, артиллерийских и армейских чинов (из них 4760 человек матросов 1-й и 2-й статей, 95 мичманов); в то же число входили мастера разных специальностей: плотники, конопатчики, такелажники, а также 40 поваров, 68 трубачей, 19 священников и 20 лекарей. С Ханьковым отплыли два контр-адмирала – М. К. Макаров и Е. Е. Тет. Одновременно Екатерина II повелела перейти на военное положение трем армиям, дислоцированным вдоль западных границ России под ко-

мандованием прославленных полководцев А. В. Суворова-Рымницкого, П. А. Румянцева-Задунайского и князя Н. В. Репнина.

В то время военные обстоятельства диктовали двум державам – России и Англии – организовать крейсерскую и блокадную службы у побережья Голландии, оккупированной французами; блокировать предполагалось главную базу голландского флота у острова Тексель. Положение дел в тот период сложилось следующее: завоевав Голландию, французы уничтожили штат-галтерское правление во главе с Вильгельмом Оранским, а из семи союзных провинций образовали Батавскую республику. В мае 1795 г. Батавская республика вступила в военно-политический блок с Францией и тем самым связала себя обязательствами воевать на стороне генерала Бонапарта, предоставляя ему стратегическое сырье, запасы, людские ресурсы и строевой лес для постройки судов, которые голландцы же и строили.

27 июля 1795 г. русская эскадра бросила якорь в английском порту Дил, куда для ее встречи приехал С. Р. Воронцов. В Диле командование уже над соединенными англо-русскими силами принял английский адмирал А. Дункан и произвел смотр флоту, после чего выразил искреннюю похвалу начальнику русской эскадры П. И. Ханькову. Крейсерство русско-английских отрядов в Северном море продолжалось до глубокой осени: моряки несли боевое дежурство у Текселя, блокировали голландский флот, ходили к южным берегам Норвегии, обеспечивали охрану английским торговым конвоям. После крейсерства русские суда ушли на докование и ремонт в британские адмиралтейства – в Ширнесс, Ярмут и Чатам, а король Георг III принимал в Сент-Джеймском дворце союзных офицеров. Посланник С. Р. Воронцов доложил руководству: когда он представил королю и королеве Петра Ивановича Ханькова, то «король изволил вспомнить лицо г-на вице-адмирала и сказал ему, что уже его видел. Что и правда, – подчеркивал Воронцов, – но сему уже прошло более 20 лет». Георг III не ошибся. Действительно, в 1775 г., когда русский флот возвращался из Архипелага после



Установка рангоута

завершения пятилетнего там пребывания и победы в Чесменском сражении, П. И. Ханыков вместе с С. К. Грейгом были представлены королю.

Согласно союзным обязательствам, российские моряки остались зимовать в Англии, а английские мастера приступили к подготовке эскадры к будущей кампании: обшивали корпуса медной обшивкой, меняли поврежденный штормами рангоут и паруса. В тот период медная обшивка деревянных корпусов считалась важным (и дорогостоящим) достижением в области судостроения и судоремонта. Медная обшивка защищала суда от повреждения и червоедения, продлевала сроки их службы и имела большое значение в таком важном тактическом элементе, как скорость хода. Корабль, обшитый медью, получал дополнительную прочность и гидроизоляцию.

В апреле 1796 г. вице-адмирал П. И. Ханыков вновь получил предписание Британского Адмиралтейства совместно с английской эскадрой выйти в крейсерство и блокировать голландский флот, стоявший у Текселя, а по завершении кампании лорды Адмиралтейства выразили Ханыкову «величайшее удовольствие (Extreme Satisfaction) от доброго поведения офицеров и матросов Вашей эскадры, от доброго согласия и взаимопомощи во всех случаях исполнения своих служебных обязанностей». В августе Екатерина II отозвала П. И. Ханыкова из Англии с повелением оставить там отряд судов под начальством контр-адмирала М. К. Макарова, а в ноябре того же 1796 г. великая императрица скончалась.

Вступивший на престол император Павел после коронации в Москве направил указ уже М. К. Макарову, получившему звание вице-адмирала, о

возвращении из Англии и следовании «к своим портам в Финский залив». Распоряжение императора привело руководство Англии в крайнее замешательство. С. Р. Воронцов докладывал Павлу: «Лорд Гренвилль, сокрушаясь, говорил, что несчастную Англию покинули все ее бывшие союзники. Осталась одна Россия, да и та теперь отзывает эскадру». Российский дипломат успокаивал собеседника словами: «Три корабля и три фрегата в сравнении с многочисленным вашим флотом есть не что иное, как капля воды с морем», но Гренвилль с таким мнением не соглашался. «Вы ошибаетесь, — говорил он. — Всякие силы, велики или малы, нам теперь необходимо нужны, и нужны паче, нежели во всякое другое время».

Действительно, лорд Гренвилль говорил искренне. В тот период положение Владычицы морей серьезно осложнилось по причине быстрого усиления Франции. Французская Директория политически окрепла благодаря наступательным союзам с Испанией и Голландией, а успехи генерала Бонапарта на сухопутных театрах военных действий привели к ослаблению противников французов Австрии и Пруссии. Французы готовились высадить десант на побережье Англии, а голландцы угрожали вторжением сильного флота с востока. К внешней угрозе англичанам добавились начавшиеся в стране внутренние беспорядки и бунты на флоте, причиной чему стало недовольство английских матросов некачественной провизией. Восстание мгновенно охватило весь королевский флот, матросы захватили суда, стоявшие на внешних рейдах Портсмута, Плимута и Ширнеса, заблокировали лондонский порт, отказались подчиняться командирам и заявили, что не станут выполнять требований

офицеров до тех пор, пока все их условия не будут приняты. Причем зачинщики бунта демонстративно превратили в оперативный центр руководства восстанием трофейный французский 80-пушечный корабль «Le Pompré». По сути, военно-морские силы Англии охватил тогда паралич. Флот не выходил в море, а реальной опорой короля оставались всего два корабля, которые под начальством адмирала А. Дункана продолжали нести боевое дежурство у берегов Голландии.

В то трудное для англичан время французский флот мог нанести им сокрушительный удар и беспрепятственно начать высадку экспедиционного корпуса на побережье, поэтому важно было любой ценой подавить восстание. Выполнить эту задачу Георг III поручил адмиралу Д. Джервису, который получил титул лорда Сент-Винсента после одержанной победы над мощным испанским флотом у мыса Сент-Винсент в феврале 1797 г. и Джервис выполнил приказ короля, действуя беспощадно железной рукой. По захваченным бунтовщиками кораблям Джервис приказал стрелять из береговых батарей, а после подавления мятежа публично повесить зачинщиков на корабле «Sandwich». Когда стало ясно, что порядок и дисциплина на флоте окончательно восстановлены, Джервис отплыл с флотом в Средиземное море, чтобы блокировать испанский порт Кадис, где по данным хорошо организованной англичанами службы разведки сосредоточилось до 30 неприятельских вымпелов.



Император Павел I

Император Павел с пониманием отнесся к внутренним проблемам Англии и задержал там эскадру вице-адмирала Макарова. Стоит, однако, подчеркнуть, что в подавлении мятежа английских матросов русские моряки участия не принимали, так как в течение зимних месяцев и всего марта эскадра находилась в королевских доках, а в апреле перешла в Ярмут, откуда готовилась выйти на боевое дежурство в Север-



Два русских корабля на рейде Ширнеса в 1796 году

ное море. Это подтверждается записями в вахтенных журналах. Тем не менее, надо полагать, что присутствие русских кораблей во время беспорядков в одном из главных портов Англии являлось для восставших сдерживающим фактором.

Не допустив голландцев до английских берегов, россияне оказали союзникам неоценимую поддержку. Георг III лично пожелал выразить М. К. Макарову сердечную благодарность, для чего пригласил Михаила Кондратьевича в Сент-Джеймский дворец и вручил ему золотую шпагу, усыпанную бриллиантами. В этот важный эпизод российской истории XIX – начала XX в. внесли весьма оригинальную поправку. По их мнению, в правительстве Георга III посчитали, что королю не подобает награждать русского адмирала за помощь (пусть даже косвенную) в приведении к повиновению матросов флота его величества, поэтому королевский подарок несколько дезавуировали и выгравировали на шпаге надпись: «Тексель. Июня 12 1797 года. В память содействия адмирала Макарова английскому адмиралу у Текселя».

Весной 1798 г. балтийские эскадры вновь готовились к заграничному походу с целью оказания содействия союзной Англии. Из Кронштадта и Ревеля (Таллина) курсом на Ярмут вышла эскадра в составе пяти кораблей, одного фрегата (44 пушки) и катера (20 орудий), которая соединилась в Ярмуте с эскадрой английского вице-адмирала Р. Онслоу. Вновь началось крейсерство русских и английских моряков в Северном море и блокада Текселя, а в августе 1798 г. в Англию пришла вторая, архангельская, эскадра в составе пяти кораблей и двух фрегатов под начальством вице-адмирала Е. Тета. Всего в двух эскадрах числилось 6270 человек личного состава.

Интересны некоторые подробности пребывания русских моряков в Англии. Например, после посещения русской эскадры в Ширнесе английский вице-адмирал Э. Митчелл делился впечатлениями с подчиненными: русские офицеры, отмечал он, «вежливостью, искусством, порядком и усердием заслужили превеликое у всех почтение». А в бытовом плане стали известны такие случаи. Британское Адмиралтейство уведомило вице-адмирала М. К. Макарова, что в целях соблюдения гигиены оно распорядилось заменить тяжелые полшубки, которые носили русские нижние чины, фланелевыми фуфайками и рубахами. Англичане считали, что необходимо «истребить бараньи тулупы, которые носят служители, потому что их невозможно вычищать и мыть», и такая мера будет способствовать «искоренению заразы со всевозможною скоро-

стию». Затем английские власти довели до сведения русского командующего правила, действующие в королевском флоте: «Люди должны быть хорошо одеты, чтобы они спали в койках с постелями, чтобы им не позволялось лежать на палубе. Людям переменять рубашки, по крайней мере, раз в неделю, а для сего нужно, чтоб при недельных переключках осматривал их офицер. В случае, если есть зараза, то употреблять курение серою. Окуривать судовые помещения парами натрия». Стоит также отметить, что для русских матросов, находившихся на излечении в госпиталях, английские доктора применяли такие требования: для выздоравливающих подъем в 9 утра, кроме «находящихся в великой слабости. Койки их осмотреть, головы им вычесать и велеть вымыть лицо и руки прежде завтрака. Умеренное движение, приличное силам выздоравливающих, много способствует их излечению».

Тем временем 18 (29) декабря 1798 г. российские и английский представители подписали в Петербурге новый союзный договор, а в течение осени 1798 г. – зимы 1799 г. оформилась вторая антифранцузская коалиция в составе Великобритании, России, Австрии, Неаполя и Королевства Обеих Сицилий. После подписания англо-русского договора в марте 1799 г. король Георг III обратился к императору Павлу с предложением провести в Голландии совместную десантную операцию.

Ситуация в Батавской республике крайне озабочивала англичан, и одной из главных причин оставалось наличие у голландцев военного флота, что серьезно подкрепляло французов. Поэтому в Лондоне разработали опе-



Эвакуация российских войск

ративный план, который под грифом «Most Secret» (совершенно секретно) отправили императору Павлу. Согласно плану, предполагалось сформировать экспедиционный корпус численностью до 48 тысяч союзных войск, перебросить их в Голландию и последовательно провести ряд операций, в ходе которых лишить голландцев флота и вынудить французские войска очистить территорию Голландии. Затем ставилось задачей уничтожить Батавскую республику и восстановить правление штатгальтера Вильгельма Оранского.

В Петербурге приняли план англичан, после чего задуманная секретная экспедиция получила условное название «Голландская». Император Павел обещал союзному королю предоставить экспедиционный корпус численностью до 17 500 человек (17 батальонов пехоты, две артиллерийских роты и эскадрон гусар), а Георг III обязался высадить в Голландии до 25 тысяч пехоты и 6000 кавалерии и взять на себя все расходы по экспедиции.

Пока в течение марта–апреля 1799 г. между Петербургом и Лондоном продолжались переговоры, над Британией вновь нависла угроза вторжения французского флота, в связи с чем правительство Георга III распорядилось усилить оборонительную эскадру Канала. Английский посол в Петербурге Чарльз Уитворт просил императора Павла поторопиться с подготовительными мерами, и 3 июня 1799 г. Адмиралтейств-коллегия получила высочайший указ: «Для перевозу сухопутных войск в Секретную Экспедицию, повелеваем приготовить лучших и прочных шесть кораблей, в том числе один госпитальной, и четыре фрегата». В тексте договора подчеркивалось: российский император «даст взаймы помянутые корабли и фрегаты на следующие кондициях». Первые выплаты в размере 59 тыс. ф. ст. Англия сделает с момента выхода русских судов из Кронштадта, а по истечении трех месяцев со дня первого платежа король будет выплачивать России ежемесячно сумму в 19 642 ф. ст. Кроме того, король поставит на довольствие русских морских и сухопутных офицеров, матросов и морских солдат – по Положению, действовавшему в британском флоте в военное время, и будет оплачивать расходы по ремонту и обслуживанию российских судов в портах и доках. Командующим русским экспедиционным корпусом, состоявшим из двух дивизий, император назначил генерал-лейтенанта И. Германа фон Ферзена.

Пунктом высадки экспедиционного корпуса англичане избрали Гельдер – один из северных районов Голландии, но в целом театр будущей войны ока-

зался неудачным. Союзникам предстояло действовать на низменной, болотистой местности, чередующейся с плотинами и каналами. Места для десантирования на побережье Северного моря были самые неподходящие – в основном там преобладали песчаные дюны, неудобные для высадок, но вполне пригодные для обороны. Главное внимание союзных эскадр обращалось на остров Тексель, который блокировали отряды судов союзных адмиралов М. К. Макарова и А. Дункана. Часть русских морских сил под начальством контр-адмирала Е. Тета находилась южнее остров Вальхерен, у Гелевутслейса, блокируя голландские суда. Таким был расклад сил перед началом операции.

7 (18) сентября 1799 г. на побережье Голландии сосредоточилась вся союзная армия, командование которой принял герцог Ф. Йоркский. В течение месяца войска союзников отгнали французов и заняли несколько ключевых позиций в Центральной Голландии в районе Бергена, что дало повод герцогу Ф. Йоркскому отправить поздравительное письмо императору Павлу. Но вскоре обстановка ухудшилась. Почти непрерывно шли дожди, на море бушевали бури, вода в каналах поднималась и заливала низменности, образуя непроходимые топи. На некоторых участках войска передвигались по колено в воде, а когда оставались без палаток, то спали прямо на мокром песке, закутавшись в плащи. К этим трудностям добавились недостатки в пресной воде и продовольствии. Русские солдаты, не привыкшие к английской пище, сетовали, что вместо белых пшеничных сухарей они с удовольствием съели бы черных ржаных, а вместо солонины и рома поели бы кислой капусты, да выпили водки. Расчеты на поддержку местного населения по его освобождению также не оправдались: голландцы равнодушно отнеслись к действиям союзников, а французы беспрепятственно получали подкрепление из Бельгии.

Учитывая сложившиеся обстоятельства, герцог Йоркский принял решение сконцентрировать силы и нанести противнику мощный удар. Он приказал союзным начальникам выдвинуться в направлении Бергена, но по необъяснимой причине генерал И. Герман выступил на два часа раньше условленного с английским командующим времени. В ходе боев за город русские войска понесли большие потери и в итоге были окружены французами: генерал Герман попал в плен, а второй генерал – М. А. Жеребцов – убит.

После поражения под Бергеном герцог Йоркский созвал военный совет, на котором большинство офицеров выска-

залось о невозможности продолжать операцию. Герцог Йоркский принял решение отвести войска к северу, в район Зейпе, и ожидать приказа из Лондона. Но не дождавшись прямых указаний, он предложил французскому генералу Брюну заключить согласительную конвенцию, главным условием которой выдвинул свободный вывод войск из Голландии. Брюн не стал возражать против условия английского главнокомандующего и подписал соглашение.

Русский десант расположился на зимних квартирах на островах Джерси (Jersey) и Гернси (Guernsey) – ближе к побережью Франции. Тем самым англичане рассчитывали с помощью русских войск обеспечить безопасность юго-восточной части Великобритании, включая главные порты Плимут и Портсмут. Высадив войска на Джерси и Гернси, русская эскадра перешла в Портсмут, и к середине ноября 1799 г. вся территория Голландии была очищена от англо-русских войск. Так завершилась секретная экспедиция, на которую союзники возлагали много надежд, и в ходе которой погибли сотни русских солдат.

За неисполнение приказа главнокомандующего герцога Ф. Йоркского император Павел исключил генерала И. И. Германа из службы, обвинив его в том, что тот не дождался союзников и на два часа ранее оговоренного срока приказал войскам выдвинуться в направлении Бергена. Французы этапировали Германа в крепость Лилль, после чего предложили обменять его на генералов французской армии, взятых в плен в Италии, но император категорически не согласился на размен. Герман оставался в плену до заключения мира. Павел вновь принял его на службу, но Герман тяжело заболел и вскоре скончался. Летом 1800 г. русская эскадра вышла обратным курсом к родным берегам.

Несмотря на неудачный итог, Голландская экспедиция сыграла заметную роль в военно-политической истории России и Англии, в развитии взаимоотношений этих государств. Поддержка военно-морскими силами, оказанная Англии императрицей Екатериной II и императором Павлом, стала резонансным событием конца XVIII в. и, в первую очередь, для Англии. По возвращении российских моряков в Отечество, Павел наградил вице-адмирала М. К. Макарова орденом Св. Александра Невского, контр-адмирала Е. Тета – Св. Анны 1-й степени. Другие офицеры, в числе которых были будущий главный командир Черноморского флота и портов А. С. Грейг и будущий морской министр А. В. фон Моллер, получили ордена Св. Анны 2-й степени. ■

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 статью, 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 629.5.01 **Ключевые слова:** речное пассажирское судно, круиз, модернизация, конверсия, внедрение, инновация, комфортабельность, безопасность

А.Г. Егоров. Анализ отечественного опыта переоборудования круизных пассажирских судов//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 9

Выполнен анализ крупных переоборудований, вплоть до конверсии, отечественных речных круизных пассажирских судов. Особо исследуются вопросы повышения комфортабельности и распределения площадей в пассажирских и общественных зонах. Т. 3. Ил. 3. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.122 **Ключевые слова:** монокорпус, катамаран, тримаран, моделирование

Р.Р. Рахматуллин, А.В. Месропян. От монокорпуса к тримарану//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 16

Приведена классификация маломерных судов, рассмотрены основные схемы корпуса глиссирующих катеров (однокорпусник, катамаран и тримаран), их достоинства и недостатки. Обозначены причины необходимости математического моделирования обтекания жидкостью корпуса судов. Ил. 4. Библиогр. 13 назв.

УДК 629.5.062.13 **Ключевые слова:** аэроуль, ветер, волнение моря, привод исполнительный, курс, плотность спектральная, дисперсия.

М.А. Александров, А.Г. Богданов, Д.А. Скороходов. Обоснование параметров движения аэроуль судна на воздушной подушке//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 19

Определены математические выражения спектральных плотностей волнения моря и ветра, воздействующих на судно на воздушной подушке (СВП) при его стабилизации по курсовому углу, а также передаточные функции линеаризованных уравнений бокового движения СВП, спектральные плотности параметров его движения и отклонения аэроуля. Т. 1. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.642 **Ключевые слова:** СПГ, система хранения груза, CSS, мембранные танки, газовозы, отпарной газ, BOR

Л.В. Иванов, А.В. Анохин, А.В. Зайцев. Анализ мембранных систем хранения груза для танкеров-газовозов//Морской вестник. № 2 (70). С. 21

Рассмотрены основные используемые системы хранения груза – Cargo Containment System (CCS) на танкерах-газовозах. Приведены технические характеристики существующих CCS. Обозначены преимущества мембранных систем над самонесущими, проанализированы различные технические решения для мембранных танков. Т. 2. Ил. 2. Библиогр. 15 назв.

УДК 621.314:629.5 **Ключевые слова:** корабельные системы, живучесть, способы обеспечения

Ю.И. Стекольников. Способы обеспечения живучести корабельных систем//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 25

Рассмотрены способы выборочной защиты элементов корабельной системы, дублирования ее элементов, рассредоточения этих элементов и эшелонирования с целью обеспечения их живучести. Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.039.533.6 **Ключевые слова:** корвет, проект 22160, проектирование, особенности, Северное ПКБ

Д.В. Курочкин. Патрульный корабль проекта 22160 – новый класс корветов для отечественного флота и на экспорт//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 29

О растущем спросе в мире на корабли класса «корвет». АО «Северное ПКБ» предлагает современный проект такого корабля, серия из шести кораблей данного класса уже развернута в РФ. Рассмотрены особенности корабля пр. 22160, в том числе экспортно-ориентированного варианта. Т. 1. Ил. 4.

УДК 621.039.52.034.6 **Ключевые слова:** атомная подводная лодка, паропроизводящая установка, ядерная энергетическая установка, жидкометаллический теплоноситель, сплав, свинец-висмут, стенд

В.В. Замуков, М.И. Говоровская, Д.В. Сидоренков, И.И. Курдюков. Объекты АО «СПМБМ «Малахит» с ядерными энергетическими установками с жидкометаллическим теплоносителем//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 33

О создании атомных подводных лодок (АПЛ) пр. 645 и титановой комплексно-автоматизированной АПЛ пр. 705 (705К) с паропроизводящей установкой (ППУ) с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ). В качестве теплоносителя был выбран эвтектический сплав свинец-висмут. «Малахит» продолжает рассматривать энергетические установки с ЖМТ в перспективных разработках, в том числе для объектов гражданской энергетики. Ил. 2.

УДК 658.531 **Ключевые слова:** финансы, стратегическое управление, стратегия, потенциал, производительность, методология, моделирование

А.В. Иванкович. Математическое моделирование в области бюджетирования как способ повышения эффективности деятельности предприятия//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 39

Предложена модель прогнозирования денежных потоков и управления платежеспособностью и ликвидностью предприятия, т.е. применения бюджета движения денежных средств. Для описания модели бюджетирования применены линейная регрессия и уравнения, которые являются наиболее распространенным видом математической обработки результатов наблюдений. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.039.533.6 **Ключевые слова:** «Выборгский судостроительный завод», лицензия, 3D-моделирование, банк лицензий

А.Е. Ермаков. Некоторые вопросы применения САПР в отечественном судостроении//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 40

Предложено создать некий «банк» лицензий различных САПР, из которого можно было бы предоставлять требуемое количество лицензий проектанту или верфи для ускорения работы. Библиогр. 1 назв.

УДК 629.123 **Ключевые слова:** дизель-генератор, импортозамещение, вспомогательная энергетическая установка, отечественное производство

П.А. Копров. Особенности замены импортного неремонтопригодного оборудования на отечественные аналоги//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 44

Рассмотрена проблема замены импортного неремонтопригодного оборудования на примере стояночных дизель-генераторов на одном из судов ВМФ РФ. Для

этого силами АО «51 ЦКТИС» был разработан специальный проект. Сделан вывод о том, что на территории РФ отсутствуют производители дизель-генераторов всей необходимой для ВМФ номенклатуры с сохранением проектных принципов пуска двигателей. Т. 1. Библиогр. 5 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, агрегат, главная энергетическая установка, буксировочные кри- вые, агрегатная мощность

В.В. Барановский, К.А. Ефремов. Оценка целесообразности разработки перспективных корабельных газотурбинных двигателей в обеспечение снижения эксплуатационных затрат перспективных многоцелевых кораблей ВМФ//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 46

Приведены материалы по оценке целесообразности использования перспективных корабельных газотурбинных двигателей в составе различных агрегатов на многоцелевых кораблях в обеспечение снижения эксплуатационных затрат кораблей, прежде всего затрат на расходуемое топливо. Т. 2. Ил. 8. Библиогр. 2 назв.

УДК 061.43 **Ключевые слова:** аккумуляторная батарея большой мощности АББМ, сетевой накопитель, источник бесперебойного питания, водородный источник питания, водородный топливный элемент

М.И. Олли, Д.Г. Баскаков. Применение водородных технологий для развития энергетики//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 50

Представлена модель гибридного сетевого накопителя, реализуемого в ООО «Судпромкомплект», на базе которого фактически создана универсальная мобильная энергетическая платформа, позволяющая накапливать значительно большую энергетическую емкость за счет применения ВТЭ-накопителей и АКБ-накопителей, существенно повысить удельные характеристики накопителя и при этом снизить его стоимость по сравнению с традиционными накопителями энергии. Ил. 1. Библиогр. 8 назв.

УДК 621.391.825 **Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, кондуктивные помехи, полевые помехи, влияние помех, помехоустойчивость

А.М. Агафонов, А.А. Воршевский, П.А. Воршевский, Е.С. Гришаков. Обеспечение электромагнитной совместимости судового электрооборудования//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 55

Рассмотрены способы защиты электрооборудования от кондуктивных и полевых помех, электростатических разрядов. Даны рекомендации по заземлению кабельных экранов, корпусов, фильтров. Представлена методика исследования устойчивости электронных компонентов судового электрооборудования к импульсным помехам. Библиогр. 7 назв.

УДК 62–97 **Ключевые слова:** утилизация теплоты выхлопных газов, органический цикл Ренкина, ORC-технология, дизельные двигатели, ДВС, рабочие вещества, фторорганические соединения, RC318, R245fa, R744, R22

И.С. Антаненкова, А.А. Ветренко. Термодинамический анализ эффективности цикла судовой утилизационной энергоустановки на низкокипящем рабочем веществе//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 58

Предложено схемное решение по организации вспомогательного энергетического модуля, преобразующего в теплосиловом контуре на низкокипящем рабочем веществе тепловую энергию выхлопных газов ДВС судовой установки в электрическую (на основе технологии органического цикла Ренкина). Представлены результаты термодинамического анализа эффективности цикла на различных рабочих веществах. Исследовано влияние рабочих параметров цикла на энергетическую эффективность установки. Т. 2. Ил. 8. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.431.74.068.4:662.76 **Ключевые слова:** ТЭГ, наклонная пластина, программа для автоматического расчета, M/V «NSU Keystone»

С.В. Виноградов, Ч.Х. Хоанг, К.Д. Нгуен. Программа для автоматического расчета параметров термоэлектрического генератора для установки на танкере «NSU Keystone»//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 64

Представлены метод и программа, которая рассчитывает параметры ТЭГ (термоэлектрических генераторов) при их установке на плате M/V «NSU Keystone». На основании анализа были выбраны базовая конструкция ТЭГ и метод эффективного увеличения тепловых и электрических параметров. Ил. 8. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.12.637 **Ключевые слова:** дожимная компрессорная установка, технологический газ, объекты ВМФ, нефтегазовый сектор

Л.Г. Кузнецов, Ю.Л. Кузнецов, А.В. Бураков, А.С. Перминов, А.В. Тикалов. Эффективные дожимные компрессорные установки для технологических газов на объектах ВМФ, нефтегазового сектора и энергетики//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 69

О новых разработках АО «Компрессор», предназначенных для ВМФ, нефтегазового сектора, прежде всего дожимных компрессорных установках. Приведены их технические характеристики. Т. 1. Ил. 9. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.643 **Ключевые слова:** судовая трубопроводная арматура, трехэксцентриковые дисковые затворы, перспективы развития, детонационный метод нанесения, покрытия

В.С. Земко, Г.А. Трач, Р.Р. Мусакулов. Перспективные способы улучшения уплотнительной поверхности запорного трехэксцентрикового дискового затвора с применением детонационного метода нанесения//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 71

Рассмотрен детонационный метод нанесения покрытий на уплотнительной поверхности запорного трехэксцентрикового дискового затвора. Проведены успешные испытания на прочность, герметичность и виброустойчивость. Т. 4. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 681.5.015 **Ключевые слова:** контроль, аппаратура, электрооборудование, кабель, стыковка, сопротивление, изоляция

Д.А. Кондратьев, Ю.В. Романова. Система контроля и диагностирования бортового оборудования автономного подвижного объекта//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 77

Рассмотрены структура и принципы функционирования системы контроля и диагностирования бортового оборудования автономного подвижного объекта. Предлагаемая система позволяет самостоятельно и своевременно в соответствии с текущей ситуацией и целевой установкой формулировать и решать поставленные задачи. Ил. 2. Библиогр. 8 назв.

УДК 621.396.49 **Ключевые слова:** интерфейс, гибридная реальность, е-Навигация

М.И. Исмагилов, А.Н. Попов. Интерфейс пользователя е-Навигации в среде гибридной реальности//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 81

Исследуется интеллектуализация интерфейса пользователя концепции е-Навигации в среде гибридной реальности. В последнее время активное развитие получили технологии искусственного интеллекта и дополненной реальности. На данный момент не существует общепринятых методов оценки пригодности интерфейсов пользователя в системах данного типа. Ил. 3. Библиогр. 15 назв.

УДК 629.5.05 **Ключевые слова:** морской подвижный объект, стабилизация, глубина погружения, фильтрация, синтез закона управления, математическая модель

С.К. Воловдов, А.В. Смольников. Стабилизация глубины погружения МПО при движении вблизи взволнованной поверхности//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 85

Проанализирован метод синтеза устойчивых систем стабилизации морских подвижных объектов по глубине при движении вблизи взволнованной поверхности с использованием сглаживающих фильтров, включенных в канал обратной связи. Ил. 4. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.518 **Ключевые слова:** компьютерное моделирование, виртуальная среда, комплексная отладка, система и объект управления

С.В. Федоров, К.О. Строкин. Применение компьютерных моделей в процессе проектирования систем и объектов управления//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 88

Представлено направление снижения издержек проектных работ выпускаемой продукции за счет применения современных информационных технологий. Описана технология компьютерного моделирования систем управления в виртуальной среде для отладки функционального программного обеспечения. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.053 **Ключевые слова:** комплексная система управления техническими средствами, протокол Modbus, протокол CanOpen, CAN-интерфейс, шины CAN, прибор РЦУ, протокол Modbus TCP/IP, опыт применения шины CAN в АО «МНС»

Е.В. Пименов. Обзор интерфейсов и протоколов, применяемых в морской технике//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 91

Дан краткий обзор открытых интерфейсов и протоколов, применяемых в судовой автоматизации, описаны их характеристики и принципы работы, достоинства и недостатки. Ил. 3. Библиогр. 6 назв.

УДК 681.511.48 **Ключевые слова:** МПО, ТНПА, оптоволоконный кабель, математические модели движения, алгоритмы управления и стабилизации, фильтр с интегральными невязками, автоматизация проектирования, сложная динамическая система, имитационное моделирование, стенд полномасштабного имитационного моделирования

С.К. Данилова, А.М. Кусков, И.М. Кусков, Н.Н. Тарасов. Модель движения и адаптивного управления телеуправляемого необитаемого подводного аппарата в сложной динамической системе//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 93

Рассмотрена задача управления телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) в сложной динамической системе «МПО (носитель)–длинный оптоволоконный кабель–ТНПА», где МПО – морской подводный объект. Проведена линеаризация полной модели по плоскостям для решения задачи стабилизации кабеля. Созданы аппаратно-программный стенд и программное обеспечение, позволяющие автоматизировать процесс разработки алгоритмов управления ТНПА для стабилизации кабеля. Ил. 6. Библиогр. 11 назв.

УДК 629.12.037:621.3 **Ключевые слова:** качка корабля, уменьшение, информационно-управляющая система

А.П. Лось, А.К. Розов. Построение информационно-управляющих систем, уменьшающих качку корабля//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 98

О подходе к определению алгоритмов построения систем уменьшения качки корабля и приводятся примеры, относящиеся к их реализации. Т. 2. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.324 **Ключевые слова:** структура знаний, теория катастроф, компьютерная математика, подготовка специалистов

В.В. Григорьев–Голубев, Ю.И. Нечаев, К.В. Рождественский. Проблемы подготовки иностранных специа-

листов на основе достижений современной компьютерной математики и теории катастроф//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 100

Проанализирована проблема подготовки зарубежных специалистов в современных условиях развития интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений. Приведены примеры достижений современной компьютерной математики и теории катастроф при создании новой техники и технологий. Ил. 5. Библиогр. 15 назв.

УДК 623.618 **Ключевые слова:** ССПО, «Блокировка», назначение, преимущества, общий принцип работы, безопасность корабля, комплекс вооружения

О.М. Порог. Тенденции развития систем совместного безопасного применения оружия//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 105

Рассмотрены особенности, назначение и тенденции развития систем совместного безопасного применения оружия. Библиогр. 7 назв.

УДК 597.562–155.3 (268.45) **Ключевые слова:** Баренцево море, ярусный лов, треска, хищничество, канибализм, управление запасом, ОДУ

В.М. Борисов, В.А. Ульянов, А.К. Чумаков. Рациональное использование запасов трески Баренцева моря и возможности ярусного промысла в сдерживании ее канибализма//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 109

На основе данных отраслевой системы мониторинга анализируется современное состояние российского и норвежского рыбного промысла в Баренцевом море, осуществляемого донными нестреловыми орудиями лова с акцентом на ярусный лов. Меры, направленные на расширение масштабов ярусного лова, могут сдерживать негативное влияние канибализма на запас трески. Т. 9. Ил. 5. Библиогр. 29 назв.

УДК 004.8:656.614.3 (985) **Ключевые слова:** морская логистика, Арктика, нечеткая логика, навигация

Е.Ю. Соболевская, С.В. Глушков, Н.Г. Левченко, А.М. Коваленко. Формирование параметров базы знаний характеристик ледовых условий плавания с использованием аппарата нечеткой логики//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 117

Выделены ледовые классы судна и составлена сводная таблица их режимов плавания с учетом региона и периода навигации. Составлены таблицы основных термов для формирования правил базы знаний. Проанализированы карты-схемы ледовой обстановки и составлена таблица для формирования правил в системе нечеткого вывода Мамдани. Т. 6. Ил. 1. Библиогр. 14 назв.

УДК 6.13.6+613.7 **Ключевые слова:** работники судостроения, острая усталость, хроническая усталость, риск здоровью, организационные факторы, психосоциальные факторы, экологические факторы

Г.А. Сорокин, В.Л. Сулов. Организационные, психосоциальные и экологические факторы усталости и здоровья работников судостроения//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 120

Охарактеризовано влияние организационных, психосоциальных, экологических и непрофессиональных факторов на усталость и показатели здоровья работников судостроения. Полученные данные могут служить обоснованием актуальности внедрения Fatigue Risk Management System для повышения эффективности, безопасности и надежности трудовых процессов. Т. 3. Ил. 5. Библиогр. 17 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** Россия, Англия, император Павел, Голландская экспедиция

Г.А. Гребенщикова. Россия и Англия при императоре Павле: 220 лет Голландской экспедиции//Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 124

Об истории взаимоотношений России и Великобритании при императоре Павле, заключении союзного оборонительного договора между ними и участии России в крейсерской и блокадной службе у побережья Голландии. Ил. 5.

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 629.5.01 **Keywords:** river passenger ship, cruise, modernization, conversion, introduction, innovation, comfort, safety

A.G. Yegorov. Analysis of domestic experience in re-equipment of cruise passenger ships//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.9

The analysis of major re-equipment, up to the conversion, of domestic river cruise passenger ships was carried out. Particularly explored issues of increasing comfort and distribution of space in passenger and public areas.T.3. Fig.3. Bibliography 6 titles.

UDC 629.122 **Keywords:** single hull, catamaran, trimaran, mathematical modeling

R.R. Rakhmatullin, A.V. Mesropyan. From monocoque to trimaran//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.6

The classification of small vessels is given, the main schemes of the hull of gliding boats (single-hull, catamaran and trimaran), their advantages and disadvantages are considered. The reasons for the need for mathematical modeling of the flow around the hull of ships are indicated. Fig.4. Bibliography 13 titles.

UDC 629.5.062.13 **Keywords:** aerial rudder, wind, sea state, servo drive, course, spectral density, dispersion

M.A. Aleksandrov, A.G. Bogdanov, D.A. Skorokhodov. Assessment of parameters of aerial rudder movement on the air cushion//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.19

Mathematical expressions of the spectral densities of the sea and wind waves affecting the hovercraft (SVP) during its stabilization in the course angle, as well as the transfer functions of the linearized equations of lateral motion of the SVP, the spectral densities of its movement parameters and the spectral densities of the aerial rudder are determined.T.1. Bibliography 7 titles.

UDC 621.642 **Keywords:** LNG, cargo containment system, CSS, membrane tanks, gas carriers, boil-off gas, BOR

L.V. Ivanov, A.V. Anokhin, A.V. Zaytsev. Analysis of membrane storage systems of cargo for gas tankers // Morskoy Vestnik. № 2 (70). P.21

In this paper there is presentation of the cargo containment system (CCS) on gas carriers. The technical characteristics of the existing CCS are described. The advantages of membrane systems over self-carriers are described, various technical solutions for membrane tanks are analyzed.T.2. Fig.2. Bibliography 15 titles.

UDC 621.314:629.5 **Keywords:** ship systems, survivability, ways to ensure

Yu.I. Stekolnikov. Ways to ensure the survivability of ship systems//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.25

The methods of selective protection of elements of the ship system, duplication of its elements, dispersal of these elements and separation in order to ensure their survivability are considered. Fig.5. Bibliography 4 titles.

UDC 621.039.533.6 **Keywords:** corvette, project 22160, design, features, Severnoye Design Bureau

D.V. Kurochkin. Project 22160 patrol ship – a new class of corvettes for the domestic fleet and for export//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.29

About the growing demand in the world for ships of the corvette class. Severnoye Design Bureau JSC offers a modern project of such a ship, a series of six ships of this class has already been deployed in the Russian Federation. The features of the ship of project 22160, including the export-oriented version, are considered.T.1. Fig.4.

UDC 621.039.52.034.6 **Keywords:** nuclear submarine, steam generating plant, nuclear power plant, liquid metal coolant, alloy, lead-bismuth, test stand

V.V. Zamukov, M.I. Govorovskaya, D.V. Sidorenkov, I.I. Kurdyukov. Objects of SPMD B Malachite JSC with nuclear power plants with liquid metal coolant//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.33

On the creation of submarines (nuclear submarines) of Project 645 and titanium complex-automated submarines of the project 705 (705K) with a steam generating installation with liquid metal coolant (LMT). The eutectic lead-bismuth alloy was chosen as the coolant. SPMD B Malachite JSC continues to consider power plants with LMT in promising developments, including for civil energy facilities. Fig.2.

UDC 658.531 **Keywords:** finance, strategic management, strategy, potential, productivity, methodology, modeling

A.V. Ivankovich. Mathematical modeling in the field of budgeting as a way to improve the efficiency of the enterprise//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.39

A model is proposed for forecasting cash flows and managing solvency and liquidity of an enterprise, i.e. applying a cash flow budget. To describe the budgeting model, linear regression and equations are used, which are the most common type of mathematical processing of observation results. Bibliography 4 titles.

UDC 621.039.533.6 **Keywords:** Vyborg Shipyard, license, 3D-modeling, license bank

A.E. Ermakov. Some issues of CAD in domestic shipbuilding//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.40

A proposal to create a certain «bank» of licenses for various CAD systems, from which it would be possible to provide the required number of licenses to the designer or shipyard to speed up the work. Bibliography 1 title.

UDC 629.123 **Keywords:** diesel generator, import substitution, auxiliary power plant, domestic production

P.A. Koprov. Features of the replacement of imported non-repairable equipment for domestic counterparts//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.44

The problem of replacing imported non-repairable equipment is considered by the example of lay diesel generators on one of the ships of the Russian Navy. To solve this task, the project 51 CDTISR JSC was developed to replace imported parking diesel generators with modern domestic analogues. The results of the work showed that in this case the uninterrupted operation of the ship is possible only if the batteries and the charging circuits are operational. The experience of this work allows us to conclude that in the territory of the Russian Federation there are no manufacturers of diesel generators with all the nomenclature necessary for the Navy while retaining the design principles for starting engines.T.1. Bibliography 5 titles.

UDC 621.436:621.438 **Keywords:** gas turbine engine, unit, main power plant, towing curves, aggregate power

V.V. Baranovsky, K.A. Yefremov. Assessment of the feasibility of developing promising ship gas turbine engines in ensuring the reduction of operating costs of promising multipurpose naval ships//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.46

Materials are presented to assess the feasibility of using perspective ship gas turbine engines as part of various units on multipurpose ships in order to reduce the operating costs of ships, primarily the cost of consumable fuel.T.2. Fig.8. Bibliography 2 titles.

UDC 061.43 **Keywords:** high-capacity battery, network drive, SNE, uninterruptible power supply, UPS, hydrogen power source, hydrogen fuel cell

M.I. Ollie, D.G. Baskakov. The use of hydrogen technologies for energy development//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.50

A model of a hybrid network drive implemented in SudpromkomplektJSC, on the basis of which a universal mobile energy platform is actually created, allows accumulating a much larger energy capacity due to the use of VTE drives and battery drives, significantly increasing the specific characteristics of the drive and, in doing so, reduce its cost compared to traditional energy storage. Fig.1 Bibliography 8 titles.

UDC 621.391.825 **Keywords:** electromagnetic compatibility, conducted noise, field interference, interference effect, noise immunity

A.M. Agafonov, A.A. Vorsevsky, P.A. Vorsevsky, E.S. Grishakov. Ensuring electromagnetic compatibility of ship electrical equipment//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.55

One of the reasons for the violation of the quality of the functioning of electronic means is the effect of electromagnetic interference. The practice of ensuring electromagnetic compatibility on ships requires the obligatory consideration of the occurrence, propagation and impact of interference at all stages of the creation of shipboard technical means: in the design, construction, delivery and operation of the ship. The paper discusses how to protect electrical equipment from conducted and field interference, electrostatic discharges. Recommendations for grounding cable screens, housings, filters. A technique for studying the stability of electronic components of shipboard electrical equipment to impulse noise is presented. Bibliography 7 titles.

UDC 62–97 **Keywords:** exhaust heat utilization, organic Rankine cycle, ORC technology, diesel engines, internal combustion engines, operating substances, organofluorine compounds, RC318, R245fa, R744, R22

I.S. Antanenkov, A.A. Vetrenko. Thermodynamic analysis of the efficiency of the cycle of the ship utilization power plant at a low-boiling working substance//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.58

A schematic solution has been proposed for the organization of an auxiliary energy module that converts the thermal energy of the exhaust of the internal combustion engine of a ship installation into electrical one (based on the technology of the Rankine organic cycle) in a heat power circuit on a low-boiling working substance. The results of a thermodynamic analysis of the efficiency of

the cycle on various working substances are presented. T.2. Fig.8. Bibliography 7 titles.

UDC 621.431.74.068.4: 662.76 **Keywords:** TEG, inclined plate, program for automatic calculation, M/V «NSU Keystone»

S.V. Vinogradov, T.H. Hoang, C.D. Nguyen. Program for automatic calculation of thermoelectric generator parameters for installation on the NSU Keystone tanker//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P. 64

Today, most of the heat generated by marine diesel engines is optimally used, economic efficiency increases significantly and reaches more than 52%. However, the development of a program that specifically calculates the parameters of the equipment installed in the exhaust preheating system has been little studied. This article presents the method and program that calculates the parameters of TEG (thermoelectric generators) when installed on the M/V «NSU Keystone» board. Structural analysis and TEG method to increase their effectiveness, timeliness is carried out. Based on the analysis, the basic design of the TEG and the effective magnification method were chosen. Thermal and electrical parameters for the installation of TEG are calculated in accordance with the example M/V «NSU Keystone». Fig. 8. Bibliography 3 titles.

UDC629.12:637 **Keywords:** booster compressor unit, process gas, naval facilities, oil and gas sector

L.G. Kuznetsov, Yu.L. Kuznetsov, A.V. Burakov, A.S. Perminov, A.V. Tikalov. Efficient booster compressor units for process gases at facilities of the Navy, the oil and gas sector and energy//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.69

On new developments of CompressorISC, intended for the Navy, the oil and gas sector, especially the booster compressor units. Their technical characteristics are given. T.1. Fig. 9. Bibliography 6 titles.

UDC621.643 **Keywords:** ship pipeline valves, three-eccentric butterfly valves, development prospects, detonation method of application, coating

V.S. Zemko, G.A. Trach, R.R. Musakulov. Promising ways to improve the sealing surface of a three-eccentric butterfly valve using the detonation method of deposition//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.71

The detonation method of applying coatings on the sealing surface of a three-eccentric locking disc is considered. Successful tests for durability, tightness and vibration resistance are carried out. T.4. Fig.3. Bibliography 5 titles.

UDC 681.5.015 **Keywords:** control, equipment, electrical equipment, cable, docking, resistance, insulation

D.A. Kondratiev, Yu.V. Romanova. The system of monitoring and diagnosing on-board equipment of an autonomous moving object//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.77

The structure and principles of functioning of the system for monitoring and diagnosing on-board equipment of an autonomous moving object are considered. The proposed system allows, independently and in a timely manner, in accordance with the current situation and target setting, to formulate and solve the assigned tasks. Fig.2. Bibliography 8 titles.

UDC621.396.49 **Keywords:** interface, hybrid reality, e-Navigation

M.I. Ismagilov, A.N. Popov. E-Navigation user interface in hybrid reality environment//Morskoy Vestnik. №2 (70). P.81

The question of intellectualizing the user interface of the e-Navigation concept in the hybrid reality environment is considered. Recently, artificial intelligence and augmented reality technologies have been actively developed. At the moment there are no generally accepted methods for assessing the suitability of user interfaces in systems of this type. Fig.3. Bibliography 15 titles.

UDC 629.5.05 **Keywords:** marine moving object, stabilization, depth of immersion filtering, control law synthesis, mathematical model

S.K. Volodovod, A.V. Smol'nikov. Stabilization of the depth of immersion MPO when moving near a disturbed surface//Morskoy Vestnik. №2 (70). P.85

The method of synthesis of stable systems for stabilizing marine moving objects in depth when moving near an agitated surface using smoothing filters included in the feedback channel is considered. Fig.4. Bibliography 7 titles.

UDC 681.518 **Keywords:** computer modeling, virtual environment, complex debugging, control system, control object

S.V. Fedorov, K.O. Stroklin. The use of computer models in the design of systems and control objects//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.88

Presents a direction to reduce the costs of design work of products through the use of modern information technologies. The technology of computer simulation of control systems in a virtual environment for debugging functional software is described. Fig.2. Bibliography 4 titles.

UDC 629.053 **Keywords:** integrated hardware management system, Modbus protocol, CanOpen protocol, CAN interface, CAN bus, RCU device, Modbus TCP/IP protocol, experience of using CAN bus in MNS ISC

E.V. Pimenov. Overview of interfaces and protocols used in marine engineering//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.91

A brief overview of open interfaces and protocols used in ship automation is given, their characteristics and operating principles, advantages and disadvantages are described. Fig.3. Bibliography 6 titles.

UDC 681.511.48 **Keywords:** MPO, TNPA, fiber optic cable, mathematical models of motion, control and stabilization algorithms, filter with integral residuals, design automation, complex dynamic system, simulation modeling, stand of full-scale simulation modeling

S.K. Danilova, A.M. Kuskov, I.M. Kuskov, N.N. Tarasov. Model of movement and adaptive control of a remote-controlled uninhabited underwater vehicle in a complex dynamic system//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.93

The task of controlling a remote-controlled unmanned underwater vehicle (TNPA) in a complex dynamic system «MPO (carrier) – long fiber-optic cable – TNPA», where MPO is a marine underwater object, is considered. The linearization of the full model along the planes for solving the cable stabilization problem has been carried out. The control system structure includes a filter with integral residuals, which allows to take into account the perturbation from the cable and the inhomogeneities of the marine environment on the TNPA, as well as the model error due to its linearization. A hardware and software stand and software have been created that allow to automate the process of developing TNPA control algorithms for cable stabilization. Fig.6. Bibliography 11 titles.

UDC629.12.037:621.3 **Keywords:** ship rolling, reduction, information management system

A.P. Los, A.K. Rozov. Building information and control systems that reduce the ship's rolling motion//Morskoy Vestnik. 2019. №2 (70). P.98

The approach to the definition of algorithms for constructing systems for reducing the ship's pitching is considered and examples are given relating to their implementation. T.2. Bibliography 7 titles.

UDC 681.324 **Keywords:** knowledge structure, catastrophe theory, computer mathematics, specialist training

V.V. Grigor'ev-Golubev, Yu.I. Nechaev, K.V. Rozhdestvensky. Problems of training foreign specialists based on the achievements of modern computer mathematics and the theory of catastrophes//Morskoy Vestnik. 2019. №2 (70). P.100

The problem of training foreign specialists in modern conditions of development of intellectual technologies and high-performance computing is considered. The presentation of the conceptual problems of education is accompanied by examples of the achievements of modern computer mathematics and the theory of catastrophes in the creation of new techniques and technologies. Fig.5. Bibliography 15 titles.

UDC 623.618 **Keywords:** joint safe use of weapons, «Blokirovka» purpose, advantages, general principle of operation, ship safety, weapon system

O.M. Rogov. Trends in the development of systems for the joint use of safe weapons//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.105

The features, purpose and development trends of systems of joint safe use of weapons are considered. Bibliography 7 titles.

UDC 597.562–155.3 (268.45) **Keywords:** the Barents Sea, longline fishing, cod, predation, cannibalism, stock management, ODU

V.M. Borisov, V.A. Ul'chenko, A.K. Chumakov. Rational use of cod stocks of the Barents Sea and the possibility of longline fishing in the containment of its cannibalism//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.109

Based on the sectoral monitoring system It analyzes the current state of Russian and Norwegian fishing in the Barents Sea, carried out by bottom net fishing gear with an emphasis on longline fishing. Since longline fishing, to a much greater degree than trawls, is focused on catching large old-age fish, it is proposed to use this specificity of longline fishing to weaken the cannibalism that has increased in recent years in the cod population. According to the authors, the factor of cannibalism against the background of relatively favorable hydrological conditions may be the main cause of the observed next reduction in the stock of cod. Measures aimed at expanding the scale of longline fishing, especially domestic, the share of which is now not more than 6%, would have restrained the negative impact of cannibalism on the cod stock. T.9. Fig.5. Bibliography 29 titles.

UDC 004.8: 656.614.3 (985) **Keywords:** sea logistics, Arctic, fuzzy logic, navigation

E.Yu. Sobolevskaya, S.V. Glushkov, N.G. Levchenko, A.M. Kovalenko. Formation of the parameters of the knowledge base of the characteristics of ice navigation conditions using the apparatus of fuzzy logic//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.117

Ice classes of the vessel were highlighted and a summary table of their navigation regimes was compiled taking into account the region and navigation period. Compiled tables of basic terms for the formation of knowledge base rules. Analyzed maps of the ice situation and compiled a table for the formation of rules in the system of fuzzy inference Mamdani. T.6. Fig.1. Bibliography 14 titles.

UDC 6.13.6 + 613.7 **Keywords:** shipbuilding workers, acute fatigue, chronic fatigue, health risk, organizational factors, psychosocial factors, environmental factors

G.A. Sorokin, V.L. Suslov. Organizational, psychosocial and environmental factors of fatigue and health of shipbuilding workers//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.120

The aim of the study was to characterize the impact of organizational, psychosocial, environmental and non-professional factors that affect fatigue and the health indicators of shipyard workers. The risk of reducing the working capacity of workers, foremen and engineers, due to their presence in the workplace in a state of extreme fatigue, is 8–12% of the working time. The total lack of rest, formed during working and non-working hours, is the main source of risks of acute and chronic fatigue. The obtained data can serve as a justification of the relevance of the implementation of the Fatigue Risk Management System to improve the efficiency, safety and reliability of labor processes in shipbuilding enterprises. T.3. Fig.5. Bibliography 17 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** Imperial Russia, England, Emperor Paul, Dutch Expedition

G.A. Grebenshchikova. Russia and England during Emperor Paul: 220 years of the Dutch Expedition//Morskoy Vestnik. 2019. № 2 (70). P.124

On the history of relations between Russia and Great Britain under Emperor Paul, the conclusion of a union defense agreement between them and Russia's participation in the cruising and blockade service off the coast of Holland. Fig.5.