

Морской



Вестник

№2(74)

И Ю Н Ъ

2 0 2 0

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik

1970



2020



ЗАО «ЦНИИ СМ»

полвека успешной работы в интересах
Военно-Морского Флота России

*А.Л. Рахманов, президент АО «ОСК»,
контакт. тел. (495) 617 3300*



Обновленные документы долгосрочного планирования развития отрасли и последние решения о ее поддержке повышают требования к российскому судостроению. Это касается модернизации производства, цифровизации и внедрения инноваций, а также задач по диверсификации и современных требований по локализации оборудования. В каждый из этих процессов включено много участников – профильных министерств и ведомств, заказчиков, поставщиков, институтов развития, непосредственно судостроителей. Однако взгляды на пути, сроки и ресурсы, необходимые для реализации этих изменений, не всегда совпадают.

В настоящее время в АО «ОСК» завершается работа над формулировкой целей развития на перспективу, которые скоро будут закреплены в обновленной стратегии корпорации. Но их достижение зависит от интеграции в общую логику развития отрасли, которая задана Правительством РФ и реализуется Министерством промышленности и торговли РФ, а также от координации с другими участниками.

Первоначальные цели были определены при создании АО «ОСК» указом Президента России от 21 марта 2007 г. № 394 «Об открытом акционерном обществе «Объединенная судостроительная корпорация»: сохранение и развитие научно-производственного потенциала оборонно-промышленного комплекса, обеспечения безопасности и обороноспособности государства, концентрации интеллектуальных, производственных и финансовых ресурсов при реализации проектов строительства кораблей и подводных лодок для военно-морского Флота, а также развитие гражданского судостроения, освоение континентального шельфа и мирового рынка морских перевозок. Эти цели не потеряли своей актуальности и сегодня и являются можно сказать универсальными для каждой интегрированной структуры оборонно-промышленного комплекса.

Актуализируя стратегические цели ОСК нам важно уточнить фокусы развития Корпорации на основе ретроспек-

тивного анализа и прогнозируя тренды глобальной экономики и технологий. Важнейшим условием качества стратегического документа является объективное признание проблемных вопросов. Это конечно самый сложный и самый ответственный этап выработки стратегии. Приведу две наиболее дискутируемые проблемы и некоторые точки зрения об их причинах:

Инженерные компетенции не соответствуют рыночным запросам. С точки зрения бизнес-целей корпорации, вижу в этой проблеме наш первый приоритет. Разработка конкурентной линейки наших продуктов и услуг, предконтрактная работа с заказчиком, сопровождение строительства и сервисное обслуживание. Всё это ключевые для корпорации бизнес-процессы, базирующиеся на инженерных компетенциях. При выстраивании сквозной для всей корпорации политики развития инженерных компетенций нам предстоит преодолеть организационную и методическую разрозненность в деятельности наших проектно-конструкторских бюро что будет являться условием перехода к высокой степени унификации и стандартизации проектных решений. Отдельной проблемой на пути развития собственных инженерных компетенций является историческое отсутствие собственных научно-технических центров, оказавшихся в процессе создания нашей интегрированной структуры вне контура Корпорации.

Низкая конкурентоспособность предприятий Группы. Менеджментом предприятий Корпорации выделяются два фактора наиболее существенно влияющие на конкурентоспособность: высокая зависимость от государственного оборонного заказа, не с точки зрения доминирования в стапельном расписании продукции ГОЗ, а с точки зрения токсичного влияния нормативной базы, регулирующей оборонный заказ. Концепция нормативного регулирования сохранившая дух плановой экономики делает не возможной рыночную мотивацию наших предприятий. В результате получаем неэффективные на открытом рынке механизмы ценообразования, отсутствие мотивации к снижению издержек. Второй фактор является следствием из первого – зависимость в инвестициях от государственной поддержки. Сегодняшнее регулирование ценообразования, приводит к недостаточной маржинальности бизнеса. А дальше государство фактически компенсирует эту низкую маржинальность через мероприятия государственных капитальных инвестиций.

МИССИЯ ОСК

Описанные выше проблемы подтолкнули нас задуматься о роли корпорации в решении этих проблем. Можем ли мы взять на себя решение этих проблем? Дискутируя об этом у нас сформировалась гипотеза о двух миссиях.

Миссия Группы ОСК – глобальное присутствие российской морской инженерной школы. Это наша миссия как бизнес-корпорации. Данная формулировка подчеркивает фокус стратегического развития на инженерные компетенции и глобальный характер наших бизнес-целей.

Миссия АО «ОСК» – в долгосрочной перспективе – институт развития судостроительной отрасли. Данная формулировка миссии АО «ОСК» подчеркивает роль компании в реализации государственной политики развития всей отрасли. В неё мы вкладываем повышение нашего участия например с точки зрения законодательных инициатив.

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ ОСК

Логика предыдущих абзацев обосновывает выбор нам следующих стратегических целей ОСК.

Цель № 1 – техническое превосходство военной техники. Данная цель подчеркивает системную роль Корпорации в обеспечении безопасности и обороноспособности государства. Данная формулировка объединяет три подцели:

- проекты военной техники, опережающие ожидания заказчиков;
- конкурентные сроки и качество производства;
- эффективное и упреждающее сервисное обслуживание.

Цель № 2 – конкурентоспособность продуктов и услуг. Данная цель отражает стоящие перед Корпорацией бизнес-задачи обеспечения конкурентоспособности каждого из дочерних обществ. В отличие от первой цели, это более традиционное целеполагание для международных компаний, использующее метрики финансовой эффективности бизнеса.

Цель № 3 – глобальное присутствие инжиниринга. Как уже было написано выше, это фокусировка на ключевом факторе успеха современного высокотехнологичного бизнеса – инжиниринге. При этом ставя задачу его приоритетного развития, необходимо сразу задать самим себе требование к глобальному уровню конкуренции в этом направлении.

Цель № 4 – реализация государственной политики. Данная цель, в отли-

Продолжение на стр. 6.

Морской Вестник



№ 2 (74)

И Ю Н Ь

2 0 2 0

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 «ЦТСС»,

президент Ассоциации судостроителей СПб и ЛО

В.С. Никитин, президент Международного

и Российского НТО судостроителей

им. акад. А.Н. Крылова

Г.А. Туричин, ректор СПбГМТУ

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»

М.В. Захаров, генеральный директор

ООО «Пумори-северо-запад»

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

А.А. Копанев, генеральный директор

АО «НПФ «Меридиан»

Г.А. Коржавин, 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»

Н.В. Орлов, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

А.Г. Родионов, генеральный директор

АО «Кронштадт Технологии»

С.В. Савков, генеральный директор

АО «Новая ЭРА»

В.А. Середохо, генеральный директор

АО «СНСЗ»

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

А.С. Соловьев, генеральный директор

ПАО «Выборгский судостроительный завод»

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

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

А.Л. Ульянов, генеральный директор

ООО «Нева-Интернэшнл»

С.Г. Филимонов, генеральный директор

АО «Концерн Морфлот»

Г.Р. Цатуров, генеральный директор

ОАО «Пелла»

В.В. Шаталов, генеральный директор

АО КБ «Вымпел»

К.Ю. Шилов, генеральный директор

АО «Концерн «НПО «Аврора»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор

АО «ЦМКБ «Алмаз»

И.В. Щербаков, генеральный директор

ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

А.Л. Рахманов. Стратегические цели АО «ОСК» 1

С.Е. Абдыкеров, А.Н. Бельскова. Методологические подходы к управлению стратегическим развитием корпорации 7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

А.Г. Егоров. Обеспечение ходовых качеств круизных пассажирских судов смешанного плавания нового поколения 11

В.В. Якимов, Г.Е. Егузаров, Т.И. Летова. Дальнейшее развитие программного обеспечения прямого расчета нагрузок от воздействия льда на корпус судна 21

О.В. Третьяков, П.А. Шауб, С.В. Московкина. Основы динамической непотопляемости судна 27

А.И. Гайкович. Проблема коэффициента Нормана в теории проектирования корабля 29

А.А. Форст, А.А. Шамалов. Спасательные суда ВМФ 31

В.Н. Половинкин, А.Б. Фомищев. Современное состояние и перспективы развития универсально-десантных кораблей. Часть 1 42

Р.Н. Караев. Мегаблочное формирование нефтяных стационарных платформ в условиях Каспийского моря. Часть 2 46

К.В. Рождественский. Линеаризованное решение задачи обтекания суперкавитирующего тонкого профиля при использовании различных схем замыкания каверны 55

К.В. Рождественскому – 75 лет 59

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

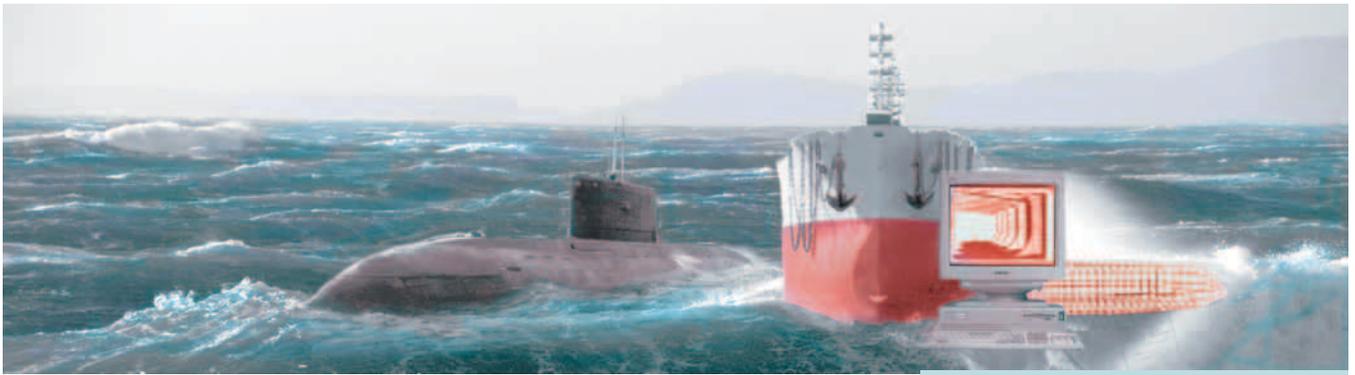
К.В. Цветков, Е.В. Кипреев, О.В. Сыркова, В.А. Сеницкий, С.Ф. Мылюев. Использование лазерного проектора в составе измерительно-проекционного разметочного комплекса в судостроительном производстве 60

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Л.Г. Кузнецов, А.В. Бураков, А.С. Перминов, С.Н. Серебренников, О.К. Котов. Азотные компрессорные станции для кораблей ВМФ, СПГ-танкеров и ледокольного флота на СПГ 67

М.И. Иванов. Способ настройки кранов шаровых с резьбовыми втулками 73

Л.И. Вишневский, А.Р. Тогуняц, Дык Чинь Лук. Особенности реверсирования судов, оснащенных гребными винтами с разным контуром лопасти 74



ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- Г.А. Коржавин, Ю.Ф. Подоплёкин, О.Г. Мальцев.** Оптимизация поиска излучающей морской цели корабельным радиопеленгатором по данным от внешнего источника информации 81
- А.В. Анисимов, А.Г. Юрескул, А.Н. Попадъин, Т.А. Спасова.** Методика синтеза математической модели электрогидравлического рулевого привода автономных подвижных объектов 85
- И.И. Зайцев, Д.В. Шамановский, Е.В. Бутер.** Проблематика интеграции комплексов автоматизированных систем управления при создании ПЛ малого водоизмещения 89
- Д.С. Бабкин, И.В. Капустин, А.В. Кирьянов, К.А. Смирнов, П.Г. Федоров, Р.Е. Хан.** Система навигационного обеспечения и управления группой подводных роботов 93
- С.К. Воловдов, А.В. Смольников, Ю.В. Ясинская.** Инвариантная к изменению скорости система стабилизации движения МПО 99

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

- Г.Н. Муру, В.И. Сутырин.** Прогнозная оценка изменения частот собственных колебаний конструкции корпуса судна, находящегося в эксплуатации 103
- В.Ю. Макаров, М.Ю. Хохлов.** Математическая модель автономного понтонного спускового устройства для эвакуационных систем морских нефтегазовых сооружений 105
- С.А. Кондратьев.** Платформа для разработки системы информационной поддержки принятия решений на выполнение поставленных боевых задач 109
- А.В. Андреева, А.Д. Сулова.** Исследование факторов, негативно влияющих на морские перевозки, и анализ инновационных технологий, способных их устранить 112
- А.В. Пустошный.** Проработки Международной морской организации запрета тяжелого дизельного топлива в Арктике 117

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

- В.В. Шталов.** Конструкторское бюро «Вымпел» в годы Великой Отечественной войны 123
- Б.А. Барбанель, С.В. Федулов, Н.Н. Мизиркина.** Организация изобретательской работы в Конструкторском бюро НК ВМФ (ВМС) в Берлине (1945-1947) 126

Главный редактор

Э.А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д.С. Глухов

Тел./факс: (812) 6004586

Факс: (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Г.Н. Антонов, д-р техн. наук

А.И. Гайкович, д-р техн. наук, проф.

Е.А. Горин, д-р эконом. наук

В.Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.

Б.П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д.В. Казунин, д-р техн. наук

Р.Н. Караев, канд. техн. наук

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

А.И. Короткин, д-р техн. наук, проф.

П.А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

П.И. Малеев, д-р техн. наук

Ю.И. Нечаев, д-р техн. наук, проф.

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

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

Л.А. Промыслов, канд. техн. наук

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

А.А. Родионов, д-р техн. наук, проф.

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

В.И. Черненко, д-р техн. наук, проф.

Н.П. Шаманов, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т.И. Ильичёва

Дизайн, верстка

С.А. Кириллов, В.Л. Колпакова

Адрес редакции

190000, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по

делам печати, телерадиовещания и средств массовых

коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ

№ 77-12047 от 11 марта 2002 г.

Учредитель-издатель

ООО Издательство «Мор Вест»,

190000, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Электронная версия журнала

размещена на сайте ООО «Научная электронная

библиотека» www.elibrary.ru и включена

в Российский индекс научного цитирования

Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник»

включен в перечень ведущих научных журналов и

изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть

опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

Подписка на журнал «Морской вестник»

(индекс 36093) может быть оформлена по каталогу

Агентства «Роспечать» или непосредственно

в редакции журнала через издательство «Мор Вест»

Отпечатано в типографии «Премиум-пресс»

Тираж 1000 экз. Заказ № 691

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(74)

j u n e

2 0 2 0

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 SSTS,
President of the Association
of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

M.A. Alexandrov, Director JSC CRIME

A.S. Buzakov, General Director
JSC Admiralty Shipyards

A.A. Diachkov, General Director
JSC Severnoye Design Bureau

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMD Malachite

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

E.A. Konov, Director
JSC Publishing House Mor Vest

A.A. Kopanev, General Director
JSC SPF Meridian

G.A. Korzhavin, General Director
JSC Concern Granit-Elektron

A.V. Kuznetsov, General Director JSC Armalit

L.G. Kuznetsov, General Designer
JSC Compressor

G.N. Muru, Executive Director JSC 51 CDTISR

N.V. Orlov, Chairman
St. Petersburg Marine Assembly

A.G. Rodionov, General Director
JSC Kronstadt Technologies

S.V. Savkov, General Director
JSC NE

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ

V.V. Shatalov, General Director
JSC DO Vympel

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

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

A.S. Solov'yev, General Director
PJSC Vyborg Shipyard

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

G.R. Tsaturov, General Director
OJSC Pella

A.L. Ulyanov, General Director
LLC Neva International

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

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

CONTENTS

A.L. Rakhmanov . Strategic goals of USC JSC.....	1
S.E. Abdykerov, A.N. Bel'skova . Methodological approaches to managing the strategic development of a corporation	7

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

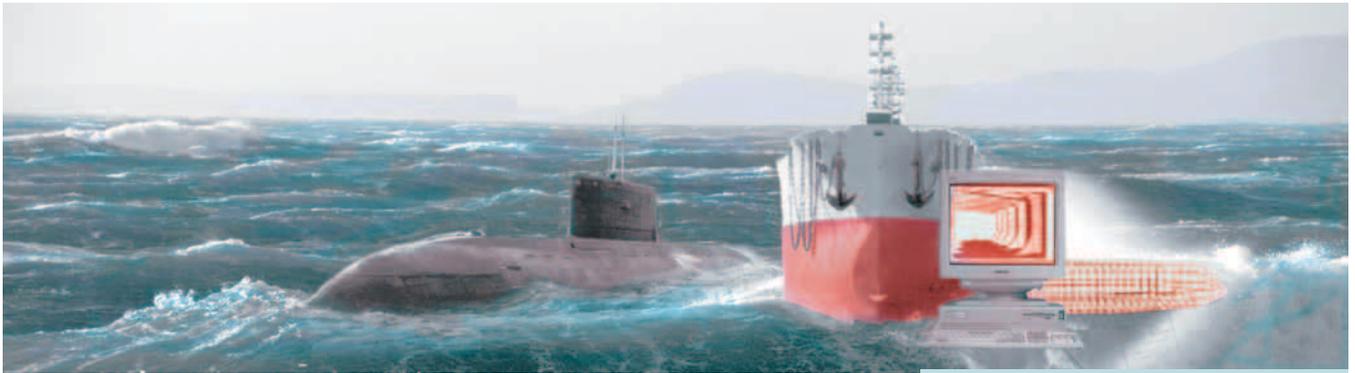
A. G. Egorov . Ensuring the driving performance of a new generation of mixed navigation cruise passenger ships	11
V. V. Yakimov, G. E. Egiazarov, T. I. Letova . Further development of software for the direct calculation of loads from the effects of ice on the hull	21
O. V. Tret'yakov, P. A. Schaub, S. V. Moskovkina . Fundamentals of the dynamic unsinkability of a ship.....	27
A. I. Gajkovich . The Norman coefficient problem in ship design theory.....	29
A. A. Forst, A. A. Shamalov . Rescue ships of the Navy.....	31
V. N. Polovinkin, A. B. Fomichev . Current status and development prospects of universal landing ships. Part 1.....	42
R. N. Karaev . Megablock formation of stationary oil platforms in the Caspian Sea. Part 2	46
K. V. Rozhdestvensky . Linearized solution of a supercavitating thin foil problem with use of different cavity closure schemes.....	55
K. V. Rozhdestvensky – 75 years.....	59

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING

K. V. Tsvetkov, E. V. Kipreev, O. V. Syrkova, V. A. Sinitsky, S. F. Milyuev . The use of a laser projector as part of a measuring and projection marking complex in shipbuilding.....	60
--	----

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

L. G. Kuznetsov, A. V. Burakov, A. S. Perminov, S. N. Serebrennikov, O. K. Kotov . Nitrogen compressor stations for Navy ships, LNG tankers and the LNG icebreaker fleet	67
M. I. Ivanov . The method of setting ball valves with threaded bushings.....	73
L. I. Vishnevsky, A. R. Togunjac, Duc Chin Luk . Features of reversing ships equipped with propellers with different blade contours	74



INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- G. A. Korzhavin, Yu. F. Podoplyokin, O. G. Mal'tsev.** Search optimization of a radiating marine target by a ship direction finder according to data from an external information source..... 81
- A. V. Anisimov, A. G. Yureskul, A. N. Popad'in, T. A. Spasova.** The synthesis technique of the mathematical model of the electro-hydraulic steering gear of autonomous moving objects..... 85
- I. I. Zaitsev, D. V. Shamanovsky, E. V. Buter.** Problems of integration of complexes of automated control systems when creating submarines of small displacement 89
- D. S. Babkin, I. V. Kapustin, A. V. Kir'yanov, K. A. Smirnov, P. G. Fedorov, R. E. Khan.** Navigation support and control system for a group of underwater robots..... 93
- S. K. Volovodov, A. V. Smol'nikov, Yu. V. Yasinskaya.** A velocity-invariant system for stabilizing the motion of MPO 99

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

- G. N. Muru, V. I. Sutyryn.** Forecast of changes in the frequency of free oscillations of the hull structure of the vessel in operation..... 103
- V. Yu. Makarov, M. Yu. Khokhlov.** A mathematical model of an autonomous pontoon launching device for evacuation systems of offshore oil and gas facilities 105
- S. A. Kondrat'yev.** A platform for developing a system of information support for decision-making on the implementation of combat missions 109
- A. V. Andreeva, A. D. Suslova.** Investigation of factors negatively affecting shipping, and analysis of innovative technologies that can eliminate them 112
- A. V. Pustoshny.** The study of the International Maritime Organization of the prohibition of heavy diesel fuel in the Arctic 117

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

- V. V. Shatalov.** Design Office Vympel during the Great Patriotic War..... 123
- B. A. Barbanel, S. V. Fedulov, N. N. Mizirkina.** Organization of inventive work in the Design Bureau of the NKVMF (Navy) in Berlin (1945–1947)..... 126

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G.N. Antonov, D. Sc.

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

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

E.A. Gorin, D. Sc.

V.N. Ilukhin, D. Sc., Prof.

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

D.V. Kazunin, D. Sc.

R.N. Karaev, Ph. D.

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

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

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

P.I. Maleev, D. Sc.

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

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

of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

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

L.A. Promyslov, Ph. D.

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

of the Academy of Sciences of Russia

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

K.V. Rozhdvestvsky, 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 № 691

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

Цели стратегического развития ОСК

- 1 **Техническое превосходство военной техники**
1 5 6 – номера соответствующих задач развития отрасли
- 2 **Конкурентоспособность продуктов и услуг**
2 6 7
- 3 **Глобальное присутствие инжиниринга**
3 4
- 4 **Реализация государственной политики**
6 7

Задачи реализации Стратегии развития отрасли

- 1 Обеспечить 100% выполнения заданий ГОЗ по срокам и стоимости создания кораблей, судов, ВВиСТ для военно-морского флота, разработать и внедрить наиболее передовые технологии производства
- 2 Занять до 90% внутреннего рынка гражданских судов и морской техники в стоимостном выражении и до 98% в тоннаже, увеличить объем их экспорта до 25 млрд. рублей
- 3 Обеспечить удовлетворение потребности судостроительной промышленности в электронной компонентной базе отечественного производства и достижение доли судового комплектующего оборудования отечественного производства в стоимости конечной продукции до 75%
- 4 Обеспечить полное и своевременное финансирование мероприятий по развитию новых технологий, критичных для создания перспективной морской техники, обеспечить загрузку не менее 80% стендовой испытательной базы, внедрение не менее 60% разрабатываемых технологий и оптимизацию структуры научно-исследовательских центров
- 5 Удвоить количество новых и обновленных судоремонтных мощностей, увеличить объем судоремонта в 2 раза
- 6 Повышение эффективности планирования и управления производством в организациях судостроительной промышленности и обеспечение их финансовой устойчивости
- 7 Увеличить количество высокопроизводительных рабочих мест, увеличить заработную плату работникам промышленных организаций судостроительной отрасли

Рис. 1. Анализ соответствия целей ОСК стратегии отрасли

ции от трёх предыдущих, ранее ни прямо ни косвенно не фигурировала в предыдущих стратегических и программных документах ОСК. Её включение в перечень стратегических целей направлено на подчеркивание роли ОСК как системообразующей Корпорации отрасли, обязанной быть активным участником формирования и реализации государственной политики.

Предложенные стратегические цели развития ОСК соответствуют целям и задачам Стратегии отрасли (рис. 1).

РЫНОЧНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

ОСК, обладая компетенциями по всем видам морской техники, присутствует во всех нишах и выбирает приоритеты, исходя из технической сложности и потенциала конкурентоспособности.

Одним из вызовов, стоящих перед Корпорацией, является диверсификация номенклатуры продукции и услуг. В рамках этой задачи выделены два направления работы (табл. 1 и табл. 2):

1. Укрепление традиционных компетенций (горизонтальная интеграция):

- усиление проектной компетенции, в том числе вывод проектно-конструкторского потенциала в самостоятельное бизнес-направление, ориентированное на глобальный рынок;
- сервисное обслуживание судовладельцев с переходом на контракты жизненного цикла и интеллектуальные системы мониторинга технического состояния объектов морской техники.

2. Приобретение новых компетенций (вертикальная интеграция):

- для целей реализации комплексной политики диверсификации Корпорацией планируется расширять номенклатуру в глубину цепочек создания и обслуживания объектов морской техники. Для этого планируется занять активную позицию, в том числе в

Номенклатура продукции, рыночные приоритеты

Таблица 1

	Номенклатура	Проектирование	Строительство	Сервис
Военная продукция	Атомные подводные лодки	1	1	1
	Неатомные подводные лодки	1	1	1
	Авианесущие боевые корабли	1	1	1
	Корабли ДМЗ	1	1	1
	Корабли БМЗ	2	2	2
	Вспомогательный флот	3	3	2
Гражданская продукция	Суда ледового класса	1	2	2
	Техника для шельфа	1	2	2
	Морской транспорт	3	3	3
	Речной транспорт	3	3	3
	Рыболовный флот	3	2	3
	Пассажирский речной флот	3	2	3
	Пассажирский морской флот	3	–	–
	Технический флот	3	3	3

1 - лидерство на рынке; 2 - незначительная конкуренция; 3 - конкурентный рынок. Приведены оценки рыночного положения Группы ОСК на внутреннем рынке.

Добавленная стоимость платформы, приоритеты вертикальной диверсификации

Таблица 2

Составляющая добавленной стоимости	%VA ¹	%ОСК ²
Технический проект и авторский надзор	5	20
Рабочая конструкторская документация	5	80
Системы пропульсии	15	0
Интегрированные электронные системы	10	5
Интерьер	10	0
Корпус, сборка, испытания	35	100
Гарантийное обслуживание	5	100
Прочие комплектующие, оборудование, материалы	15	0

¹ Приведены средние значения добавленной стоимости по номенклатуре ОСК (приведена стоимость платформы – очищенная стоимость судна от стоимости специального оборудования).

² Приведена оценка работ, выполняемых внутри Группы (таким образом в Группе ОСК от стоимости платформы остается порядка 30-40%, в зависимости от технической сложности проекта)

приобретении инновационных компаний, которые через внутригрупповой заказ будут гарантировать быструю окупаемость инвестиций за счет синергетических эффектов вертикальной интеграции.

Представленные в статье тезисы являются ключевыми в актуализируемой в настоящий момент редакции стратегии разви-

тия ОСК. Мы продолжаем дискуссию по обозначенным вопросам с ведомствами, ключевыми заказчиками и нашими партнерами. Публикация этих идей на страницах журнала – это дополнительный канал проверки наших гипотез и приглашение заинтересованных экспертов к участию в формировании облика новой Объединенной судостроительной корпорации. ■

Начало использования стратегического подхода к управлению предприятием берет начало в 20–30-е гг. XX в. Существует много определений стратегии, но в основном она понимается как «набор правил, руководств, направлений, методических рекомендаций, методов и правил поведения, рассчитанный на длительный период действия, для обеспечения роста конкурентоспособности организации, укрепления положения на рынке, повышения способности организации выживать в конкретной ситуации».

Необходимо отметить, что накопленный методологический опыт формирования стратегий предприятий только подтверждает отсутствие универсального подхода, применимого в любой ситуации. Например, анализ наиболее популярных методологических инструментов (см. таблицу) показывает неизбежную их фокусировку на тех или иных аспектах рыночного позиционирования бизнеса или организационного развития компании.

Обзор методологических инструментов показывает, что в любой методологии присутствует очень высокая степень субъективности аналитика, который использует методологию. С одной стороны, методологии призваны уменьшить влияние человеческого фактора, задать простые, проверяемые пошаговые инструкции формирования тех или иных видов стратегий [1]. Но фундаментально, в основе любой стратегии лежит нечеткая логика: сочетание анализа ретроспективных фактов и выбора вероятных трендов и возможностей. Другими словами, стратегическая деятельность сочетает точный математический подход и работу с гипотезами.

Обзор основных методологических инструментов

Методология	Назначение
Матрица BCG	«Кривая опыта» и матрица «Рост – доля рынка»: все издержки фирмы снижаются по мере роста ее рыночной доли. Использовались для анализа портфеля продукции компании.
Матрица И. Ансоффа	Стратегическое планирование взамен долгосрочного планирования: движение от анализа будущего к настоящему.
Система сбалансированных показателей Д. Нортон и Р. Каплана	Система причинно-следственных связей между стратегическими целями на основе четырех составляющих: финансовой, клиентской, внутренних бизнес-процессов и обучения развития персонала.
Стратегическое сафари Г. Минцберга	Критика «матричного» метода принятия стратегических решений. Понимание стратегического управления как комплексного и противоречивого процесса.
Управление стратегическими изменениями Дж. Коттера	Стратегическое изменение организации от «открытой» к «безграничной», важность роли культурных факторов в организации, разработка стратегии «голубых океанов».

* Karloff B. Business strategy: the Concept. The contents. Symbols.– Moscow: The Economy, 1991.

** Письмо Росимущества от 29 апреля 2014 г. № ОД-11/18576.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ СТРАТЕГИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ КОРПОРАЦИИ

С.Е. Абдыкеров, директор,
А.Н. Бельскова, руководитель проекта,
Департамент стратегического развития АО «ОСК»,
контакт. тел. (495) 617 3300, д. 1947, abdykerov@aoosk.ru, belskova@aoosk.ru

2. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО ТИПАМ КОРПОРАТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ

С точки зрения применимости методологий для корпораций уточним возникающую специфику [2]. Корпорации вынуждены в каждом конкретном случае составлять свой методологический набор, исходя из собственной организационной сложности и приоритетности проблемных вопросов собственного развития. Можно выделить несколько типов корпоративных стратегий, которые зачастую одновременно возникают в стратегической деятельности любой корпорации. Эти типы стратегий целесообразно в каждой конкретной корпорации уточнить в собственной системе стратегического развития. Укрупненно можно предложить три базовых типа стратегий* [3].

Верхнеуровневая корпоративная стратегия – это стратегия корпорации как портфельной компании. Основные задачи такой стратегии определить долгосрочные приоритеты и принципы бизнес-портфеля корпорации, развития системы управления и организационного развития. Важной задачей такой стратегии является разложение бизнес-компетенций между головной – управляющей – компанией и портфельными компаниями.

Бизнес стратегия – стратегия отдельно взятого бизнес-направления. Ее цель – представить бизнес-план, отве-

Таблица

чающий на вопросы: как конкурировать на конкретном рынке, кому и по какой цене продавать товары, как побеждать в конкуренции и т.д. Например, с точки зрения Объединенной судостроительной корпорации, этот тип можно разделить еще на два подтипа: бизнес-стратегия отдельно взятого рыночного судостроительного продукта или услуги (стратегия построенная от заказчиков определенного вида продуктов или услуг); бизнес-стратегия в регионе присутствия корпорации (стратегия построенная от конкурентного анализа в конкретном регионе присутствия активов корпорации).

Функциональная стратегия – это стратегия отдельно взятого функционального направления деятельности корпорации, стратегии технического развития, инноваций, управления персоналом, экспортного продвижения и т.д. Цель их – формирование общих для всех портфельных компаний правил и принципов развития в отдельной функциональной области.

С практической точки зрения в рамках систем управления стратегическим развитием корпорации видится необходимость определиться с подобной типизацией и закреплением под каждый тип стратегии свой организационный уровень принятия решений.

3. ФОРМИРОВАНИЕ ВЕРХНЕУРОВНЕВОЙ КОРПОРАТИВНОЙ СТРАТЕГИИ

При формировании верхнеуровневой корпоративной стратегии необходимо удерживать, с одной стороны, собственные задачи корпорации, с другой стороны – методические рекомендации Минэкономразвития России**, которые содержат требования к обязательным элементам стратегии: стратегические цели; направления реализации стратегии; стратегические задачи.

В этой связи можно предложить следующие этапы разработки верхнеуровневой корпоративной стратегии на примере ОСК.

Важно представить одну из критичных проблем, которые возникают при формировании или реализации стратегических документов корпораций с



Рис. 1. Методологические этапы и последовательность разработки Стратегии

государственным участиям в российской юрисдикции. Это прежде всего **избыточность директивных решений, носящих стратегический характер**. Особенностью регулирования компаний с государственным участием являются так называемые директивные вопросы. Это механизм государственного влияния на стратегически значимые аспекты развития или деятельности компаний, в которых государство имеет контролирующее права. С одной стороны, это механизм защиты и представления интересов государства при регулировании деятельности компаний с государственным участием. Но, с другой стороны, он приводит к следующим отрицательным эффектам: снижению ответственности менеджмента за качество собственных управленческих решений, дублированию сути разных директив и функциональных планов и стратегий.

Если руководствоваться формальной логикой, то стратегия любой корпорации с государственным участием может быть представлена суммой требований всех полученных корпорацией директив. С учетом их количества и широты тематических задач ответственность за стратегический выбор у менеджмента корпораций сведена к минимуму.

4. ТИПИЧНАЯ ПРОБЛЕМАТИЗАЦИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

В соответствии с рис. 1 в ОСК был проведен заинтересованными сторонами анализ глубинных интервью и опросов представителей, в результате которого получен следующий типичный для корпораций список проблем:

Низкая синхронизация головной компании и портфельных компаний. Данная проблема, озвученная респондентами, отражает субъективную оценку низкой степени синхронизации бизнес-целей и процессов головной компании и портфельных компаний. В первую очередь респондентами отмечены следующие сквозные бизнес-процессы, требующие развития: 1) работа с заказчиками и распределение сбалансированного портфеля заказов; 2) реализация инвестиционной политики развития основных производственных и технологических компетен-

ций; 3) мотивация топ-менеджмента и формирование кадрового резерва.

Инженерные компетенции не соответствуют рыночным запросам. Данная проблема является следствием высокой консервативности исторически сложившейся модели взаимодействия проектантов и производителей в оборонных отраслях. Например, в ОСК организационно и методически разрозненная деятельность проектно-конструкторских бюро приводит к низкой степени унификации и стандартизации инженерных услуг и, как следствие, к низкой конкурентоспособности, особенно на рынке судостроения. Также проблемой на пути развития собственных инженерных компетенций является историческое отсутствие собственных научно-технических подразделений, оказавшихся в процессе создания интегрированных структур вне контура судостроительной корпорации.

Низкая конкурентоспособность предприятий корпорации. Данная проблема – общая для большинства корпораций оборонно-промышленного комплекса, среди внешних влияющих факторов экспертами отмечаются следующие: 1) высокая зависимость от государственного оборонного заказа, приводящего к неэффективному механизмам ценообразования, отсутствие мотивации к снижению издержек; 2) высокая зависимость от государственных капитальных инвестиций, обеспечивающих оборонные и мобилизационные задачи, и, как следствие, также снижающие мотивацию к обеспечению высокой маржинальности деятельности.

Сложные регламенты бизнес-процессов с нечеткой ответственностью. Данная проблема является традиционной для всех больших компаний – громоздкая локальная нормативная база с пересечением зон ответственности, с одной стороны, и с пробелами ответственности, с другой стороны. Обратная сторона этой же ловушки – стремление снизить риски через многоуровневые согласования любого вопроса, вследствие чего возникает обратный эффект снижения ответственности и неспособности Корпорации принимать

быстрые и рискованные – ответственные – решения.

Перекося в сторону государственного контроля и отчетности в ущерб бизнес-задачам. Данная проблематика характерна для всех корпораций с государственным участием. Требования, предъявляемые к корпорации органами власти, носят контрольно-надзорный характер для всех направлений деятельности. В работе каждого подразделения и дочернего общества Корпорации происходит смешение рыночной мотивации и контрольной мотивации, что неизбежно приводит к деградации бизнес-компетенций.

Неэффективные информационные потоки. Данная проблема – также следствие высокой степени участия государства в управлении. Множественные и случайные информационно-аналитические запросы «сверху», накладываясь на сложную корпоративную структуру управления, создают условия стихийного информационного обмена с высоким дублированием циркулируемой информации при отсутствии эффективных механизмов контроля ее качеством.

Низкая степень участия в формировании государственной политики. Данная проблема скорее носит характер запроса респондентов на изменение роли корпорации на более проактивную. Среди опрошенных экспертов звучит предложение сделать головные интегрированные структуры оборонно-промышленного комплекса более активными участниками разработки и лоббирования изменений нормативно-правового поля своих отраслей и инструментов их поддержки.

Каждая из перечисленных выше проблем стратегического развития должна найти отражение при формировании стратегических или программных документов корпорации.

Представленные в статье тезисы – результат практики формирования системы стратегического развития ОСК. Публикуя их, мы приглашаем заинтересованных экспертов к участию в совместной работе над стратегическим развитием Корпорации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ансофф И. Стратегическое управление. – М.: Экономика, 1989.
2. Минцберг Г., Куинн Дж.Б., Гошал С. Стратегический процесс. – СПб.: Питер, 2001.
3. Портер М. Конкуренция. – М.: ИД «Вильямс», 2000.
4. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003.
5. Ansoff H.I. Corporate Strategy: An Analytical Approach to Business Policy for Growth and Expansion. – N Y: McGraw-Hill Book Co, 1965.
6. Porter M.E. Competitive strategy: techniques for analysing industries and competitors. – N Y: Free Press, 1980. ■

Новое поколение круизных пассажирских судов (ПС) смешанного и речного плавания значительно отличается от классических речных и модернизированных до смешанного класса круизных пассажирских судов как по своему техническому оснащению, так и концептуально вследствие других подходов к определению главных размеров, обводов, формированию пассажирских и общественных помещений [1–6].

Применение принципа максимального использования габаритов внутренних водных путей, для которых проектируется судно, а также внедрение новых пропульсивных комплексов (винторулевые колонки и азимутальные [7–9], колесные движительно-рулевые [10]) по аналогии с грузовыми судами [11] привели к необходимости создания новых эффективных обводов. При этом сами обводы разрабатываются и оптимизируются в программных комплексах, которых просто не существовало на момент проектирования существующих ныне ПС.

Цель статьи – исследование ходовых качеств ПС нового поколения, разработанных «Морским Инженерным Бюро».

Спроектированная бюро линейка ПС нового поколения включает в себя все основные классы: «Волго-Балт макс» (размеры определяются условиями Волго-Балтийского пути, пассажировместимость – около 500 че-

ловек, пр. PV500VB); «Волго-Дон макс» (размеры определяются путевыми условиями Волго-Донского судоходного канала, пассажировместимость – около 250–350 человек, пр. PV300, PV300VD, PV250); «Дунай макс» (размеры определяются путевыми условиями реки Дунай и межбассейнового соединения Дунай–Майн–Рейн, пассажировместимость – около 200 человек, пр. PV200D); «ББК макс» (размеры определяются путевыми условиями Беломорско-Балтийского канала, пассажировместимость – около 150–200 человек, пр. PV09, PV11, PV150, PV200BB).

Как было отмечено в [3], для наших условий эксплуатации наиболее подходящим является традиционный монокорпусный тип пассажирского судна.

Остановимся более подробно на следующих проектах ПС (табл. 1).

ПС пр. PV300VD – стальное самоходное трехвинтовое (в первоначальном

варианте на этапе строительства была выполнена замена на три винторулевые колонки, ВРК) судно с наклонным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с избыточным надводным бортом, с удлиненной надстройкой бака, надстройкой юта, со средним расположением четырехъярусной надстройки, с носовым расположением рулевой рубки и с машинным отделением в кормовой части.

ПС пр. PV250 (пассажирский баржебуксирный состав) – стальное составное судно с избыточным надводным бортом, с надстройкой бака на основной секции, надстройкой юта на энергетической секции, со средним расположением трехъярусной надстройки основной секции, с носовым расположением подъемной (для обеспечения обзора) рулевой рубки на энергетической секции, с машинным отделением в кормовой части энергетической секции с двумя полнопово-

Таблица 1

Боковые виды ПС нового поколения

Проекты	Боковые виды
PV300VD «Петр Великий»	
PV250	
PV150	
PV09 «Штандарт»	

ротными ВРК с гребными винтами в насадках. Корпус пассажирской секции имеет носовую оконечность с наклонным форштевнем и транцевую кормовую оконечность с упрощенными обводами. Корпус энергетической секции имеет упрощенные обводы в носовой части, рассчитанные на совместное обтекание в составе с баржей-приставкой, и транцевую кормовую оконечность с неглубокими полутуннелями и скегом.

ПС пр. PV150 – стальное самоходное трехвинтовое судно с наклонным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с избыточным надводным бортом, с надстройкой бака и юта со средним расположением трехъярусной надстройки с носовым расположением

рулевой рубки и машинным отделением в кормовой части.

ПС проекта PV09 – стальное самоходное судно с избыточным надводным бортом, с вертикальным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, со средним расположением двухъярусной надстройки, с носовым расположением рулевой рубки, с машинным отделением в кормовой части, с дизель-электрической энергетической установкой, с двумя полноповоротными ВРК и носовым подруливающим устройством.

Модельные испытания ПС нового поколения. Обводы ПС нового поколения создавались в программных комплексах Rhinoceros и CAESES (Friendship Systems) и оптимизировались с помо-

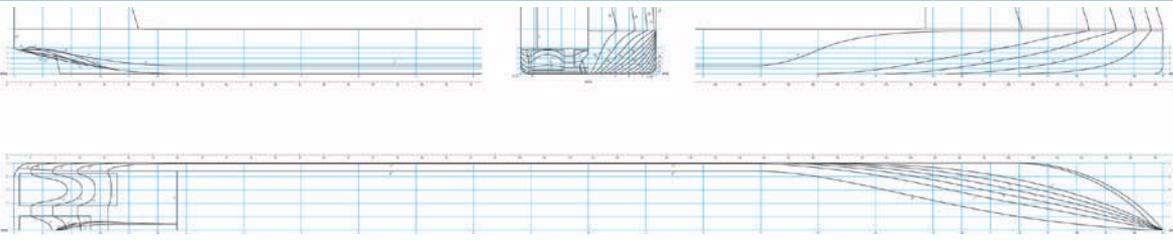
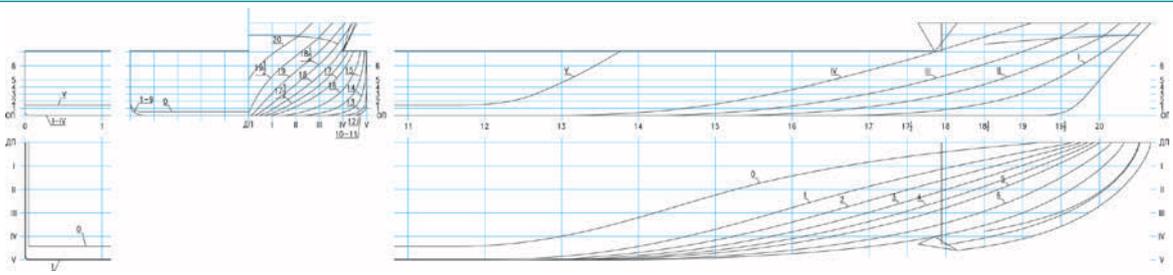
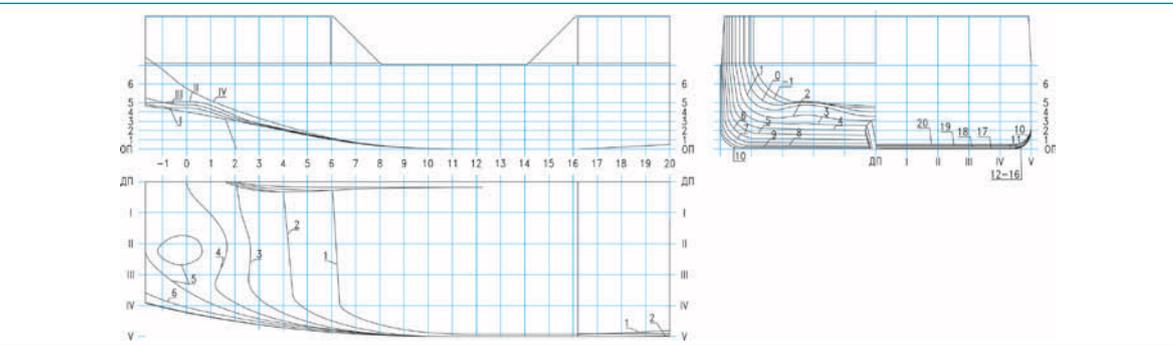
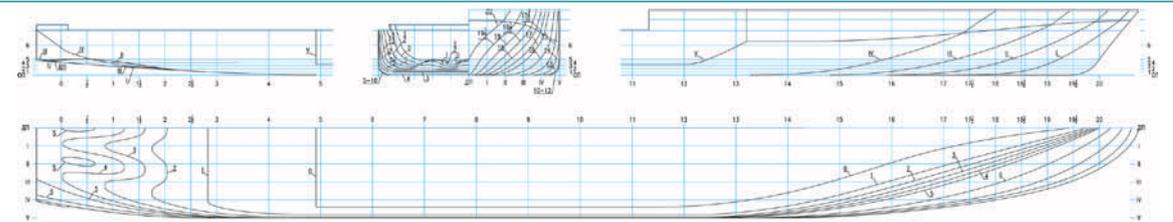
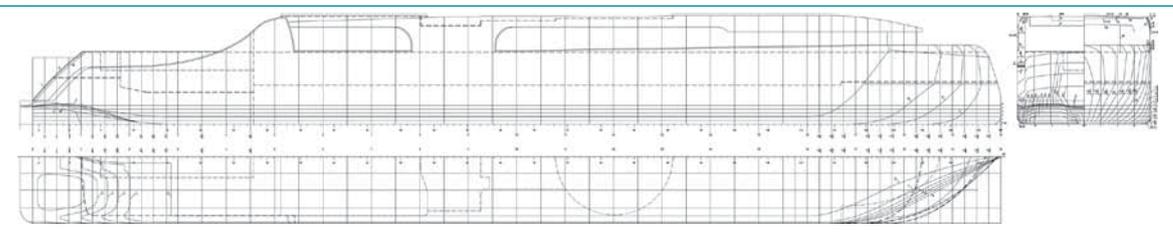
щью методов вычислительной гидродинамики (ВГД) в среде FlowVision.

Моделирование буксировочных испытаний исследуемых ПС во FlowVision выполнено путем решения уравнений Рейнольдса конечно-объемным методом в расчетной области, внутрь которой помещена 3D модель корпуса судна. Расчеты выполнены в масштабе натуре с намерением избежать влияния масштабных эффектов и процедур пересчета с модели на натуре с учетом условий эксплуатации реальных судов [12–15].

Боковые виды ПС нового поколения приведены в табл. 1. Теоретические чертежи ПС нового поколения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Теоретические чертежи ПС нового поколения

Проекты	Теоретические чертежи
PV300VD «Петр Великий»	
PV250 (пассажирская секция)	
PV250 (энергетическая секция)	
PV150	
PV09 «Штандарт»	

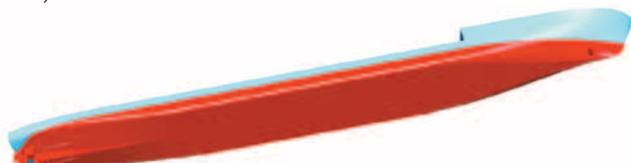
Геометрические характеристики корпусов ПС нового поколения

Наименование характеристики	Значения					
	PV300VD	PV250			PV150	PV09
		Пассажи- рская секция	Энергетиче- ская секция	Состав		
Длина по ватерлинии L_{wl} , м	135,000	108,000	28,000	136,200	95,000	94,300
Длина наибольшая $L_{оа}$, м	138,870	110,600	28,000	138,800	97,800	94,300
Ширина B , м	16,600	16,600	16,600	16,600	16,200	13,000
Осадка на НП T_p , м	2,900	2,500	2,500	2,500	1,400	1,800
Осадка на КП T_A , м	2,900	2,500	2,500	2,500	1,400	1,800
Осадка на мидель-шпангоуте T , м	2,900	2,500	2,500	2,500	1,400	1,800
Радиус скулы R , м	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950	0,700
Водоизмещение объемное ∇ , м ³	4902,1	3601,6	816,5	4418,2	1548,4	1855,3
Водоизмещение весовое Δ , т	5024,6	3601,6	816,5	4418,2	1548,4	1855,3
Площадь смоченной поверхности S , м ²	2484,6	1943,0	569,6	2512,6	1434,2	1391,4
Площадь ватерлинии S_{wl} , м ²	1966,5	1535,9	433,3	1969,1	1292,9	1131,6
Площадь проекции на ДП S_{cl} , м ²	377,6	267,4	59,7	327,1	115,9	162,1
Площадь мидель-шпангоута S_{mp} , м ²	47,8	41,1	41,1	41,1	22,3	23,2
Угол входа ватерлинии i_p , град.	28,0	21,0	90,0	21,0	21,5	28,0
Абсцисса центра величины (от середины L_{wl}) x_c , м	-0,376	-9,347	3,586	-5,461	-1,657	-0,230
Абсцисса центра величины относительная l_{cp} , %	-0,28	-8,65	12,81	-4,01	-1,74	-0,24
Погруженная площадь транца A_{tr} , м ²	0,063	36,015	1,492	1,492	0,874	-
Абсцисса центра цилиндрической вставки (от середины L_{wl}) x_{pmb} , м	-3,000	-27,375	6,600	-13,275	-7,500	-2,357
Длина цилиндрической вставки L_{pmb} , м	51,000	52,750	5,200	52,750	30,000	61,295
Длина цилиндрической вставки относительная ($L_{pmb}/L_{оа}$) l_{pmb} , %	36,7	47,7	18,6	38,0	30,7	65,0
Коэффициент общей полноты C_B	0,754	0,804	0,703	0,782	0,719	0,841
Коэффициент полноты площади ватерлинии C_{wp}	0,878	0,857	0,932	0,871	0,840	0,923
Коэффициент полноты площади мидель-шпангоута C_M	0,992	0,991	0,991	0,991	0,983	0,991
Коэффициент продольной полноты C_p	0,760	0,811	0,709	0,789	0,731	0,848
Отношение длины к ширине L_{wl}/B	8,133	6,506	1,687	8,205	5,864	7,254
Отношение ширины к осадке B/T	5,724	6,640	6,640	6,640	11,571	7,222

Геометрические характеристики подводной части корпусов ПС нового поколения представлены в табл. 3.

Обводы моделей ПС нового поколения приведены на рис. 1 и рис. 2.

а)



б)



в)

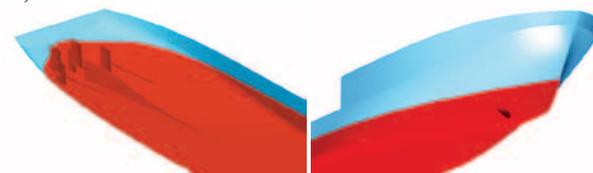


г)

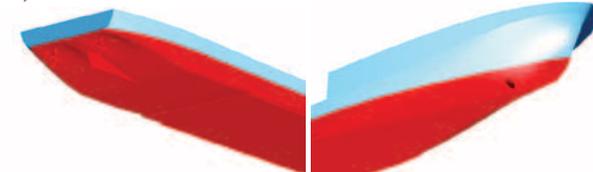


Рис. 1. Обводы моделей ПС нового поколения. Общий вид: а – PV300VD, б – PV250, в – PV150, г – PV09

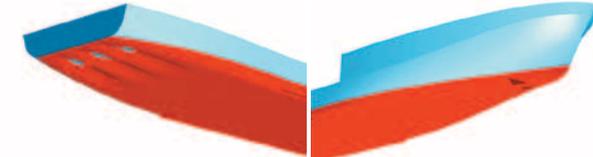
а)



б)



в)



г)

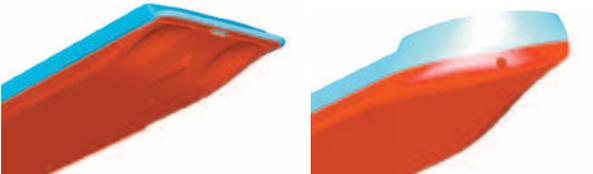


Рис. 2. Обводы моделей ПС нового поколения. Кормовая и носовая оконечности: а – PV300VD, б – PV250, в – PV150, г – PV09

Буксировочное сопротивление и мощность ПС нового поколения

Параметр	Проект	$V_s, уз$																
		6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14
Число Фруда F_n	PV300VD	0,085	0,092	0,099	0,106	0,113	0,12	0,127	0,134	0,141	0,148	0,155	0,163	0,17	0,177	0,184	0,191	0,198
	PV250	0,084	0,091	0,098	0,106	0,113	0,12	0,127	0,134	0,141	0,148	0,155	0,162	0,169	0,176	0,183	0,19	0,197
	PV150	0,101	0,11	0,118	0,126	0,135	0,143	0,152	0,16	0,168	0,177	0,185	0,194	0,202	0,211	0,219	0,227	0,236
	PV09	0,111	0,115	0,122	0,131	0,138	0,144	0,151	0,158	0,164	0,173	0,183	0,192	0,201	0,21	0,219	0,228	0,237
Число Рейнольдса $R_n \cdot 10^{-8}$	PV300VD	2,666	2,888	3,11	3,332	3,554	3,777	3,999	4,221	4,443	4,665	4,887	5,109	5,332	5,554	5,776	5,998	6,22
	PV250	2,689	2,914	3,138	3,362	3,586	3,81	4,034	4,258	4,482	4,707	4,931	5,155	5,379	5,603	5,827	6,051	6,275
	PV150	1,876	2,032	2,189	2,345	2,501	2,658	2,814	2,97	3,127	3,283	3,439	3,596	3,752	3,908	4,065	4,221	4,377
	PV09	1,834	1,975	2,112	2,340	2,491	2,621	2,782	2,91	3,016	3,183	3,351	3,518	3,686	3,854	4,021	4,189	4,356
Коеф. остаточного сопротивления $C_R \cdot 10^{-3}$	PV300VD	0,521	0,52	0,52	0,529	0,552	0,587	0,63	0,681	0,733	0,794	0,86	0,926	0,996	1,065	1,137	1,215	1,298
	PV250	0,407	0,409	0,41	0,419	0,444	0,481	0,527	0,578	0,637	0,702	0,775	0,854	0,934	1,02	1,109	1,2	1,299
	PV150	0,604	0,622	0,647	0,679	0,718	0,762	0,807	0,852	0,896	0,938	0,979	1,02	1,06	1,099	1,137	1,176	1,215
	PV09	0,608	0,635	0,659	0,692	0,738	0,812	0,902	1,001	1,079	1,19	1,324	1,492	1,677	1,886	2,115	2,394	2,7
Коеф. сопротивления трения эквивалентной пластины $C_{F0} \cdot 10^{-3}$	PV300VD	1,862	1,842	1,824	1,808	1,792	1,778	1,765	1,753	1,741	1,73	1,72	1,71	1,701	1,692	1,683	1,675	1,667
	PV250	1,86	1,84	1,822	1,806	1,79	1,776	1,763	1,751	1,739	1,728	1,718	1,708	1,699	1,69	1,681	1,673	1,666
	PV150	1,952	1,931	1,912	1,894	1,878	1,863	1,848	1,835	1,823	1,811	1,8	1,79	1,78	1,77	1,761	1,753	1,744
	PV09	1,955	1,933	1,913	1,895	1,879	1,864	1,849	1,838	1,828	1,815	1,806	1,795	1,784	1,774	1,764	1,754	1,746
Коеф. сопротивления выступающих частей $C_A \cdot 10^{-3}$	PV300VD	0,032	0,034	0,035	0,037	0,038	0,039	0,041	0,042	0,043	0,044	0,045	0,046	0,046	0,047	0,048	0,049	0,05
	PV250	0,032	0,033	0,035	0,037	0,038	0,039	0,041	0,042	0,043	0,044	0,045	0,045	0,046	0,047	0,048	0,049	0,049
	PV150	0,04	0,042	0,044	0,046	0,047	0,048	0,05	0,051	0,052	0,053	0,053	0,054	0,055	0,055	0,056	0,056	0,057
	PV09	0,04	0,041	0,042	0,043	0,044	0,044	0,045	0,046	0,046	0,047	0,048	0,049	0,05	0,051	0,052	0,053	0,053
Коеф. полного сопротивления $C_T \cdot 10^{-3}$	PV300VD	2,519	2,500	2,483	2,478	2,486	2,508	2,540	2,580	2,621	2,672	2,729	2,786	2,847	2,908	2,972	3,043	3,119
	PV250	2,403	2,386	2,371	2,366	2,376	2,400	2,435	2,475	2,523	2,578	2,642	2,711	2,783	2,861	2,942	3,026	3,118
	PV150	2,700	2,699	2,707	2,723	2,747	2,777	2,809	2,842	2,875	2,906	2,936	2,968	2,999	3,028	3,058	3,089	3,120
	PV09	2,777	2,783	2,788	2,804	2,835	2,894	2,970	3,059	3,127	3,226	3,352	3,510	3,685	3,885	4,105	4,375	4,673
Буксировочное сопротивление $R_p, кН$	PV300VD	29,81	34,73	40,01	45,83	52,33	59,59	67,63	76,54	86,17	96,86	108,54	121,14	134,78	149,39	165,12	182,32	200,98
	PV250	28,75	33,51	38,63	44,24	50,57	57,65	65,57	74,24	83,9	94,51	106,28	119,2	133,22	148,6	165,3	183,4	203,14
	PV150	18,45	21,64	25,17	29,06	33,36	38,07	43,19	48,68	54,56	60,81	67,42	74,49	81,96	89,8	98,1	106,84	116,08
	PV09	17,82	20,92	25,11	29,85	34,42	39,94	45,10	50,08	58,21	65,22	73,24	84,1	95,75	110,32	126,94	146,81	169,56
Буксировочная мощность $P_e, кВт$	PV300VD	92,0	116,1	144,1	176,8	215,3	260,6	313,1	374,0	443,3	523,2	614,2	716,6	832,0	960,6	1104,2	1266,1	1447,4
	PV250	88,7	112,0	139,1	170,7	208,1	252,1	303,6	362,8	431,6	510,5	601,4	705,1	822,3	955,5	1105,4	1273,6	1462,9
	PV150	56,9	72,4	90,6	112,1	137,3	166,5	200,0	237,9	280,7	328,4	381,5	440,7	505,9	577,4	656,0	741,9	836,0
	PV09	55,0	69,9	90,4	115,2	141,6	174,6	208,8	244,7	299,4	352,3	414,4	497,5	591,0	709,4	848,9	1019,5	1221,1

$C_{Air} = 0,104 \cdot 10^{-3}$, $C_{Air} = 0,174 \cdot 10^{-3}$ (PV09) – коэффициент воздушного сопротивления

Результаты расчета буксировочного сопротивления и мощности ПС нового поколения представлены в табл. 4, графически – на рис. 3.

Визуализация расчетов для скорости 14 уз (пр. PV300, PV250, PV150) и 12,5 (пр. PV09) представлена на рис. 4 и рис. 5.

Подбор оптимальных характеристик винтов и расчет ходовых качеств судов с классическим пропульсивным комплексом был выполнен с использованием результатов систематических модельных испытаний серии М 4-65, с ВРК – с использованием гидродинамических характеристик серийных винтов Ка4-70 в направляющих насадках 19А (табл. 5).

Зависимости между скоростью хода ПС нового поколения, нагрузкой ГД по мощности и числом оборотов гребных валов представлены в табл. 6 (графически – на рис. 6).

Для пр. PV09 расчет ходовых качеств судна был выполнен с использова-

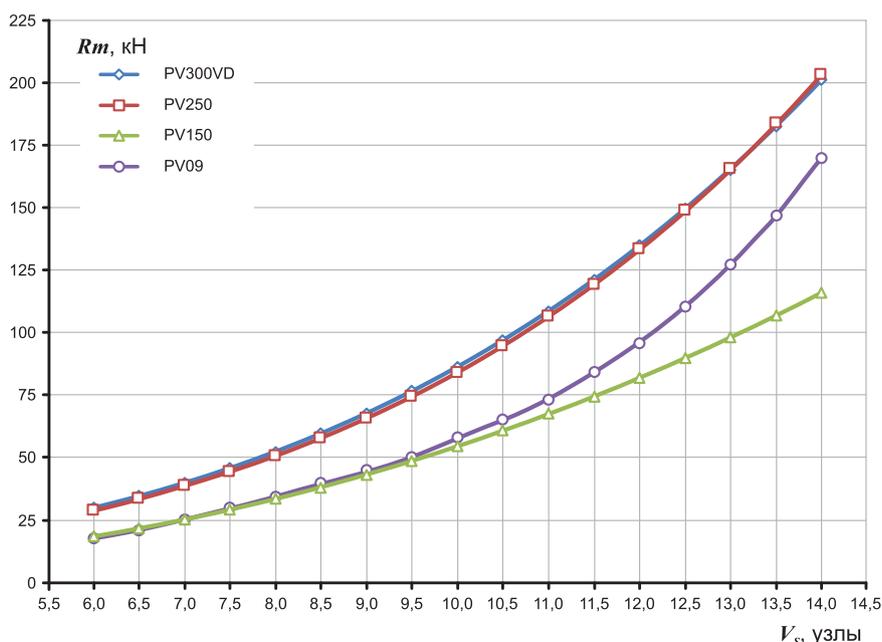


Рис. 3. Буксировочное сопротивление ПС нового поколения

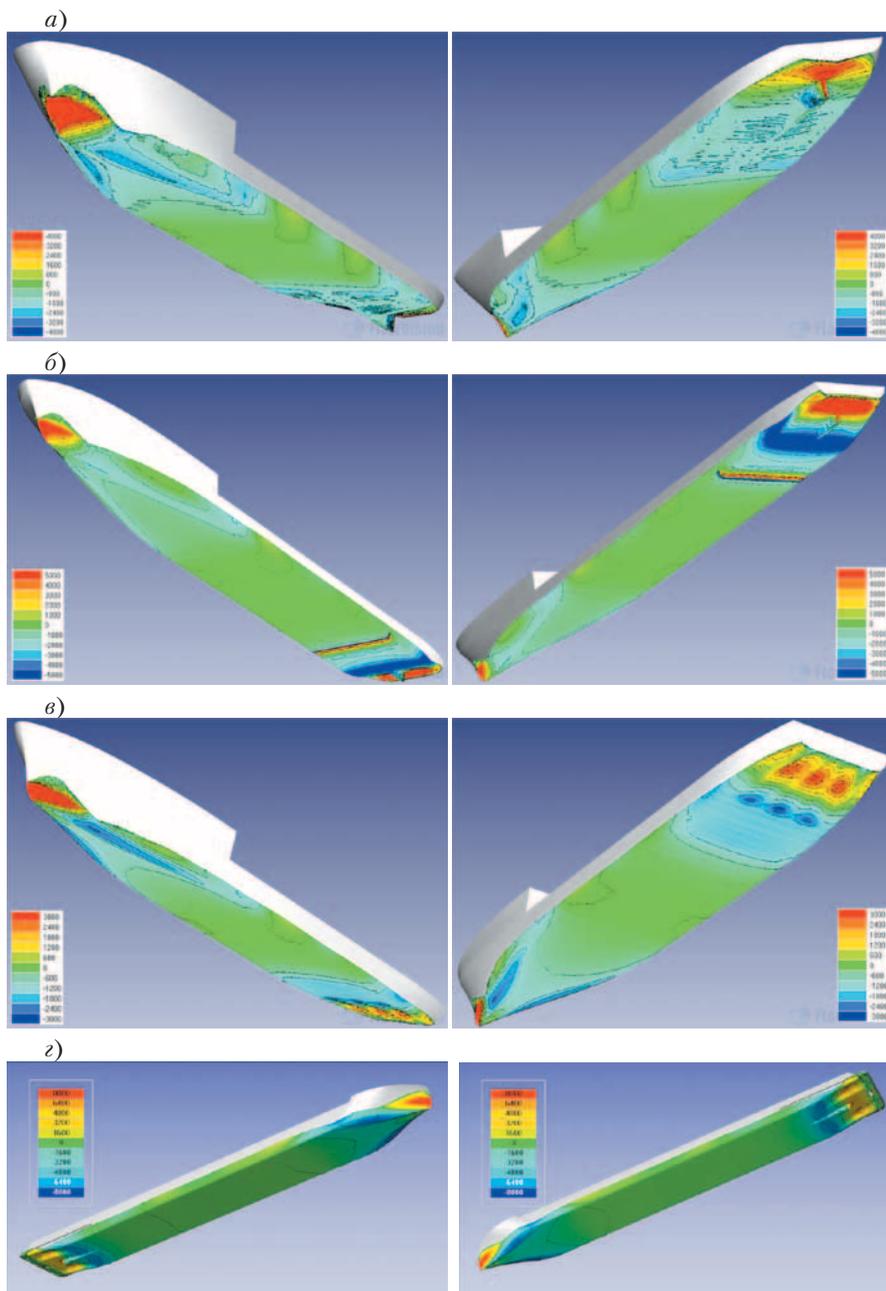


Рис. 4. Визуализация расчетов для максимальных скоростей ПС нового поколения. Распределение давления воды: а– PV300VD, б– PV250, в– PV150, г– PV09

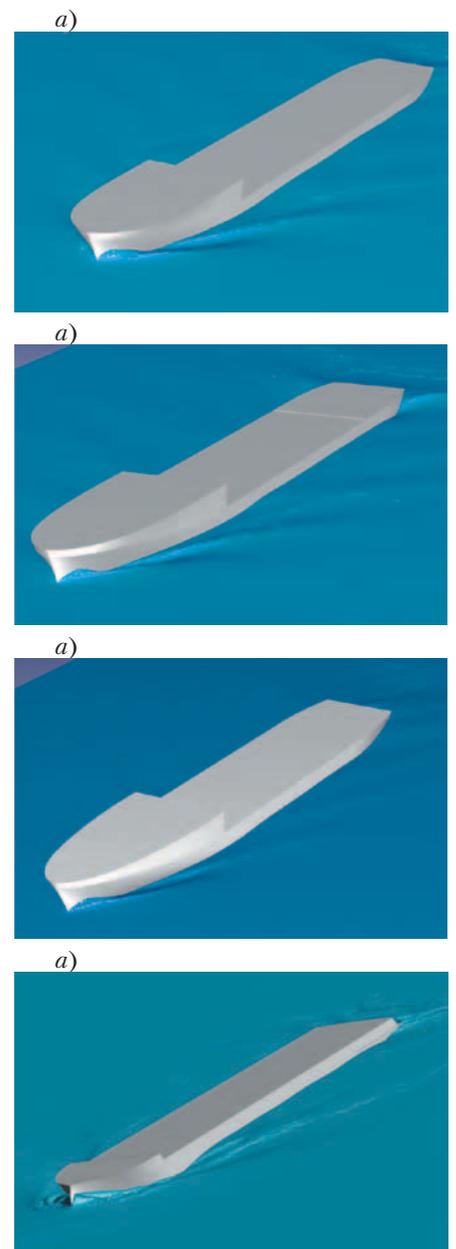


Рис. 5. Визуализация расчетов для максимальных скоростей ПС нового поколения. Свободная поверхность: а– PV300VD, б–PV250, в– PV150, г– PV09

Оптимальные элементы винтов и ходовые качества ПС проектов PV300VD, PV250, PV150

Таблица 5

Характеристики	PV300VD				PV250 (ВРК)				PV150			
Мощность на винте N_p , кВт	825				-				577			
КПД передачи мощности от ГД на винт η_s	0,97				-				0,97			
Диаметр гребного винта D_p , м	1,900				2,100				1,250			
Количество винтов x	3				2				3			
Дисковое отношение A_p/A_0	0,650				0,700				0,650			
Число лопастей винта z	4				4				4			
V_s , уз	13,00	13,50	14,00	14,24	12,00	12,50	13,00	12,93	13,00	13,50	14,00	14,63
R_p , кН	165,33	182,45	200,82	210,10	133,22	148,60	165,30	162,73	98,10	106,84	116,08	128,34
Бортовые винты:												
Коэффициент нагрузки винта K_{DT}	7,7243	8,1742	8,6325	8,8554	10,556	10,411	10,266	10,287	5,8060	6,1441	6,4886	6,9315
Относительная поступь J	0,5808	0,6031	0,6255	0,6362	0,6149	0,6085	0,6020	0,6029	0,4678	0,4858	0,5038	0,5265
Шаговое отношение P/D_p	1,0002	1,0138	1,0276	1,0343	1,2344	1,2316	1,2287	1,2291	0,9028	0,9128	0,9229	0,9360
Коэффициент упора K_T	0,244	0,2403	0,2366	0,2349	0,3393	0,3416	0,3438	0,3435	0,2486	0,2454	0,2422	0,2383
КПД в свободной воде η_0	0,5757	0,5887	0,6013	0,6071	0,5336	0,5319	0,5300	0,5303	0,5108	0,5236	0,5360	0,5510
Полезная тяга T_E , кН, для ВРК – мощность	73,38	72,26	71,16	70,64	747,4	871,3	1011,5	989,5	44,08	43,52	42,96	42,26

Таблица 5 (продолжение)
Оптимальные элементы винтов и ходовые качества ПС проектов PV300VD, PV250, PV150

Характеристики	PV300VD				PV250 (BPK)				PV150			
Центральный винт:												
K_{DT}	7,2345	7,6559	8,0851	8,2939	-	-	-	-	6,3110	6,6785	7,0530	7,5344
J	0,556	0,5774	0,5987	0,609	-	-	-	-	0,4946	0,5136	0,5326	0,5566
P/D_p	0,9854	0,9981	1,0111	1,0174	-	-	-	-	0,9177	0,9285	0,9395	0,9537
K_T	0,2482	0,2446	0,241	0,2393	-	-	-	-	0,2439	0,2405	0,2373	0,2332
η_0	0,5606	0,5736	0,5862	0,5921	-	-	-	-	0,5297	0,5426	0,5550	0,5700
T_E , кН	72,08	71,02	69,99	69,5	-	-	-	-	45,72	45,09	44,48	43,71
Суммарная полезная тяга ΣT_E , кН, для BPK – мощность	218,83	215,54	212,31	210,78	1494,8	1742,6	2023	1979	133,88	132,13	130,39	128,23

Таблица 6
Зависимость между скоростью, числом оборотов и мощностью ГД ПС проектов PV300VD, PV250, PV150

Параметр	Проект	$V_{ст}, уз$																	
		6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13 ¹⁾	13,5	14	14,2 / 14,6 ²⁾
R_p , кН	PV300VD	29,81	34,73	40,01	45,83	52,33	59,59	67,63	76,54	86,17	96,86	108,54	121,14	134,78	149,39	165,12	182,32	200,98	210,1
	PV250	28,75	33,51	38,63	44,24	50,57	57,65	65,57	74,24	83,9	94,51	106,28	119,2	133,22	148,6	162,73	-	-	-
	PV150	18,45	21,64	25,17	29,06	33,36	38,07	43,19	48,68	54,56	60,81	67,42	74,49	81,96	89,8	98,1	106,84	116,08	128,34
n, об/мин	PV300VD	121	131	141	151	161	172	182	193	205	216	228	240	252	264	276	289	302	308
	PV250	108	117	126	135	144	153	163	172	182	193	203	214	225	236	246	-	-	-
	PV150	220	238	257	276	295	315	334	354	374	394	414	435	455	476	496	517	538	564
Бортовые винты:																			
Коэф. нагрузки по упору K_{DE}	PV300VD	1,857	1,864	1,87	1,872	1,869	1,861	1,849	1,835	1,82	1,802	1,784	1,765	1,746	1,727	1,709	1,688	1,667	1,659
	PV250	1,71	1,716	1,721	1,723	1,719	1,71	1,698	1,684	1,668	1,65	1,63	1,609	1,588	1,567	1,549	-	-	-
	PV150	1,564	1,565	1,562	1,558	1,551	1,543	1,534	1,525	1,516	1,508	1,5	1,492	1,485	1,477	1,47	1,463	1,456	1,447
Коэф. засасывания t	PV300VD	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,129	0,129	0,129	0,128	0,128	0,127	0,127	0,126	0,126	0,125	0,125	0,124
	PV250	0,291	0,292	0,292	0,292	0,292	0,291	0,29	0,288	0,287	0,285	0,283	0,28	0,278	0,276	0,274	-	-	-
	PV150	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,181	0,181	0,181	0,181	0,18	0,18	0,18	0,179	0,179	0,179	0,179	0,178	0,178
Эффект. мощность N_E , кВт	PV300VD	48,5	61,1	75,8	92,9	113,3	137,3	165,3	198	235,3	278,7	328,4	384,7	448,5	520	600,2	691,5	794,5	846,6
	PV250	84,1	106,2	131,9	161,9	197,3	238,9	287,5	343,4	408,2	482,5	568,1	665,8	776,1	901,6	1021,7	-	-	-
	PV150	34	43,2	54,2	67,1	82,3	100	120,4	143,6	169,8	199,1	231,7	268,2	308,6	353	401,8	455,4	514,2	595,7
N_E , % ²	PV300VD	4,9	6,1	7,6	9,3	11,3	13,7	16,5	19,8	23,5	27,9	32,8	38,5	44,9	52	60	69,2	79,5	85
	PV250	7	8,9	11	13,5	16,4	19,9	24	28,6	34	40,2	47,3	55,5	64,7	75,1	85,1	-	-	-
	PV150	4,9	6,2	7,7	9,6	11,8	14,3	17,2	20,5	24,3	28,4	33,1	38,3	44,1	50,4	57,4	65,1	73,5	85,1
Центральный винт:																			
K_{DE}	PV300VD	1,868	1,874	1,881	1,883	1,88	1,871	1,86	1,846	1,831	1,814	1,796	1,777	1,758	1,74	1,721	1,701	1,681	1,672
	PV250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PV150	1,54	1,541	1,538	1,534	1,527	1,519	1,51	1,501	1,492	1,484	1,476	1,468	1,46	1,453	1,446	1,439	1,431	1,422
t	PV300VD	0,16	0,161	0,161	0,161	0,161	0,161	0,16	0,16	0,159	0,159	0,158	0,157	0,157	0,156	0,156	0,155	0,154	0,154
	PV250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PV150	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,133	0,133	0,133	0,133	0,132	0,132	0,132	0,132	0,132	0,131	0,131	0,131
N_E , кВт	PV300VD	48,7	61,4	76,1	93,4	113,8	137,9	166	198,8	236,2	279,6	329,4	385,7	449,4	520,8	600,9	691,9	794,6	846,5
	PV250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PV150	33,9	43,1	54	66,9	82	99,7	120,1	143,2	169,4	198,7	231,3	267,8	308,2	352,6	401,5	455,1	514	595,6
N_E , % ²	PV300VD	4,9	6,1	7,6	9,3	11,4	13,8	16,6	19,9	23,6	28	32,9	38,6	44,9	52,1	60,1	69,2	79,5	85
	PV250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PV150	4,8	6,2	7,7	9,6	11,7	14,2	17,2	20,5	24,2	28,4	33	38,3	44	50,4	57,4	65	73,4	85,1
ΣN_E , кВт	PV300VD	145,7	183,6	227,7	279,2	340,4	412,5	496,6	594,8	706,8	837	986,2	1155,1	1346,4	1560,8	1801,3	2074,9	2383,6	2539,7
	PV250	168,2	212,4	263,8	323,8	394,6	477,8	575	686,8	816,4	965	1136,2	1331,6	1552,2	1803,2	2043,4	-	-	-
	PV150	101,9	129,5	162,4	201,1	246,6	299,7	360,9	430,4	509	596,9	694,7	804,2	925,4	1058,6	1205,1	1365,9	1542,4	1787

¹ Для пр. PV250 максимальная расчетная скорость 12,9 уз. ² Мощность отнесена к номинальной мощности ГД 1000 кВт для пр. PV300VD, 1200 кВт для пр. PV250, 700 кВт для пр. PV150. ³ 14,2 уз. для пр. PV300VD, 14,6 уз. для пр. PV150.

Расчет ходовых качеств ПС пр. PV09 с ВПК Rolls-Royce US 155P14 CRP

$V_{ст}$, уз.	t	J	K_{DT}	η_0	K_T	T_E , кН	n , об/мин	N_E , кВт	N_E , %	ΣN_E , кВт
9,7	0,210	0,6992	7,338	0,5790	0,3818	34,46	678	260	23,6	520
10,3	0,210	0,6927	7,401	0,5761	0,3867	39,61	723	317	28,8	634
10,8	0,210	0,6850	7,476	0,5725	0,3925	45,56	769	386	35,1	772
11,3	0,210	0,6756	7,570	0,5677	0,3997	52,59	819	471	42,8	942
11,9	0,210	0,6655	7,669	0,5625	0,4073	60,60	871	574	52,2	1148
12,4	0,210	0,6547	7,777	0,5566	0,4154	69,82	926	699	63,5	1398
13,0	0,210	0,6433	7,889	0,5502	0,4239	80,34	983	849	77,2	1698
13,5	0,210	0,6303	8,018	0,5426	0,4337	92,91	1045	1037	94,3	2074
14,0	0,210	0,6169	8,150	0,5345	0,4437	107,31	1110	1265	115,0	2530

$N_p = 1100$ кВт; $D_p = 1,600$ м; $x = 2$; $z = 5$; $\eta_s = 0,94$.

Источник: [16]

нием данных производителя ВПК Rolls-Royce US 155P14 CRP [16] (2×1100 кВт, табл. 7). Согласно результатам расчетов, скорость хода на тихой глубокой воде с ВПК US 155P14 CRP составляет 13,7 уз при 100%-ной мощности главных двигателей (2×1100 кВт).

Расчетная скорость хода на тихой и глубокой воде ПС пр. PV300VD – 14,24 уз при 85%-ной (3×825 кВт) нагрузке главных двигателей, ПС пр. PV250 – 12,93 уз при 85%-ной (2×989 кВт), ПС пр. PV150 – 14,63 уз при 85%-ной (3×577 кВт).

Натурные испытания ПС нового поколения. ПС пр. PV300VD «Петр Великий» спущен на воду в мае 2019 г., находится на достройке (рис.7), ходовые испытания еще не были проведены. ПС пр. а

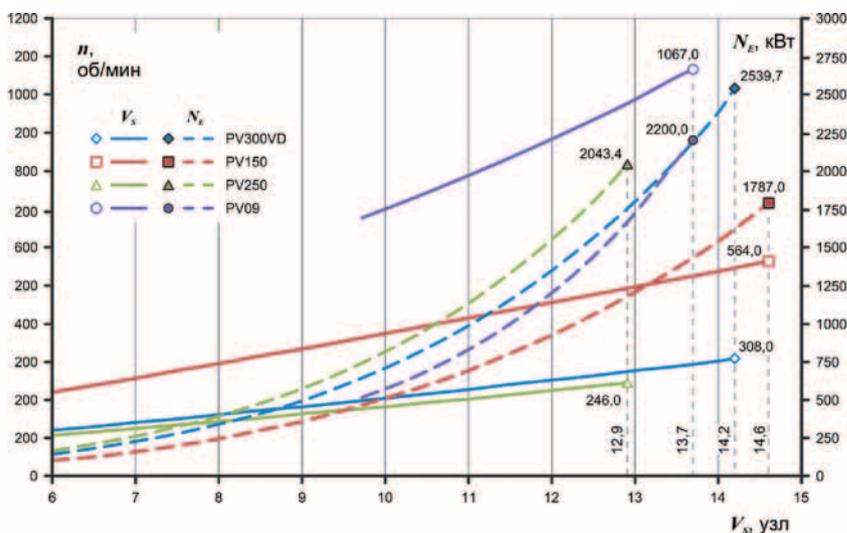


Рис. 6. Расчет ходовых качеств ПС нового поколения



Рис. 7. Носовая и кормовая оконечности ПС пр. PV300VD «Петр Великий»



Рис. 8. Носовая и кормовая оконечности ПС пр. PV300 «Мустай Карим»



Рис. 9. Мореходные испытания ПС пр. PV09 (фактическая забрызгиваемость окон в носовой части судна на расчетной волне)

PV300 «Мустай Карим», обводы которого близки к обводам ПС пр. PV300VD (разница в кормовой оконечности и пропульсивном комплексе – установлены два ВРК мощностью 1200 кВт каждая вместо таких же трех) спущен на воду в сентябре 2019 г. (рис. 8), сдача планируется весной/летом 2020 г., предварительные ходовые испытания подтвердили (с запасом) контрактную скорость судна.

ПС пр. PV09 «Штандарт» было сдано в эксплуатацию в 2017 г. В процессе строительства было принято решение о замене ВРК на SCHOTTEL STP 550 (2×1000 кВт), соответственно уменьшилась и расчетная скорость.

Ходовые испытания подтвердили его мореходные качества. Судно на мерной миле развило максимальную скорость 23,8 км/ч. В 2019 г. были проведены расширенные мореходные испытания «Штандарта» [17, 18] с целью подтверждения выполнения условий смешанного класса М-ПР 2,5 PPP (рис. 9).

Испытания проводились при 1500 об/мин ГДГ, пяти значениях курсового угла волнения (КУВ): 0°, 45°, 90°, 135° и 180° (0° соответствует движению против волны). При маневрировании судно поворачивалось к волне как правым, так и левым бортом. На каждом этапе испытаний судно двигалось прямым курсом с постоянными оборотами ГД; время удержания его на каждом курсе составляло 9–12 мин.

На основании проведенных испытаний и наблюдений установлено, что судно показало годные мореходные качества, а именно: уверенную управляемость на переднем ходу, умеренную качку, умеренную забрызгиваемость, заливаемость кринолина (в корме) на КУВ 90–180° (что вполне ожидалось, учитывая выбранный архитектурно-конструктивный

тип судна), потерю скорости переднего хода на КУВ 0° от 21,0 до 18,8 км/ч (фактическое волнение $h_{3\%} = 2,32$ м), нормальную обитаемость.

Нарушений в работе СЭУ, оголения днища, всхожести на волну и зарывания в волну не наблюдалось. Судно прорезало волну без видимых усилий или эффектов. Замечаний к судостроительным элементам судна не было.

Проведенные в 2019 г. натурные мореходные испытания в условиях расчетного ветро-волнового режима подтвердили, что мореходные качества ПС пр. PV09 «Штандарт» соответствуют спецификационным требованиям и классу PPP М-ПР 2,5, который присвоен судну.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПС нового поколения отличаются от классических проектов ПС, построенных в советское время: соотношение L/V в большинстве своем («Волго-Дон макс» и «Волго-Балт макс» классы) более длинное, обводы носовой и кормовой оконечностей оптимизированы с помощью методов ВГД, а также спроектированы с учетом установки подруливающих устройств и ВРК соответственно.

Удовлетворительная сходимость результатов модельных и натуральных мореходных испытаний на примере ПС пр. PV09 показывает эффективность применяемых инструментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Egorov G.V., Egorov A.G., Ilnytskyi I.A. Design features of river-sea cruise passenger vessels for Russian inland waterways and adjacent seas. – Conf. «Design & Operation of Passenger Ships». – London (UK): Royal Institution of Naval Architects, 2019, p.21–29.
2. Egorov A.G., Egorov G.V. River and river-sea cruise passenger ships. Operational experience, prognosis and novel concepts. – Conf. «Sustainable and Safe Passenger Ships».

tainable and Safe Passenger Ships». – Athens (Greece): Royal Institution of Naval Architects & Hellenic Institute of Marine Technology, 2020, p. 133–143.

3. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Калугин Я.В. Круизные пассажирские суда смешанного (река–море) плавания для российских внутренних водных путей. – В науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – 2013 – Вып. 36. – С. 255–276.
4. Любимов В.И. Особенности архитектурно–конструктивного типа современных речных круизных судов // Вестник ВГАВТ, Нижний Новгород. – Раздел I: Судостроение, судоремонт и экологическая безопасность судна. –2018. – Вып. 55. – С. 49–55.
5. Семин А.А. Классификация способов оценки комфортабельности как составляющий элемент проектирования судов и организации обслуживания пассажиров // Вестник ОНМУ. – 2013. – Вып. 1 (37). – С. 180–187.
6. Zverkhovskiy O., De Jong J.S. DAMEN air cavity system of sustainable passenger ships. – Conf. «Sustainable and Safe Passenger Ships». – Athens (Greece): Royal Institution of Naval Architects & Hellenic Institute of Marine Technology, 2020, . 65–70.
7. Колесник Д.В. Сравнение общей эффективности использования ВРК и традиционного пропульсивного комплекса на судах смешанного река–море плавания. – В Сб. докладов междунар. науч.-практ. конф. в честь 80-летнего юбилея профессора В.В. Козлякова. – Одесса: Судостроение и судоремонт, 2010, с.131–136.
8. VETH rudder propellers: VETH propulsion by TwinDisc. – Papendrecht, The Netherlands, 2019. – 48 p.
9. SCHOTTEL propulsion for next-generation Yangtze cruise vessel. – Сайт компании «Schottel». – [Электронный ресурс] – URL: https://www.schottel.de/news-events/news/news-detail/?no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=645 (дата обращения 18.03.2020).
10. Бычков В.Я., Грошева Л.С., Плющев В.И. Математическая модель судна с колесным движительно–рулевым комплексом «Золотое кольцо» // Вестник АГУУ (Астрахань). – Серия: Морская техника и технология. – 2018. – №3. – С. 36–49.
11. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Станков Б.Н., Печеник А.А. Проработка вариантов пропульсивного комплекса судна смешанного плавания класса «Волго-Дон макс» // Морской вестник. – 2011. – №2 (38). – С. 101–106.
12. Исследование ходовых качеств пассажирского судна на 300 пассажиров: технический отчет DMT–11–084, 2011. – 39 с.
13. Исследование ходовых качеств пассажирского судна на 150 пассажиров: технический отчет DMT–11–086, 2011. – 38 с.
14. Исследование ходовых качеств пассажирского барже–буксирного состава на 250 пассажиров: технический отчет DMT–11–088, 2011. – 39 с.
15. Исследование ходовых качеств пассажирского судна: технический отчет DMT-12-095, 2012. –35 с.
16. Trial performance prediction with open FP propellers: trial prediction of project PV09. – Rolls-Royce, 2014, 2 p.
17. Программа натуральных мореходных испытаний в условиях расчетного ветро-волнового режима – 2019, вып. МИБ.5372. – 8 с.
18. Протокол натуральных мореходных испытаний в условиях расчетного ветро-волнового режима. – 2019, вып.МИБ.5420. – 38 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование конструкций ледовых усилений корпуса судов ледового плавания традиционно выполняется согласно действующим требованиям национальной и/или международной нормативной документации, в том числе требованиям к ледовым усилениям судов Правил классификационных обществ, унифицированным требованиям МАКО к судам полярных классов, требованиям иных норм, стандартов и кодексов. Процесс определения геометрических размеров конструктивных элементов, удовлетворяющих требованиям нормативной документации, принято называть параметрическим проектированием.

В последние годы происходит активное развитие и внедрение прямых расчетов конструкций корпуса судна, ориентированных прежде всего на проверку прочности его рамных связей, в том числе в районах ледовых усилений (несущие стрингеры и рамные шпангоуты, горизонтальные и вертикальные диафрагмы двойных бортов и др.).

В основе прямых расчетов лежат численные методы, в частности, метод конечных элементов (МКЭ) в статической нелинейной упругопластической постановке, который может быть реализован с использованием современных программных систем конечно-элементного анализа. Однако в любом случае конструкции ледовых усилений корпуса судна должны воспринимать и выдерживать соответствующие проектные нагрузки от воздействия льда, в связи с чем корректное определение последних следует рассматривать в качестве приоритетной задачи.

РАСЧЕТ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА КОРПУС СУДНА СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Расчет ледовых нагрузок в соответствии с действующими требованиями «ледовых» Правил РМРС позволяет обеспечить минимально необходимый уровень ледовой прочности конструкций корпуса судна. При этом используется общий, унифицированный подход к определению нагрузок от воздействия льда на корпус судна и регламентируется их величина в зависимости от знака ледового класса судна, его размерений (водоизмещение), формы обводов корпуса, мощности на валах (для ледоколов и буксиров) [1].

Каждому ледовому классу в качестве интегральной количественной характеристики ставится в соответствие

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЯМОГО РАСЧЕТА НАГРУЗОК ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЬДА НА КОРПУС СУДНА

В.В. Якимов, эксперт по арктическому судостроению
ООО «Бюро Гиперборья»,

Г.Е. Егизаров, зам. техн. директора

ПАО «Выборгский судостроительный завод»,

Т.И. Летова, канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ

ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
контакт. тел. +7 (921) 866 5189

некоторая совокупность осредненных условий плавания судна во льдах (скорость хода судна во льдах, толщина и прочность ледяного покрова и др.) – так называемый базовый режим движения. При этом в рассмотрение вводятся два базовых режима движения – *допустимый*, превышение которого приводит к появлению в конструкциях первых пластических деформаций, и *опасный*, превышение которого связано с риском получения конструкциями повреждений в результате взаимодействия корпуса судна с ледяным покровом. В рамках заданного ледового класса базовый режим движения принимается одинаковым для всех судов, независимо от их типа, размерений и формы обводов корпуса (принцип единого стандарта безопасности), а присвоение ледового класса судну обеспечивает наличие стабильного гарантированного запаса между допустимыми и опасными условиями его плавания во льдах (принцип гарантии безопасности) [2].

Таким образом, применительно к конкретному судну нормативные требования устанавливаются фиксированные значения параметров ледовой нагрузки, исключая при расчете возможность в явном виде задавать внешние условия плавания судна во льдах, произвольно их варьировать и непосредственно учитывать их индивидуальное влияние на величину ледовых нагрузок.

Кроме того, для «нетрадиционных» судов ледового плавания, опыт проектирования и эксплуатации которых на сегодняшний день отсутствует или крайне мал, объективно имеет место значительное расхождение между фактическими и базовыми режимами движения, что объясняется невозможностью полноценной экстраполяции нормативных требований на область характеристик рассматриваемых судов. В частности, применение действующих требований «ле-

довых» Правил РМРС оказывается ограниченным и требует дополнительных специальных обоснований в отношении современных и перспективных крупнотоннажных ($L > 250$ м, $\Delta > 50$ тыс. т) транспортных судов высоких ледовых классов (Агсб и выше), предназначенных для морской перевозки нефти и газа, а также атомных ледоколов новых поколений, отличающихся высокой производительностью энергетической установки.

Поверхность корпуса всех судов ледового плавания, которая может подвергаться воздействию льда, условно подразделяется на районы ледовых усилений в продольном (т. е. по длине корпуса) и вертикальном (т. е. по высоте борта и днищу) направлениях. В пределах заданного района ледовых усилений величина ледовых нагрузок принимается одинаковой. В районах ледовых усилений, расположенных ниже ледового пояса, ледовые нагрузки задаются в долях от нагрузки, ожидаемой в соответствующем районе ледового пояса по длине корпуса судна, посредством введения эмпирических коэффициентов пересчета, полученных на основе данных о ледовых повреждениях конструкций. Ледовые нагрузки, действующие на конструкции ледового пояса, определяются при рассмотрении наиболее характерных сценариев механического взаимодействия корпуса судна и ледяного покрова.

Известно, что участок носового/кормового заострения корпуса подвергается воздействию льда в случае прямых и отраженных ударов при прямолинейном движении судна носом/кормой вперед, а также ударов при его сложном криволинейном движении. Взаимодействие со льдом района цилиндрической вставки происходит в случае отраженных ударов при прямолинейном движении судна и ударов на его циркуляции (маневрировании). В действующих тре-

бованиях «ледовых» Правил РМРС для определения локальных ледовых нагрузок на участок носового заострения корпуса в качестве расчетного сценария приняты прямой (для всех судов ледового плавания) и отраженный (для ледаколов) удары при прямойлинейном движении судна носом вперед.

В то же время в районах ледовых усилений, расположенных в пределах цилиндрической вставки и кормового заострения корпуса, назначение локальных ледовых нагрузок выполняется на основе эмпирического подхода, сочетающего опыт проектирования и эксплуатации судов ледового плавания и данные об их повреждаемости в ледовых условиях. Применение указанного подхода связано с отсутствием сформированной целостной системы базовых режимов движения на циркуляции и на заднем ходу.

Новая редакция Правил РМРС [3] дополнена требованиями к ледовым усилениям судов, предназначенных для эксплуатации во льдах кормой вперед, в том числе в части определения локальных ледовых нагрузок на участок кормового заострения корпуса, при этом речь идет только об адаптации соответствующих расчетных зависимостей с учетом архитектурно-конструктивных особенностей кормовой оконечности судна. Для определения глобальных ледовых нагрузок на корпус судна физически обоснованным расчетным сценарием является удар форштевнем о кромку ледяного покрова при работе судна набегами, однако действующие требования «ледовых» Правил РМРС данный расчет не предусматривают.

При определении нагрузок от воздействия льда на корпус судна согласно нормативным требованиям фактические значения параметров его формы (т. е. углов наклона ватерлинии и шпангоута) анализируются посредством дискретизации в пределах участка носового (для всех судов ледового плавания) и кормового (для судов двойного действия) заострений корпуса, причем только на уровне расчетной ледовой ватерлинии.

Окончательно к рассмотрению принимаются отдельные сечения, в которых имеет место наиболее неблагоприятная для заданного района ледового пояса комбинация указанных параметров, что приводит к завышению расчетных ледовых нагрузок в других сечениях по длине корпуса судна. Кроме того, некоторому снижению точности результатов способствует использование аппроксимирующих зависимостей для воспроизведения безразмерных функций, характеризу-

ющих влияние формы корпуса судна на величину ледовых нагрузок.

ПРЯМОЙ РАСЧЕТ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА КОРПУС СУДНА

В отношении изложенного выше применение методов прямого расчета представляет собой более универсальный и гибкий, а в отдельных случаях и единственно приемлемый подход к определению нагрузок от воздействия льда на корпус судна, несмотря на относительную трудоемкость их практической реализации.

Однако в настоящее время при использовании программных средств, отличающихся значительным быстродействием и объемом памяти, практическая реализация указанных методов, если они теоретически разработаны и верифицированы, обычно не вызывает каких-либо технических затруднений. Методы прямого расчета основываются на физических моделях механического взаимодействия корпуса судна и внешней среды, в том числе ледяного покрова, и непосредственно учитывают специфику и детали конкретного процесса взаимодействия.

Следует отметить, что современные общемировые тенденции совершенствования требований нормативной документации свидетельствуют о росте значимости и приоритета именно методов прямого расчета при решении задач, связанных с оценкой и прогнозированием любых внешних природных воздействий на объекты морской инфраструктуры [4].

В отечественной практике проектирования конструкций ледовых усилений корпуса судов ледового плавания получил широкое распространение и успешно зарекомендовал себя метод прямого расчета ледовых нагрузок, предусматривающий следующую модель механического взаимодействия двух тел – косое внецентренное неупругое соударение поступательно движущегося корпуса судна и неподвижного ледяного покрова. Указанный метод базируется на положениях классической теории удара (в предположении его мгновенности), фундаментальных законах сохранения количества движения и момента количества движения, принципе наименьшего действия, дифференциальных уравнениях движения физической системы, расчетных зависимостях гидродинамической модели удара твердого тела о лед (для задания контактного давления).

Его применение позволяет определять различные параметры динамического взаимодействия, в том числе параметры ледовой нагрузки, в любом

сечении по длине корпуса и высоте борта (с учетом особенностей геометрии судовой поверхности) в зависимости от фактических условий плавания судна во льдах – состоянии загрузки, траектории, направления и скорости движения судна во льдах, структурного типа и характеристик (геометрических, массовых, физико-механических) ледяного покрова, других факторов.

При этом заданное судно может иметь любые размерения (водоизмещение) и форму обводов корпуса. Принятый к рассмотрению метод прямого расчета в течение многих лет составляет нормативно-методологическую основу требований Правил РМРС к определению нагрузок от воздействия льда на корпус судна, тем самым в полной мере подтверждая свою адекватность и работоспособность.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЯМОГО РАСЧЕТА ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА КОРПУС СУДНА

Эффективная реализация методов прямого расчета нагрузок от воздействия льда на корпус судна требует привлечения специализированного программного обеспечения. С этой целью в середине 1980-х гг. на кафедре конструкции судов ЛКИ, специалисты которой внесли значительный вклад в создание и развитие применяемых в отечественном судостроении подходов к определению ледовых нагрузок, была разработана программа ICECALC.

В дальнейшем, на протяжении более чем двух десятилетий, программа активно использовалась для выполнения соответствующих расчетов, неоднократно совершенствовалась и обновлялась. В 2009–2013 гг. на кафедре конструкции и технической эксплуатации судов СПбГМТУ в рамках долгосрочного сотрудничества с Морским департаментом Бюро Веритас осуществлялась последовательная разработка многофункционального программного комплекса ICESSTAR, который в конечном итоге был подготовлен к процедуре лицензирования.

Одной из центральных функций, предусмотренных для реализации программным комплексом, является прямой расчет нагрузок от воздействия льда на корпус судна при различных сценариях механического взаимодействия с ледяным покровом различного структурного типа. В 2014 г. фрагмент исходного кода программного комплекса ICESSTAR, относящийся непосредственно к определению ледовых нагрузок, был частично дополнен, адаптирован для решения

широкого спектра задач практической направленности и затем преобразован в самостоятельную программу [5].

На основе результатов, полученных с использованием указанной программы, в 2014–2017 гг. на кафедре конструкции и технической эксплуатации судов СПбГМТУ по заказу отечественных проектно-конструкторских и судостроительных компаний был выполнен ряд прикладных научно-исследовательских работ. Их тематика касалась вопросов расчетного обоснования проектной категории ледовых усилений корпуса судна, параметров проектной ледовой нагрузки на корпус судна, параметров допустимых и опасных режимов движения судна во льдах.

Дальнейшим развитием программного обеспечения прямого расчета нагрузок от воздействия льда на корпус судна можно считать опубликованную в 2019 г. программу [6], которая в целом представляет собой глубоко модернизированную версию программы [5].

Применительно к указанной программе, в частности, были качественно расширены функциональные возможности, оптимизиро-

ваны внутренняя структура, способ организации входных и выходных данных и вычислительный аппарат для реализации предусмотренных расчетных процедур.

Среди существующих программных решений, позволяющих определить ледовые нагрузки на основе методов прямого расчета, следует упомянуть программу ICELOADS и ее многочисленные, в том числе экспортные, модификации [2].

Программа ICELOADS, разработанная в отделении прочности и надежности конструкций ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова (ныне – «Крыловский ГНЦ»), активно использовалась для построения систем базовых режимов движения, положенных в основу нормирования ледовой прочности конструкций корпуса судна и регламентации допустимых условий плавания судна во льдах в рамках действующих требований «ледовых» Правил РМРС.

Кроме того, специалистами «Крыловского ГНЦ» созданы следующие программные продукты – программа [7], предназначенная для прямого расчета локальных ледовых нагрузок

на корпус судна на основе прогрессивной модели динамического разрушения льда при местном смятии, и программа [8], предназначенная для прямого расчета глобальных ледовых нагрузок на корпус судна на основе модели удара форштевнем о кромку льда при работе судна набегами.

Также необходимо отметить программные модули ICELOCAL и ICEGLOBAL [9]. Программный модуль ICELOCAL, разработанный в лаборатории пропульсивных комплексов судов ЦНИИМФ, и программный модуль ICEGLOBAL, разработанный в ООО «АЦИЯ Политехник», входят в состав известного программного комплекса моделирования процессов функционирования объектов морской инфраструктуры ANCHORED STRUCTURES и используются для выполнения прямого расчета локальных и глобальных ледовых нагрузок на корпус судна соответственно.

В таблице в систематизированном виде приведены результаты сравнительного анализа функциональных возможностей программ [5] и [6], разработанных при непосредственном участии авторов.

Таблица

Функциональные возможности разработанных программ для ЭВМ

№	Функциональные возможности	Программа [5]	Программа [6]
1	Определение локальных ледовых нагрузок на корпус судна при динамическом взаимодействии с ледяным покровом	+	+
2	Набор локальных параметров динамического взаимодействия корпуса судна с ледяным покровом		
	Глубина внедрения борта судна в лед	–	+
	Высота, длина и площадь зоны контакта	+	+
	Интенсивность ледовой нагрузки	+	+
	Погонная ледовая нагрузка	+	+
	Суммарная контактная сила	+	+
	Ударный импульс	–	+
	Изменение кинетической энергии	–	+
	Скорость и ускорение внедрения борта судна в лед	–	+
Проекция векторов скорости и ускорения судна на координатные оси	+	+	
	Продолжительность соударения	–	+
3	Определение глобальных ледовых нагрузок на корпус судна при динамическом взаимодействии с ледяным покровом	–	+
4	Набор глобальных параметров динамического взаимодействия корпуса судна с ледяным покровом		
	Суммарная сила взаимодействия, вертикальная и горизонтальная ее составляющие	–	+
	Перерезывающие силы, действующие в вертикальной плоскости, по длине корпуса судна	–	+
	Изгибающие моменты, действующие в вертикальной плоскости, по длине корпуса судна	–	+
	Параметры движения судна, включая линейные и угловые перемещения, скорости и ускорения	–	+
	Продолжительность соударения	–	+

Функциональные возможности разработанных программ для ЭВМ

№	Функциональные возможности	Программа [5]	Программа [6]	
5	Определение параметров ледовой нагрузки при ударе наклонным бортом судна о кромку льда	Модель одномерного (только в вертикальном направлении) вытеснения раздробленного льда из зоны контакта	+	+
		Вычисление соответствующих числовых коэффициентов	приближенно	точно
6	Определение параметров ледовой нагрузки при ударе вертикальным бортом судна о кромку льда	Модель двумерного (в вертикальном и горизонтальном направлениях) вытеснения раздробленного льда из зоны контакта	+	+
		Вычисление соответствующих числовых коэффициентов	приближенно	точно
7	Задание давлений в зоне контакта корпуса судна с ледяным покровом	Традиционная гидродинамическая модель удара твердого тела о лед	+	+
		Модифицированная гидродинамическая модель удара твердого тела о лед	-	+
		Модель динамического разрушения льда при местном смятии	-	+
8	Представление параметров ледовой нагрузки при динамическом взаимодействии корпуса судна с ледяным покровом	Проектные (в общем случае – максимальные) значения параметров ледовой нагрузки	+	+
		Значения параметров ледовой нагрузки, соответствующие проектным значениям силовых параметров взаимодействия	-	+
		Изменения параметров ледовой нагрузки во времени в процессе удара	-	+
9	Сценарий динамического взаимодействия корпуса судна с ледяным покровом	Прямой удар бортом судна о кромку льда	+	+
		Удар бортом судна о кромку льда, сопровождающийся заклиниванием с двумя зонами контакта	-	+
		Последовательный прямой и симметричный отраженный удар бортом судна о кромку льда	-	+
		Последовательные прямой и произвольный отраженный удары бортом судна о кромку льда	+	+
10	Возможность учитывать трение между корпусом судна и ледяным покровом при их динамическом взаимодействии	-	+	
11	Возможность варьировать пиковость эпюры давлений в зоне контакта корпуса судна с ледяным покровом	-	+	
12	Определение ледовых нагрузок на корпус судна при статическом взаимодействии с ледяным покровом (т.е. при сжатиях во льдах)	Модель разрушения ледяного покрова вследствие изгиба при взаимодействии с наклонным бортом судна	+	+
		Модель «стесненного поворота» обломка льда при взаимодействии с наклонным бортом судна	приближенно	точно
		Модель разрушения ледяного покрова вследствие потери устойчивости при взаимодействии с вертикальным бортом судна	+	+
		Модель разрушения ледяного покрова вследствие пластической деформации (т.е. скалывания) его кромки при взаимодействии с вертикальным бортом судна	+	+
13	Акватория плавания судна во льдах	Арктические моря	+	+
		Неарктические замерзающие моря	+	+
14	Сезон плавания судна во льдах	Зимне-весенний период	+	+
		Летне-осенний период	+	+
15	Траектория движения судна во льдах	Прямолинейное движение	+	+
		Циркуляция/маневрирование	+	+
16	Направление движения судна во льдах	Носом вперед	+	+
		Кормой вперед	+	+
		Носом и кормой вперед	-	+
17	Возможность определить параметры ледовой нагрузки для нескольких заданных значений скорости хода судна во льдах одновременно, т.е. за один прогон программы	-	+	

Функциональные возможности разработанных программ для ЭВМ

№	Функциональные возможности	Программа [5]	Программа [6]	
18	Морфологический тип ледяного покрова	Неразрушаемый ледяной покров условно бесконечной толщины	-	+
		Разрушаемое ледяное поле конечной толщины	+	+
		Отдельная льдина/обломок ледяного поля	+	+
19	Геометрическая форма кромки льда в зоне контакта корпуса судна с ледяным покровом	Скругленная кромка льда	+	+
		Угловая кромка льда	+	+
20	Тип кристаллической структуры морского льда	Зернистый (гранулированный) лед	-	+
		Волокнистый (столбчатый) лед	-	+
		Смешанный лед	-	+
21	Массовые характеристики ледяного покрова	Ручной ввод	+	-
		Расчет в зависимости от геометрических характеристик ледяного покрова	-	+
22	Физические характеристики морского льда, включая его температуру, соленость, плотность, пористость и др.	Ручной ввод	-	+
		Расчет в зависимости от параметров ледовых и гидрометеорологических условий	-	+
23	Прочностные характеристики морского льда, включая его прочность на изгиб, прочность на сжатие, прочность на смятие, прочность на срез, динамическую прочность на раздробление и др.	Ручной ввод	+	+
		Расчет в зависимости от толщины ледяного покрова, акватории и сезона плавания судна во льдах согласно рекомендациям [2]	+	-
		Расчет в зависимости от физических характеристик морского льда, его типа кристаллической структуры, направления и скорости приложения нагрузки согласно международному стандарту [10]	-	+
24	Упругие характеристики морского льда, включая его модуль продольной упругости, коэффициент поперечной деформации и др.	Ручной ввод	+	+
		Расчет в зависимости от физических характеристик морского льда и длительности приложения нагрузки	-	+
25	Безразмерный коэффициент несущей способности ледяного покрова при изгибе	Ручной ввод из диапазона оценок упруго-хрупкой модели	+	+
		Расчет согласно рекомендациям [11]	-	+
26	Возможность учитывать динамическое нагружение кромки льда при определении безразмерного коэффициента несущей способности ледяного покрова при изгибе	-	+	
27	Учет глобального разрушения ледяного покрова при ударе корпусом судна о кромку льда	Модель разрушения ледяного покрова вследствие изгиба	+	+
		Модель разрушения ледяного покрова вследствие потери устойчивости	+	+
28	Учет плавучести погруженных обломков льда, движущихся вместе с корпусом судна («ледяной рубашки»), при определении силы, вызывающей разрушение ледяного покрова вследствие изгиба	-	+	
29	Определение линейных размеров (т.е. длины и ширины) секторов льда, выламываемых при разрушении ледяного покрова вследствие изгиба	-	+	
30	Учет погружения плавающей льдины при ударе корпусом судна о кромку льда без ее глобального разрушения	-	+	
31	Учет «неэталонных» ледовых условий	Заснеженность ледяного покрова	-	+
		Торосистость ледяного покрова	-	+
		Сплоченность ледяного покрова	-	+

С амо понятие плавучести впервые сформировано на основе работ С.О. Макарова еще в 1870–1898 гг., когда им был выполнен анализ непотопляемости кораблей того времени, которую он считал «важнейшим боевым качеством» [4]. Им были разработаны принципы контрзатопления отсеков для спрямления поврежденного корабля, первые таблицы непотопляемости, его спрямления. В дальнейшем академик А.Н. Крылов усовершенствовал таблицы непотопляемости С.О. Макарова, внедрив расчетное определение посадки и остойчивости поврежденного и спрямленного судна.

Можно еще упомянуть известных отечественных ученых нашего времени В.Г. Власова, Н.П. Муру, А.Н. Базилевского, Я.И. Войткунского, Н.Я. Мальцева, Д.В. Дорогостайского и многих других, внесших свой вклад в совершенствование оценки непотопляемости как главного элемента живучести судна, ибо утрата непотопляемости равносильна утрате его как плавучего инженерного сооружения и как эксплуатационной единицы флота.

Однако все перечисленные выше работы были выполнены для статических условий: на спокойной воде, при отсутствии ветра и волнения (статическая непотопляемость), в линейной постановке. Динамические задачи непотопляемости в условиях морского волнения появились лишь в послевоенный период в работах Н.Н. Моисеева [3–4], П.А. Шауба [5–6], Н.Я. Мальцева [7–8], что накладывает дополнительные условия на оценку решения задач непотопляемости и остойчивости поврежденного судна в штормовых условиях. При этом продолжало считаться [8], что поврежденное судно неподвижно, находится на тихой воде при отсутствии ветра, что в общем случае при наличии воды в отсеках не дает возможности оценить истинное его состояние.

Безопасность плавания как неповрежденного, так и поврежденного судна обеспечивается по-разному в связи с отсутствием единого подхода к нормированию его остойчивости. В статике уровень остойчивости обеспечивается наибольшим плечом диаграммы статической остойчивости, в динамике – соотношением моментов опрокидывающего и кренящего. Необходимо обеспечить единый подход к нормированию остойчивости неповрежденного и поврежденного судна, особенно в штормовых условиях, с переходом к оценке возможности их опрокидывания. Данная проблема может быть решена на базе нелинейной теории качки, что диктуется учетом ряда причин, основными из которых являются [5, 8] принципиально нелинейный характер диаграммы статической и динамической остойчивости судна; несимметричность колебания судна, имеющего начальный аварийный угол крена (асимметричные колебания), наличие у поврежденного судна затопленных отсеков I, II и III категорий при одинаковых внешних штормовых условиях. Данный анализ может быть выполнен только при использовании динамических методов исследования в нелинейной постановке [5, 6, 8], с учетом волнения моря и ветра.

В справочнике по теории корабля под редакцией Я.И. Войткунского рассматриваются ситуации для неповрежденных судов и кораблей. Сегодня при решении вышепоставленной проблемы необходимо учитывать современные показатели изменения штормовых условий при усилении внешних показателей: по силе ветра (м/с) в 2–3 раза; по балльности моря в 1,5–2 раза и по частоте и вероятности появления в данном районе в 1,5–2,5 раза в год [10].

Дело в том, что с 2008 по 2017 г. из 1129 судов погибло из-за потери плавучести 593 судна вследствие штормовой погоды, что превышает в несколько раз число погибших судов по другим причинам (посадка на мель – 229 ед.; пожары, взрывы – 112 ед.; столкновения – 67 ед. и т.д.) [10].

ОСНОВЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ СУДНА

О.В. Третьяков, д-р техн. наук, начальник,
П.А. Шауб, д-р техн. наук, проф., ст. науч. сотрудник,
С.В. Московкина, ст. науч. сотрудник,
НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА»,
контакт. тел. (812) 405 0706

Аналогичное положение и с малотоннажными рыболовными судами. За 21 год (1995–2016 г.) аварию потерпели 900 судов. При этом ограничения, предусмотренные Регистром, не нарушались [11].

Даже краткий анализ современных штормовых условий свидетельствует о необходимости пересмотра нормирования непотопляемости и остойчивости в комплексе как неповрежденного судна, так и поврежденного, используя разработанную и экспериментально подтвержденную модель [6] на основе метода гармонической линейаризации для приближенного решения нелинейного уравнения качки поврежденного судна, с отсеками, частично заполненными жидкостью при симметричных и несимметричных колебаниях на ходу, при волнении и ветре.

Суть гармонической линейаризации состоит в том, что она заменяет периодическое движение динамической системы движением гармоническим.

Таким образом, если имеется нелинейность вида $y = F(x)$, то периодическое решение для переменной x ищется приближенно в виде

$$x = A \sin \sigma t, \quad (1)$$

где A и σ – искомые амплитуда и частота.

При этом, хотя величина y и далека от синусоиды, но в случае периодических колебаний с основной частотой σ ее можно разложить в ряд Фурье

$$y = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\sigma t + t\beta_n), \quad (2)$$

где B_n и β_n – амплитуда и фаза n -й гармоники.

Исследования показали, что судно, тем более поврежденное, является фильтром низких частот, т.е. оно не пропускает колебания высоких частот. Кроме того, сама амплитуда B_n тем меньше, чем выше номер гармоники.

Исходя из изложенного, для отыскания решения (1) берется не полное выражение нелинейной функции (2), а только ее первая гармоника:

$$x = B_1 \sin \sigma t, \quad (3)$$

где B_1 – коэффициент Фурье:

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(A \sin \varphi) \sin \varphi d\varphi. \quad (4)$$

Тогда выражение (1) для x может быть переписано в виде

$$F(x) = qx, \quad (5)$$

где
$$q = \frac{B_1}{A} = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F(A \sin \varphi) \sin \varphi d\varphi. \quad (6)$$

Операция (5) называется гармонической линейаризацией данной нелинейности.

При этом важно отметить, что если переменная x , стоящая под знаком нелинейной функции, изменяется по закону, близкому к синусоидальному ($x = A \sin \sigma t$), то формулы изменения остальных переменных не будут играть роли. Это замечание имеет большое практическое значение, особенно для динамических систем, имеющих несколько переменных, какой является поврежденное судно.

Рассмотрим упрощенный пример бортовой качки поврежденного судна на регулярном волнении, расположенного лагом к волне в условиях влияния волнения и ветра [6].

Уравнение бортовой качки поврежденного судна с уровнем переливания «внутренней жидкости» будет иметь вид

$$\begin{aligned} & (J_c + J_{ж} + \lambda_{44}) \ddot{\theta} + 2N \dot{\theta} + D l(\theta) + \\ & + \ddot{y} \rho \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m^2 + \ddot{\theta} \rho \sum_{m=1}^{\infty} \delta_m \beta_m + \rho \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{\beta_m}{\lambda_m} - \delta_m \right) \ddot{q}_m = \end{aligned} \quad (7)$$

$$= (D h_0 - \lambda_{44} \sigma^2) \chi_0 \alpha_0 \sin \sigma t + 2 N_0 \chi_0 \sigma \alpha_0 \cos \sigma t + L_0.$$

Четвертый, пятый и шестой члены уравнения (7) представляют собой моменты сил, обусловленные движением жидкости в отсеке. Представим $\ddot{y} = \sigma^2 \chi_{\eta} r_0 \sin \sigma t = g \frac{\chi_{\eta}}{\chi_0} \alpha_{\text{эф}}$, где $\alpha_{\text{эф}} = \chi_0 \alpha_0 \sin \sigma t$.

Тогда главный возмущающий момент при переносе четвертого члена в уравнении (7) вправо может быть представлен в виде

$$L_0 = D h_0 \alpha_{\text{эф}} = D h_f \alpha_{\text{эф}}. \quad (8)$$

Пятый член $\rho \sum_{m=1}^{\infty} \delta_m \beta_m$ учитывает влияние волнового движения жидкости на момент инерции поврежденного корабля.

Шестой член – дополнительный возмущающий момент от волнового движения «внутренней» жидкости, который возникает вследствие нестационарности волнового потока жидкости. Однако его влияние на амплитуду бортовой качки невелико и в первом приближении им можно пренебречь. Из числа перечисленных моментов учитываются лишь те, которые изменяют его инерционные свойства.

Окончательно исследуемую систему представим в виде

$$J_{\text{эф}} \ddot{\theta} + 2 N_0 \dot{\theta} + D l_{(0)} = (D h_f - \lambda_{44} \sigma^2) \chi_0 \alpha_0 \sin \sigma t + 2 N_0 \sigma \alpha_0 \cos \sigma t + L_0, \quad (9)$$

где $J_{\text{эф}}$ – эффективный момент инерции, отражающий влияние влившейся жидкости при

$$J_{\text{эф}} = J_{0+} \lambda_{44} + i - i_{\text{в}} - i_{\text{св}} = J + i - i_{\text{в}} - i_{\text{св}}; \quad (10)$$

$J + i$ – момент инерции при условии, что влившаяся вода заморожена; $i_{\text{в}} = 4 M_3 b^2 \Gamma(f)$ отражает влияние влившейся жидкости при отсутствии свободной поверхности.

Данное влияние было детально исследовано Н.Г. Жуковским и характеризует как бы «проворачивание» жидкости относительно твердого тела в направлении противоположном вращению. Для прямоугольного отсека функция

$$\Gamma\left(\frac{f}{b}\right) = \frac{1}{3} - \left(\frac{2}{\pi}\right)^5 \frac{4b}{f} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \operatorname{th} \frac{2n+1}{4} \frac{\pi f}{b}. \quad (11)$$

Изменение момента инерции поврежденного судна от волнового влияния свободной поверхности

$$i_{\text{св}} = -\rho \sum_{m=1}^{\infty} \delta_m \beta_m. \quad (12)$$

Исследования показали, что данное изменение сравнительно невелико и им можно при небольших повреждениях пренебречь.

Рассмотрим уравнение (7) для определения несимметричных колебаний поврежденного корабля, отнеся все его члены к $J_{\text{эфф}}$.

Будем искать по выражению

$$\ddot{\theta} + 2\nu_0 \dot{\theta} + D l_{(0)} = H \sin(\sigma t + \Sigma) + L_0 \quad (13)$$

$$\text{с учетом} \quad \theta = \theta_0 + \theta^*, \quad (14)$$

$$\text{где} \quad \theta^* = \theta_m \sin[(\sigma t + \Sigma) + \beta]; \quad (15)$$

θ_0 – начальный угол крена поврежденного судна.

Тогда, согласно [6], можно определить гармоническую линеаризацию нелинейности l_0 и l_m .

Величины θ_0 , θ_m , σ в переходном режиме могут рассматриваться как медленно изменяющиеся в течение обычного периода, а в нашем случае величины при установившихся бортовых колебаниях θ_0 , θ_m , σ , которые входят в l_0 и l_m , а постоянные, поэтому уравнение (1) может быть разделено нелинейным образом на два, соответственно для постоянной и колебательной составляющих:

$$D l_{(0)} = \bar{L}_0;$$

$$(\rho_2 + 2\nu_0 \rho)(\theta_0 + \theta^*) - \frac{H}{\theta_m} (\cos \beta - \frac{\sin \beta}{\sigma} \rho) \theta^* + D l_{(m)} \theta^* = 0. \quad (16)$$

Как видно из первого уравнения системы (16), величина статического отклонения θ_0 от равновесного положения, относительно которого происходит колебание поврежденного судна, в нелинейной задаче зависит как от кренящего постоянного действующего момента L_0 , так и от амплитуды и частоты возмущающей силы. В свою очередь, амплитуда вынужденных колебаний θ_m зависит от величины постоянно действующего внешнего воздействия L_0 . В этом принципиальное отличие решения нелинейной задачи от линейной. В случае линейной зависимости из первого уравнения системы (16) получаем

$$D h \theta_0 = L_0, \quad \theta_0 = \frac{L_0}{D h},$$

что представляет собой обычную метацентрическую формулу остойчивости.

Таким образом, в нелинейной задаче статическое отношение от положения равновесия зависит уже от параметров качки корабля и возмущающих сил. Зависимость амплитуды и частоты колебаний величины смещения центра колебаний характерно именно для нелинейных систем, в то время как в линейных системах смещение центра колебаний не играет роли. Система (16) содержит все три неизвестных: θ_0 , θ_m и β .

Если подставить в (16) $\rho = i\sigma$, то получим синусоидальное решение

$$(-\tau^2 + 2\nu_0 i \sigma) - \frac{H}{\theta_m} (\cos \beta - \frac{\sin \beta}{\tau} i \sigma) + \bar{D} l_m = 0. \quad (17)$$

При несимметричных колебаниях необходимо совместить решение двух уравнений:

$$D l_0 = L_0;$$

$$Q_m [L - \sigma \frac{2}{2\pi} + 2\nu_0 i \sigma] + \bar{D} l_m = H i - i \beta; \quad (18)$$

где

$$l_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} l(\theta_0 + \theta_m \sin \psi) d\psi; \quad (19)$$

$$l_m = \frac{1}{\pi \theta_m} \int_0^{2\pi} l(\theta_0 + \theta_m \sin \psi) \sin \psi d\psi; \quad (20)$$

при

$$\psi = [(\sigma t + \Sigma) + \beta];$$

$$l_{(0)} = l_0 + l_m \theta^* \quad (21)$$

Использование (20) более подробно рассмотрено в [6].

ВЫВОДЫ

Задачи оценки динамической непотопляемости и качки судна, как неповрежденного, так и аварийного, должны решаться в единой динамической нелинейной системе на ходу при наличии возможного крена с учетом волнения и ветра.

Для решения этой задачи рекомендуется метод гармонической линеаризации, поскольку судно, особенно поврежденное, является низкочастотным фильтром.

Анализ полученных результатов показывает, что динамический эффект «внутренней» жидкости на поведение поврежденного судна, отсеки которого частично заполнены жидкостью, является при небольших повреждениях незначительным по сравнению со статическими и инерционными свойствами влившейся жидкости. Поэтому так важен более точный расчет статического влияния «внутренней» жидкости на параметры качки поврежденного судна, и, следовательно, замена линейных членов остойчивости на нелинейный член $D l(\theta)$, что дает возможность при накрениии учесть: влившуюся в отсеки жидкость; конфигурацию затопленного отсека; оголенные палуб и заливание подволока; обводы поврежденного корабля и угол крена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров С.О. О непотопляемости судов // Морской сборник, 1875.
2. Макаров С.О. Разбор элементов, составляющих боевую силу корабля // Морской сборник, 1890.
3. Моисеев Н.Н. Задачи о движении твердого тела, содержащего жидкие массы, имеющие свободную поверхность // Матем. сборник, т.32, ч.1. – М.: Изд-во АН СССР, 1953.
4. Моисеев Н.Н. Некоторые вопросы теории колебаний сосудов с жидкостью // Инженерный сборник, т.19, 1954.
5. Шауб П.А. Вопросы нелинейной теории качки поврежденного судна. – Доклады к XV Науч.-техн. конфер. по теории корабля и гидромеханики судна (Крыловские чтения), вып. 64. – Л.: Изд. НТО судпрома, 1965.
6. Шауб П.А. Качка поврежденного корабля. Динамическая непотопляемость. – СПб.:Моринтех, 2013.
7. Мальцев Н.Я. К вопросу о динамике корабля с жидкими грузами. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
8. Мальцев Н.Я., Дорогоостайский Д.В., Прытков Ю.К. Теория непотопляемости судна. – Л.: Судостроение, 1973.
9. Справочник по теории корабля. – В 3-х т. – Под ред. Я.И. Войткунского. – СПб.: Судостроение.
10. Мотрич В. Новый бермудский треугольник или потери Мирового флота в 2017 г. // Морской флот. – 2018. – №4.
11. Ярисов В.В. Проектное и нормативное обслуживание характеристик безопасности малотоннажных рыболовных судов. – Докторская диссертация, 2017. ■

Коэффициент Нормана занимает особое место в теории проектирования. Это инструмент, позволяющий уточнить водоизмещение корабля при изменении составляющих ее нагрузки. В курсе «Проектирование судов» Л.М. Ногида [1] коэффициент Нормана представлен в форме обобщенного (в функции главных размерений) и частного (в функции водоизмещения) коэффициентов приращения водоизмещения.

Частный коэффициент Нормана $\eta_{\text{чн}}$ используется в составе дифференциального уравнения нагрузки в функции водоизмещения:

$$\Delta D = \eta_{\text{чн}} \cdot \Delta G, \quad (1)$$

где ΔD – приращение водоизмещения; ΔG – суммарное абсолютное приращение нагрузки.

Частный коэффициент Нормана имеет вид

$$\eta_{\text{чн}} = \frac{1}{1 - \sum_i \left. \frac{dG_i(D)}{dD} \right|_{D=D_0}}, \quad (2)$$

где D_0 – исходное водоизмещение изменяемого варианта проекта; $G_i(D)$ – масса i -го раздела нагрузки, зависящего от водоизмещения.

Производная вычисляется при значении исходного водоизмещения.

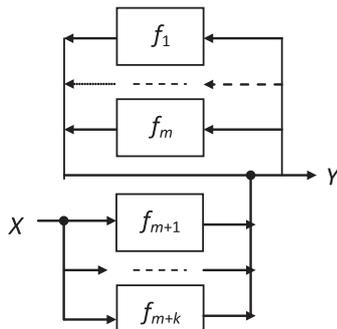


Рис. 1. Структура технической системы

Рассмотрим структуру технической системы, показанной на рис. 1. Основными типами структурных взаимодействий компонентов системы могут быть последовательное, параллельное, с обратной связью (рис. 2).

Введем два типа функций, описывающих проектируемую систему: функцию структурных отношений и

ПРОБЛЕМА КОЭФФИЦИЕНТА НОРМАНА В ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРАБЛЯ

А.И. Гайкович, д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ,
контакт. тел. 8 (921) 922 2205

функцию, описывающую элемент системы.

Определим функцию структурных отношений как сумму компонент выходных информационных векторов и (или) умножения компонент выходного вектора на число. Таким образом, множество структурных функций есть алгебраическое кольцо [2].

Функцию, описывающую элемент системы, будем рассматривать как передаточную, т.е. любую функцию, задающую выходной вектор элемента системы в зависимости от информационного вектора на входе этого элемента.

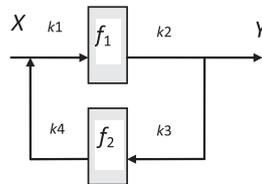
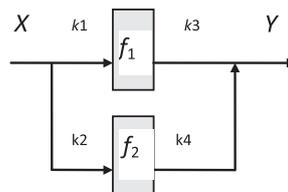
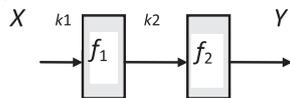


Рис. 2. Основные типы структурных взаимодействий

Для типовых агрегатов системы (см. рис. 2) введем следующие выражения для определения передаточных функций:

– для последовательного соединения $Y = k_2 f_2 [k_1 f_1 (X)]$; (3)

– для параллельного соединения $Y = k_1 k_3 f_1 (X) + k_2 k_4 f_2 (X)$; (4)

– для обратного соединения

$$Y = k_2 f_1 [k_1 X + k_3 f_2 (k_4 Y)], \quad (5)$$

где X – входной информационный вектор агрегата, f_1, f_2 – передаточные функции элементов, входящих в агрегат, k_1, \dots, k_4 – числовые коэффициенты структурных связей, имеющих смысл коэффициента усиления информационного сигнала.

Таким образом, последовательному соединению соответствует суперпозиция передаточных функций, параллельному – суммирование, а обратному – аналог рекуррентного соотношения.

Рассмотрим передаточную функцию системы, структурная схема которой показана на рис. 1.

В соответствии с принятой аксиоматикой ее передаточная функция будет иметь вид

$$Y = \sum_{i=1}^m f_i(Y) + \sum_{i=m+1}^{m+k} f_i(X). \quad (6)$$

Структура уравнения (6) аналогична структуре уравнения нагрузки судна в алгебраической форме [1]. Тогда информационный вектор X представляет собой техническое задание на проектирование судна, вектор Y – водоизмещение судна.

Функции $f_i, i = 1, \dots, m$ описывают подсистемы, зависящие от водоизмещения по массе, а при $i = m+1, \dots, m+k$ – подсистемы, не зависящие от водоизмещения.

Рассмотрим правую часть выражения (6) как передаточную функцию системы «Корабль» по массе. Предположим, что функции $f_i = a_i D, i = 1, \dots, m$ для зависимых подсистем равны:

$$f_i = a_i D, \quad i = 1, \dots, m, \quad (7)$$

где D – полное водоизмещение судна, a_i – измеритель массы i -го раздела нагрузки (доля от полного водоизмещения).

Передаточные функции f_{m+1}, \dots, f_{m+k} равны 1 для системы «Корабль», поскольку независимые массы определяются техническим заданием X . Эта суммарная масса независимых подсистем $G_i = G_{HE3}$.

При изменении входного информационного вектора на величину ΔX (что соответствует изменению некоторых элементов технического задания) получим приращение масс независимых подсистем корабля на величину ΔG_{HE3} и, следовательно, приращение водоизмещения $D = Y$.

Величина нового водоизмещения в соответствии с принятой аксиоматикой структурных отношений, выражением (6) и сделанными предположениями будет равна

$$D + \Delta D = \sum_{i=1}^m a_i \cdot (D + \Delta D) + G_{HE3} + \Delta G_{HE3} \quad (8)$$

Поскольку до изменения внешних условий между массами подсистем и водоизмещением существовал баланс (6), то путем сокращения членов в левой и правой частях получим

$$\Delta D = \sum_{i=1}^m a_i \cdot (\Delta D) + \Delta G_{HE3} \quad (9)$$

Продолжая преобразования, положим приращения настолько малыми, что они могут быть заменены дифференциалами

$$(DD)/(DG_{HE3}) = 1/(1 - \sum_{i=1}^m a_i) \quad (10)$$

В силу сделанного предположения о виде функций $f_i, i = 1, \dots, m$ [см. (7)] получим

$$(DD)/(DG_{HE3}) = 1/(1 - \sum_{i=1}^m Df_i/DD) \quad (11)$$

Известная в кибернетике формула для обратной связи имеет вид [3]

$$Y(s) = [f_n(s)/(1 \pm f_n(s) \cdot f_{OC}(s))] \cdot X(s), \quad (12)$$

где $f_n(s)$ – передаточная функция прямого звена (на рис. 2 звено f_1); f_{OC} – передаточная функция звена обратной связи (на рис. 2 звено f_2); $X(s)$ и $Y(s)$ – соответственно вход и выход агрегата.

Выражение $[f_n(s)/(1 \pm f_n(s) \cdot f_{OC}(s))]$ в (12) является коэффициентом обратной связи. Тогда правая часть выражения (11) может рассматриваться как коэффициент обратной связи. Следовательно, частный коэффициент Нормана в теории проектирования корабля является частным случаем коэффициента обратной связи по нагрузке при значении $f_n(s) = 1$.

Таким образом, частный коэффициент Нормана является функцией структуры технической системы «Корабль».

Корабль как сложная система имеет множество свойств, определяемых взаимодействием его подсистем. Очевидно, что в этом взаимодействии налицо обратные связи, и, следовательно, должны существовать коэффициенты, аналогичные коэффициенту

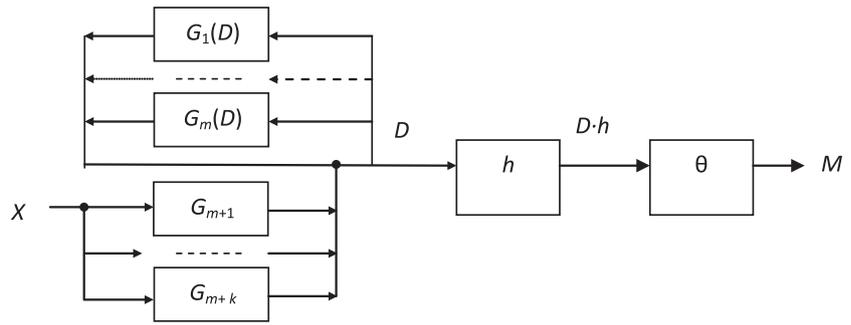


Рис. 3. Структурная схема системы «Корабль»

Нормана, но относящиеся к данным свойствам.

Рассмотрим обобщенное уравнение вместимости по объемам в виде уравнения В.Л. Поздоница [4]:

$$W_p = \sum_{i=1}^I W_{\Pi}(W_p) + \sum_{q=1}^Q W_{\Pi_{HE3}}, \quad (13)$$

где W_p – располагаемые для размещения объемы в корпусе и надстройках; $W_{\Pi}(W_p)$ – потребные объемы, связанные с размерами корабля, т.е. зависящие от располагаемых объемов; $W_{\Pi_{HE3}}$ – независимые потребные объемы, определяемые в техническом задании на проектирование. Зависимый потребный объем, связанный с конкретным разделом вместимости может определяться как доля от располагаемого объема:

$$W_{\Pi}(W_p) = w_i \cdot W_p \quad (14)$$

Уравнение (13) с учетом соотношения (14) вполне аналогично уравнению (6) и соответствует той же структуре корабля, что показана на рис. 1. Функции элементов системы определяют объемы подсистем судна.

Выполнив преобразования, аналогичные (8) – (10), получим коэффициент обратной связи для объемов судна, т.е. частный коэффициент Нормана по вместимости:

$$\eta_{W_p} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^I w_i} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^I \frac{dW(W_p)}{dW_p} \Big|_{W_p=W_{p0}}} \quad (15)$$

Поперечная остойчивость судна на малых углах крена определяется восстанавливающим моментом. Используем метацентрическую формулу для расчета этого момента:

$$M = D \cdot h, \quad (16)$$

где D – водоизмещение судна; h – начальная поперечная метацентрическая высота; θ – угол крена в радианах. Формуле (16) соответствует структурная схема системы «Корабль» (рис. 3), основанная на аксиомах (3)–(5).

Вектор X на рис. 3 является суммой масс G_j ($j = m+1, \dots, m+k$), определяемых техническим заданием. Изменение нагрузки в соответствии со структурной схемой будет влиять на остойчивость через изменение восстанавливающего момента:

$$\Delta M = \eta_{\text{чн}} \cdot h \cdot \theta \cdot \Delta X. \quad (17)$$

Коэффициент обратной связи по остойчивости (частный коэффициент Нормана по остойчивости) будет иметь вид

$$\eta_M = \eta_{\text{чн}} \cdot h \cdot \theta. \quad (18)$$

Обобщая описанные выше примеры получения коэффициентов Нормана, можно сделать вывод, что коэффициенты обратной связи, описанные аксиомой (5), могут быть получены для параметров корабля, связанных с его свойствами, если они входят в уравнение теории проектирования по обе стороны знака равенства.

Приведенные выше структуры системы «Корабль» одноуровневые. Но для увеличения степени адекватности математических моделей проектирования описание этой системы должно быть многоуровневым. Возникает проблема получения коэффициента Нормана в этом случае. Например, рассматривается корабль-носитель автономного подводного аппарата. Как изменится водоизмещение носителя при изменении массы одного из разделов нагрузки носимого аппарата?

Уравнение нагрузки носимого аппарата будет описываться соотношением

$$D_A = \sum_{i=1}^m G_i(D_A) + \sum_{i=m+1}^{m+k} G_{iA}, \quad (19)$$

где D_A – водоизмещение аппарата; $G_{iA}(D_A)$ – массы зависимых разделов нагрузки аппарата; G_{iA} – массы независимых разделов нагрузки аппарата.

Уравнение нагрузки корабля носителя:

$$D = \sum_{j=1}^n G_j(D) + \sum_{j=m+1}^{m+p} G_j \quad (20)$$

Приращение водоизмещения аппарата определяется при приращении независимых масс через его коэффициент Нормана:

$$\Delta D_A = \eta_{\text{чнA}} \cdot \Delta \left(\sum_{i=m+1}^{m+k} G_{iA} \right). \quad (21)$$

Приращение водоизмещения корабля-носителя за счет приращения водоизмещения аппарата

$$\Delta D = \eta_{\text{чн}} \cdot \eta_{\text{чнA}} \cdot \Delta \left(\sum_{i=m+1}^{m+k} G_{iA} \right). \quad (22)$$

Обобщая, можем получить выражение коэффициента Нормана по нагрузке

для корабля в целом при приращении нагрузки на q -м системном уровне:

$$\eta_{\text{чн}\Sigma} = \prod_{i=1}^q \eta_{\text{чн}i}. \quad (23)$$

Коэффициенты Нормана по свойствам корабля могут связать собой изменения параметров проекта для их корректировок в ходе проектирования.

Наличие обратных связей в сложной технической системе «Корабль» объективно. Однако величина коэффициентов этих связей определяется субъективно. Рассмотрим частный коэффициент Нормана по нагрузке в виде (2). Его величина зависит от значения производных зависимых масс по водоизмещению в знаменателе. Сумма этих производных зависят от принятых зависимостей данных масс от водоизмещения. Указанные зависимости назначаются самим проектантом, и от его выбора будет зависеть величина коэффициента Нормана.

Например, будем считать, что сумма независимых масс, включая перевозимый груз, составляет 60% полного водоизмещения. При этом зависимые массы энергетической установки и топлива составляют 10% водоизмещения.

Величина коэффициента Нормана для зависимых масс при пропорцио-

нальности их первой степени водоизмещения будет равна

$$\eta_{\text{чн}} = \frac{1}{1 - \sum_i \frac{dG_i(D)}{dD}} = \frac{1}{1 - 0,4} = 1,67. \quad (24)$$

Если массы энергетической установки и топлива определяются по адмиралтейской формуле, то они будут пропорциональны водоизмещению в степени 2/3 (т.е. пропорциональны площадям). Тогда коэффициент Нормана

$$\eta_{\text{чн}} = \frac{1}{1 - \sum_i \frac{dG_i(D)}{dD}} = \frac{1}{1 - 0,3 - (2/3) \cdot 0,1} = 1,58$$

Расхождение значений коэффициента Нормана будет тем больше, чем больше будет доля зависимых масс в водоизмещении.

Величины объективно существующих коэффициентов обратной связи полностью зависят от субъективно построенной математической модели проектируемого корабля.

Изучение коэффициентов обратных связей в структуре системы «Корабль» в теории проектирования еще до конца не закончено. Так, в работе [5] предлагается ввести в частный коэффициент Нор-

мана по нагрузке производные зависимых масс высших порядков. Возможно использование результатов исследования коэффициентов обратной связи в теории автоматического управления.

Решение проблем, связанных с коэффициентом Нормана, безусловно обогатит теорию проектирования корабля.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ногид Л.М.* Проектирование судов. – Л.: Судпромгиз, 1955. – 480 с.
2. *Мишина А.П., Проскуряков И.В.* Высшая алгебра. – М.: Наука. Физматлит, 1965. – 300 с.
3. *Емельянов С.В., Коровин С.К.* Новые типы обратной связи. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.
4. *Поздониин В.Л.* Теория проектирования судов. – Вып. 1: Определение основных элементов проектируемого судна в первом приближении. – Л.: Изд. ЛКИ, 1938. – 49 с.
5. *Раков А.И., Чапичева А.Я.* Определение водоизмещения судна на ранних стадиях проектирования с помощью коэффициента Нормана. – В сб.: Судостроение, 1972, с.43–46. ■

Программа строительства подводных сил океанского военно-морского флота на рубеже 50–60-х гг. прошлого столетия повлекла за собой развитие судов поисково-спасательного обеспечения.

Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз», а ранее Западное проектно-конструкторское бюро (ЦМКБ «Алмаз» объединилось с Западным ПКБ в 1998 г.) было головным и в настоящее время активно принимает участие в создании современных морских судов обеспечения, в том числе спасательных судов. Так были созданы спасательные суда проектов 532, 532А, 527, 527М, 527.5, 530, 537, 543, 21300. Главной задачей перечисленных судов было спасение экипажей аварийных подводных лодок (ПЛ), лежащих на грунте, и обеспечение заводских, ходовых и государственных испытаний построенных и отремонтированных судов.

Помимо указанных судов были спроектированы и другие суда системы поисково-спасательного обеспечения ВМФ: – водолазные морские суда пр. 522, пр. 535, пр. 11980; – противопожарные суда пр. 1893, пр. 1993; – противопожарный катер пр. 364; – спасательное судно ПЛ пр. 0543 с ГВК-300 (не достроено в связи с развалом СССР).

СПАСАТЕЛЬНЫЕ СУДА ВМФ

А.А. Форст, гл. конструктор, нач. сектора главных конструкторов, А.А. Шамалов, зам. гл. конструктора АО «ЦМКБ «Алмаз», контакт. тел. (812) 373 8300, 369 0082



Спасательное судно «Хибины» пр. 532

На рубеже 70–80-х гг. одновременно в составе ВМФ СССР было 23 спасательных судна (СС) (пр. 532 – 13 ед., пр. 527М – 9 ед., пр. 530 – 1 ед.), с которых можно проводить глубоководные водолазные спуски на глубину до 200 м и спасения экипажей аварийных ПЛ, лежащих на грунте, в том числе из отсеков с повышенным давлением до 6 кгс/см², до глубины 500 м.

В настоящее время существует только 3 ед.: СС «Алагез», пр. 537, СС «Игорь Белоусов», пр. 21300 – на Тихоокеанском флоте, СС «Эпрон», пр. 527.5 – на Черноморском.

Многие из перечисленных судов, построенные в начале 50-х гг. прошлого столетия, до сих пор находятся в составе ВМФ России и выполняют поисково-спасательные операции.

СПАСАТЕЛЬНОЕ СУДНО ПР. 532

В 1957 г. Средне-Невский завод сдал флоту 23 тральщика пр. 264А (главный конструктор – К.И.Чичев). Уникальный для того времени спасательный колокол был спроектирован ЦКБ МТ «Рубин» (главный конструктор – Г.И. Рывкин). Впоследствии после замены спасательного колокола СК-57 на СК-64 номер проекта был изменен на 532А. Рабочая глубина спасательного колокола увеличена с 200 м (СК-57) до 500 м (СК-64).

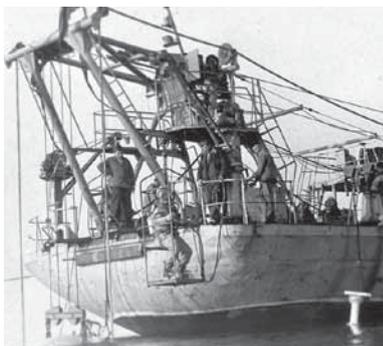
Для своего времени это было передовое современное спасательное судно (СС).

Основные характеристики судна:

длина – 78,3 м, ширина – 9,4 м, осадка – 2,6 м, водоизмещение – 880 т, скорость полного хода – 17,5 уз. Экипаж судна составлял 73 человека, из них 9 офицеров, 7 мичманов, 28 водолазов-глубоководников, остальные – члены экипажа.

Тихоокеанский флот получил СС-38, «Пулково»; Северный флот – СС-47 (впоследствии передан в школу водолазов в Севастополь), СС «Хибины», Черноморский флот – СС-50, СС «Казбек»; Балтийский флот – СС-30, СС-35, СС-40, СС-53, СС «Валдай»; Каспийская флотилия – СС-51; Школа водолазов (Севастополь) – СС «Зангезур».

Была установлена гидроакустическая станция ГАС «Тамир-11М» для поиска затонувших объектов. Использовались гидроакустические станции звукоподводной связи МГ-15 (МГ-25), «Кама» (МГ-1), станция подводного телевидения, две РЛС «Нептун» («Дон»), станция опознавания «Хром-КМ».



СПУ водолазного колокола

На судне был установлен водолазный комплекс для спусков на глубину до 200 м, водолазный колокол, две четырехотсекные барокамеры, 4 станции трехболтового водолазного снаряжения (БВС), наблюдательная камера НК-300, спасательный колокол СК-64 для спасения экипажей аварийных ПЛ с рабочей глубины 500 м. Предусматривались шланги для подачи на аварийную ПЛ, лежащую на грунте, для вентиляции отсеков и подачи воздуха



Подъем водолазного колокола

высокого давления. Использовалось снаряжение ГКС-3М.

Глубоководный водолазный спуск на судне пр. 532 был достаточно сложным мероприятием. Кормовой спуск водолазного колокола был безопасен при волнении моря до 3 баллов. После подъема на борт колокол отсоединялся от спуско-подъемного устройства (СПУ) и поворачивался на 90° в горизонтальное положение для транспортировки на тележке и стыковки с барокамерой. При этом взятое на подвес водолазное снаряжение ГКС-3М (весом около 100 кг каждое) также находилось внутри водолазного колокола. После перехода водолазов в шлюзовой отсек барокамеры необходимо было освободиться от водолазной рубахи. Для этой цели применялись пневматические разжимы ворота водолазной рубахи, но чаще водолазы обходились без использования этого устройства.

Однажды Ю.А. Гагарин, будучи в Севастополе, посетил спасательное судно пр. 532А и попросил спустить под воду в снаряжении ГКС-3М. Спасатели спустили его под воду на безопасную глубину. По воспоминаниям ветеранов, Юрий Алексеевич сказал, что легче слетать в космос, чем спуститься в этом снаряжении под воду.



Спасательное судно «Эпрон»

Впоследствии с 1983 г. в ВМФ перешли на снаряжение водолазное глубоководное СВГ-200 с аппаратом ИДА-72. Достаточным условием была установка пульта подачи газа ППГ-1 в систему газоснабжения водолазного снаряжения.

Спасательное судно пр. 532А (пр. 532А) было первым судном в России, специализирующимся на оказании помощи аварийным ПЛ. Все суда пр. 532А выведены из состава ВМФ и утилизированы.



Спасательный колокол СК-64

СПАСАТЕЛЬНОЕ СУДНО ПР. 527, ПР. 527М

Проект 527 спасательного судна «Эпрон» разработан Западным ПКБ в соответствии с ТТЗ ВМФ, утвержденным 8 июля 1953 г. Главным конструктором проекта был Н.Г. Лоцинский.

Головное судно (из серии в 9 ед.) было построено на Николаевском судостроительном заводе имени 61 Коммунара и вступило в состав ВМФ 25 октября 1959 г. СС-26 базировалось на Черноморском флоте, СС-21, СС-44, «Алтай», «Бештау» – на Северном, «Владимир Трефолов» – на Балтийском, СС-23, СС-83, «Жигули» – на Тихоокеанском.



Снаряжение водолазное глубоководное СВГ-200

Спасательное судно пр. 527 предназначено для оказания помощи аварийным кораблям и судам, ПЛ в надводном положении и лежащим на грунте, спускаемым и приводившимся летательным аппаратам, (поддержание на плаву, буксировка, снятие с мели) тушения пожаров.

По архитектурному типу оно представляет собой двухмачтовое гладкопалубное судно с седловатой верхней палубой, двухъярусной надстройкой в средней части и трехъярусной в нос от дымовой трубы, с двухвальной дизель-электрической энергетической установкой.

Корпус судна разделен водонепроницаемыми переборками на девять отсеков. В первом отсеке размещаются шкиперская кладовая, цепные ящики и сухой отсек; во втором – шпилевая, кладовая мокрой провизии и рефрижераторные камеры; в третьем отсеке – гидроакустический отсек, шахта ПОУ, кубрики личного состава; в четвертом



Нормбарический скафандр

отсеке – носовое машинное, компрессорное отделения, гиропост; в пятом отсеке – кормовое машинное и котельное отделения; в шестом отсеке – помещение лебедок, кладовая сухой провизии, декомпрессионные камеры, кубрики личного состава; в седьмом отсеке – моторное отделение; в восьмом отсеке – трюм, твиндек; в девятом отсеке – шпилевая, цепной ящик, румпельное отделение.

Спасательное судно данного проекта могло выполнять следующие задачи:

- оказывать помощь, подавать воздух высокого давления, электроэнергию, спасать личный состав;
- оказывать помощь и спасать личный состав аварийной ПЛ, лежащей на грунте, с помощью спасательного колокола (с глубины до 200 м);
- выполнять водолазные работы на глубинах до 200 м;
- участвовать в судоподъемных работах.

Проект модернизации судна пр. 527 был выполнен под руководством главного конструктора М.К. Горшкова и получил номер 527М. В связи с увеличением рабочей глубины погружения создаваемых ПЛ для натуральных испытаний ведения спасательных работ потребовалась их модернизация. Ее главной задачей была замена спасательного колокола, рассчитанного на глубину до 200 м, на новый колокол СК-64, который мог работать на глубинах до 500 м, а также установка рабочей камеры РК-680, нового рейдового оборудования и гидроакустического вооружения. Работы по подседению ходового троса СК-64 планировалось выполнять с помощью рабочей камеры РК-680.

На судне были установлены ГАС МГ-89 с дальностью действия до 2000 м, МГ-26Э с круговым обзором 10 миль, МГ-16, осуществлявшего звукоподводную связь на 10 миль, МГА-1, МГА-2, обеспечивавших звукоподводную связь с водолазами на расстояниях до 1000 м.

В результате модернизации на судне были размещены гидролокатор бокового обзора с глубиной поиска до 500 м, ГАС МГА-6 для поиска объектов на дне. В 1967 г. с его помощью был успешно осуществлен поиск затонувшей ПЛ С-80 в Баренцевом море.

В 1965 г. модернизированное судно пр. 527М вступило в состав ВМФ. На судне установлен водолазно-декомпрессионный комплекс с четырьмя двухотсечными барокамерами.

С 1983 г. использовалось водолазное снаряжение СВГ-200 вместо ГКС-3М.

На флотах суда этого проекта зарекомендовали себя надежными, работоспособными спасателями. Возможность использования судна для оказания помощи аварийному надводному кораблю (НК) в качестве спасательного

буксирного и противопожарного судна позволяла включать в спасательный отряд одно судно вместо судна-спасателя ПЛ и спасательного буксира. Ежегодные учения этих судов с ПЛ по выводу личного состава «сухим» и «мокрым» способами сформировали уверенность в эффективности всей системы поисково-спасательного обеспечения (ПСО). Базирование двух-трех судов в одном регионе позволяло выполнять ремонтные работы по поддержанию их технической готовности без снижения боеготовности системы ПСО флота в целом.

В 60-х гг. эти суда были самыми мощными и позволяли буксировать аварийные объекты водоизмещением до 15 000 т, но с ограничениями по балльности моря.

В настоящее время из построенной серии в 9 судов осталось одно – СС-26 (ныне «Эпрон»). После подготовки к продаже в Индию этого судна проекту был присвоен номер 527.5. Продажа СС-26 не состоялась.

Наряду с вышеперечисленными положительными качествами этих судов, проявленными в ходе эксплуатации, можно назвать ряд недостатков:

- ограничение по балльности моря при спуске и подъеме подводных снарядов (колоколов и камер) до 4 баллов,
- ненадежная стоянка судна на собственном рейдовом оборудовании в открытом море при тех же условиях,
- чрезвычайно трудоемкая и слабо механизированная технология спасательных работ. Например, обрыв направляющего троса СК-64 с аварийной ПЛ требовал очистки ее комингс-площадки, повторного заведения направляющего троса с помощью РК-680,
- чрезвычайная сложность удержания судна у аварийного объекта (АНК или АПЛ) при отсутствии подруливающего устройства.

Благодаря творческой инициативе начальника СПАСР ГШ ВМФ Д.Г. Шайхутдинова на СК-64 были проведены модернизационные работы. Установлены нормбарические скафандры, гидролокатор бокового обзора, РТПА «Пантера Плюс», НТПА «Тайгер», гидравлический кран «Palfinger» грузоподъемностью 10 т, новые вспомогательные дизель-генераторы, инсенатор, современная система вентиляции.

Работы выполняло АО «ССЗ «Вымпел» с участием АО «ЦМКБ «Алмаз».

СПАСАТЕЛЬНОЕ СУДОПОДЪЕМНОЕ СУДНО «КАРПАТЫ» ПР. 530

11 сентября 1963 г. на Николаевском судостроительном заводе имени 61 коммунара было заложено спасательное судоподъемное судно «Карпаты», спроектированное Западным



Спасательное судоподъемное судно «Карпаты»

ПКБ. Проект судна получил номер 530 и построено под зав. № 1901. Главный конструктор судна – А.Г. Минаев.

19 мая 1967 г. на судне торжественно в присутствии представителей судостроительного завода был поднят Военно-морской флаг.

Основные характеристики судна:

длина судна – 130 м, ширина – 18,6 м, осадка – 5,5 м, водоизмещение – 5770 т, скорость полного хода – 16,5 уз, экономического хода – 12 уз, автономность – 45 суток, дальность плавания – 8800 миль, экипаж – 190 человек. Главная энергетическая установка – дизель-электрическая: дизель-генераторы (ДГ) 4×1800 кВт. Мореходность – неограниченная. Суммарная грузоподъемность судна – 800 т.

На судне были установлены два водолазных комплекса, один из них – в средней части судна на правом борту, второй – в корме. Каждый водолазный комплекс имеет в своем составе водолазный колокол (ВК) с СПУ, шестиотсечную в средней части и семиотсечную в корме декомпрессионные камеры с приемно-выходными отсеками и устройствами стыковки с ВК.

На левом борту судна был установлен спасательный колокол СК-64

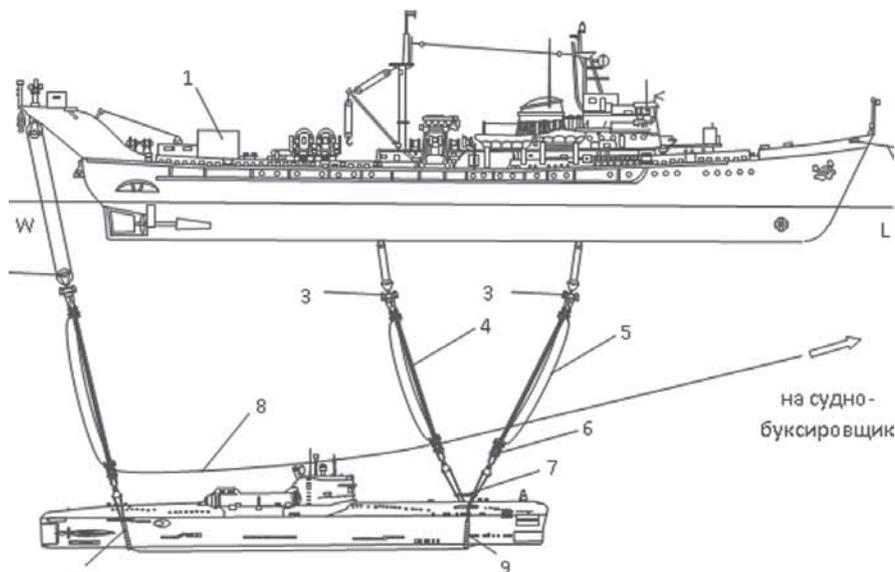
со своим СПУ. Для приема спасенных подводников из спасательного колокола предусматривалась трехотсечная барокамера.

Назначение судна:

- подъем затонувших объектов массой до 800 т с глубин до 300 м;
- спасение личного состава из аварийных ПЛ «сухим способом» с помощью СК-64 до глубин 500 м;
- допоиск затонувших объектов с помощью наблюдательной камеры НК-300 до глубин 300 м;
- подводно-технические работы с помощью РК-680 до глубин 500 м;
- водолазные работы на затонувшем объекте, спасение личного состава из ПЛ «мокрым способом» с помощью водолазного колокола ВК-527 до глубин 200 м;
- оказание помощи НК, аварийной ПЛ в надводном положении, спускаемым космическим аппаратам.

Для проведения судоподъемных работ на судне предусмотрены гиниевые устройства общей грузоподъемностью 800 т.

В 1969 г. спасательное судоподъемное судно «Карпаты» осуществило с помощью специального захватного устрой-



Подъем ракетной подводной лодки С-80 с глубины 200 м

тва подъем ракетной ПЛ С-8 с глубины 200 м севернее о. Кильдин, Баренцево море. Поднятая лодка была переведена в бухту Завалишина на глубину 51 м, где продолжилась судоподъемная операция.

В 2001 г. было принято решение использовать спасательное судно «Карпаты» в работах по подъему АПЛ «Курск». С целью подготовки судно было поставлено в ремонт на Кронштадтский морской завод, но не был завершен. В дальнейшем судно было выведено из состава ВМФ.

СПАСАТЕЛЬНОЕ СУДНО ПР. 537

Постройка спасательного судна пр. 537 стало прорывным событием. Главный конструктор – М.К. Горшков. Проект разработан в Западном ПКБ по тактико-техническому заданию ВМФ, подписанному ГК ВМФ в 1966 г.

Судно предназначено для оказания помощи ПЛ, лежащим на грунте и в надводном положении, аварийным кораблям и судам, спускаемым и приводившимся летательным аппаратам.

По архитектурному типу – это двухмачтовое гладкопалубное судно с полубаком, с двух-, трехъярусной надстройкой на большей длине корпуса, дымовой трубой в районе мидель-шпангоута, кормовой вертолетной площадкой и ангаром для хранения вертолета, с двухвальной дизель-электрической энергетической установкой.

Корпус судна разделен водонепроницаемыми переборками на 12 отсеков.

Основные характеристики судна:

длина – 173,8 м, ширина – 25,1 м, осадка – 7,5 м, водоизмещение – 14 800 т, скорость полного хода – 20,4 уз, экономического хода – 12 уз, дальность плавания – 15 000 миль, автономность – 60 суток. Главная энергоустановка: ДГ 2×12 650 л.с. с гребными электродвигателями по 10 000 кВт.

СС пр. 537 может выполнять следующие задачи:

- оказывать помощь аварийным кораблям, судам и ПЛ в надводном положении, приводившимся летательным аппаратам (поддержание на плаву, буксировка, снятие с мели, тушение пожаров, спасение личного состава, подача ВВД, электроэнергии);
- оказывать помощь и спасать личный состав аварийной ПЛ на грунте с помощью спасательного глубоководного аппарата;
- обследовать объекты на грунте с помощью спасательных и рабочих глубоководных аппаратов;
- выполнять водолазные работы на глубинах до 200 м методом кратковременных погружений и до 250 м методом длительного пребывания;
- выполнять подводно-технические работы с помощью автономного ра-



Спасательное судно «Алагез»

бочего снаряда (АРС) и телеуправляемого комплекса МТК-200.

Таким образом, судно могло выполнить любую задачу поисково-спасательного обеспечения ВМФ. На судне предусматривалось разместить: два спасательных глубоководных аппарата (СГА) с рабочей глубиной погружения 500 м, один АРС на глубину 500 м и один («Поиск») на глубину 2000 м (с последующей заменой на подводный аппарат (ПА) с глубиной погружения 4000 м). Для эффективной эксплуатации судна необходимо было создать ряд новых образцов техники, обеспечивающих спуск и подъем ПА в условиях волнения 5–6 баллов, систему динамического позиционирования в районе работ на глубинах до 2000 м, водолазный комплекс длительного пребывания.

Спасательное судно пр. 537 было оснащено всеми современными средствами оказания помощи аварийным кораблям, судам и ПЛ и спасения их личного состава. Главным «оружием спасения» подводников являются спасательные глубоководные аппараты и АРС. Для спасения подводников и проведения подводных работ в эллинге судна установлены два СГА с глубиной погружения до 500 м, АРС на глубину 500 м и глубоководный обитаемый аппарат «Поиск» с рабочей глубиной 2000 м.

Стоянка судна в районе работ при использовании СГА обеспечивалась с помо-

щью системы автоматического удержания (САУ) или системы глубоководного якорного устройства (ГЯУ) на глубоководном якорю на глубинах до 1000 м.

СГА доставляются транспортировочными тележками на спуско-подъемную позицию правого или левого бортов. Спуско-подъемное устройство (СПУ) судна в виде выдвигаемых мостов грузоподъемностью по 100 т обеспечивают спуск и подъем СГА при волнении моря до 5 баллов. При необходимости проведения лечебной рекомпрессии спасенных подводников СГА устанавливаются после подъема на борт судна на комингс приемно-выходного отсека поточно-декомпрессионной камеры правого или левого борта, рассчитанных на давление 1,0 МПа. На правом борту установлены две трехотсечные поточно-декомпрессионные камеры (ПДК), на левом — одна трехотсечная ПДК, состыкованная с ГВК. Комплекс камер рассчитан на размещение 80 спасенных подводников.

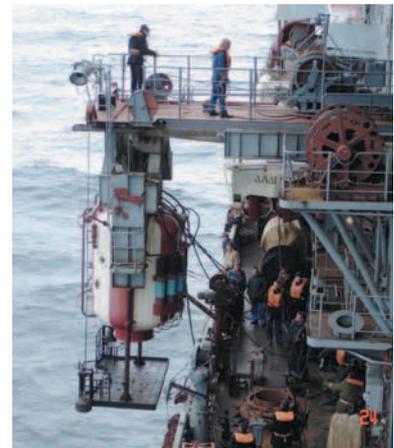
ГВК судна сохранил черты, свойственные облику комплексов предшествующих поколений (большое количество коммуникаций, связывающих колокол с судном, открытое расположение колокола на борту судна, отсутствие современной системы обогрева водолазов) и предназначен для выполнения работ методом кратковременных погружений, однако по запасам газов, оборудованию



Спасательное судно «Эльбрус»

декомпрессионных камер, системам управления и контроля он рассчитан на работу акванавтов по методу насыщенных погружений на глубинах до 250 м.

На судне «Эльбрус» был установлен водолазно-наблюдательный колокол ВНК-300, в верхней сферической части которого расположен изолированный от водолазов отсек с шестью иллюминаторами. По идее, заложенной в проект, предполагалось, что в нем при атмосферном давлении будет находиться оператор, который может видеть работающих под водой водолазов, контролировать обстановку и руководить их действиями. На практике оказалось, что зона видимости оператора-наблюдателя очень ограничена, ближняя зона наблюдения за входом-выходом водолазов из ВНК-300 не просматривается. Связь наблюдателя с водолазами может осуществляться только через командира спусков, находящегося на судне, что усложняет координацию их действий. В связи с этим по результатам испытаний и опытной эксплуатации ГВК было принято решение на последующих судах серии заменить ВНК-300 на колокол новой конструкции.



СПУ водолазного колокола

На втором судне пр. 537 «Алагез», принятом в состав флота в 1989 г., установлен водолазный колокол ВНК-300. Спуск и подъем его на судне пр.537 предусмотрен с левого борта с помощью СПУ, работающего на волнении до 3–4 баллов. СПУ обеспечивает спуск колокола на глубину до 300 м.

Высокое расположение СПУ водолазного колокола создает «маятник» 13-метровой высоты до поверхности воды, что негативно сказывается на безопасности проведения водолазных спусков в эпизоде перехода водолазов с беседки на платформу колокола. При существенном волнении моря водолазы заходили в водолазный колокол на борту и выходили из него на платформу только после погружения колокола в воду.

Для декомпрессии водолазов предусмотрен комплекс барокамер на ра-

бочее давление 2,5 МПа, состоящий из барокамеры диаметром 2000 мм, двухотсечной барокамеры диаметром 2200 мм (на судне «Эльбрус» барокамеры одноотсечные) и гидротанка, предназначенного для проверки снаряжения на герметичность и проведения имитационных погружений с целью поддержания постоянной физиологической натренированности водолазов к водолазным работам в соответствии с нормами готовности.



Спасательный глубоководный аппарат пр. 1855 «Приз» в эллинге судна

При неблагоприятных гидрометеорологических условиях работа водолазов до 160 м проводилась в гидротанке. Оплата за водолазный спуск при этом составляла 50%.

Водолазный комплекс судна пр. 537 позволяет проводить кратковременные погружения в снаряжении СВГ-200 на глубины до 200 м, а на судне «Алагез», благодаря замене колокола, водолазного снаряжения СВГ-200 на СВГ-200В, установке системы водообогрева и приборов непрерывного газового анализа, обеспечивается проведение водолазных спусков по методу насыщенных погружений.

Головное судно «Эльбрус» вступило в состав ВМФ 18 января 1981 г. Сложность вооружения и технических средств судна, его огромные размеры и недостаточное финансирование привели к постоянно накапливающимся и многочисленным неисправностям.

В настоящее время в составе флота имеется второе судно из серии судов данного проекта – СС «Алагез». Принципиально новым было использование на нем автономных подводных аппаратов вместо спасательного колокола, а также поисково-спасательного вертолета постоянного базирования.

Наличие на судне значительного количества специальных технических средств снизило эффективность использования каждого из них. Существенные недостатки судна заключались в его больших размерах и слабой управляемости на малом ходу. Обладая большой парусностью, судно не могло свободно маневрировать в узкости или акватории порта. При оказании помощи кораблям и судам малого и среднего водоизмещения создавалась опасность его навала с серьезными последствиями для их корпуса.

В ходе эксплуатации было выявлено, что якорная система позиционирования судна над местом работ не обеспечивает заданные параметры перемещения над местом водолазных работ, а водолазный комплекс длительного пребывания – длительное удержание заданных параметров дыхательной газовой среды.

Судно «Эльбрус» систематически привлекалось к проведению учений с ТАКР пр. 1143, которое включало прохождение вдоль ТАКР с имитацией тушения пожара на верхней палубе и его буксировку. Оказалось, что судно не могло выйти на режим буксировки и не справлялось с буксировкой ТАКР.

Спасательное судно «Эльбрус» выведено из состава ВМФ 10.06.1997 г. в связи с тем, что после развала СССР ремонт на заводе имени 61 коммунара не был завершен. Спасательное судно «Алагез» проходит службу в составе Тихоокеанского флота на Камчатке. В настоящее время руководство ВМФ рассматривает варианты его модернизации. Обсуждается возможность установки современной системы динамического позиционирования, создания корабельного пункта управления (КПУ), модернизации глубоководного водолазного комплекса, использования подводной гидравлической станции с набором инструмента и СГА пр. 18270 (пр.18271) и др..

СПАСАТЕЛЬНОЕ СУДНО ПР. 0543

С учетом опыта эксплуатации спасательных судов пр. 527М и пр. 537 в 80-х гг. прошлого столетия было спроектировано и начато строительство на заводе имени 61 коммунара спасательное судно ПЛ пр. 0543 «Гиндукуш». Главный конструктор – С.В. Чежин, впоследствии – Г.П. Курилко.

Основные характеристики судна: длина – 128 м, ширина – 18,6 м, осадка – 5,1 м, водоизмещение – 7000 т, скорость полного хода – 15 уз, дальность плавания – 3000 миль (при скорости 10 узлов), главная энергоустановка: ДГ 2×4500 л.с.



Спасательное судно «Игорь Белоусов»

На судне планировалось установить спасательный глубоководный аппарат «Бестер» пр. 18270, глубоководный водолазный комплекс ГВК-300 с для проведения глубоководных водолазных спусков методом насыщенных погружений, буксирную лебедку 60/30 т, вертолет.

Разработка технического проекта судна закончилась в 1986 г., 26 января 1988 г. состоялась его закладка. Однако в связи с развалом СССР головное судно было продано на металлолом. Готовность составляла 57%.

СПАСАТЕЛЬНОЕ СУДНО ПР. 21300

По результатам катастрофы с АПЛ «Курск» было принято решение о срочном создании серии спасательных судов ПЛ, оснащенных оборудованием, обеспечивающим надежное и эффективное выполнение спасательных работ. В 2000 г. ВМФ подготовило ТТЗ, АО «ЦМКБ «Алмаз» разработало проект спасательного судна пр. 21300 с ГВК до 450 м и спасательным глубоководным аппаратом – первого судна такого класса в современной России, превосходящим по спасательным возможностям зарубежные суда. Главный конструктор – А.А. Форст. Принято в состав в ВМФ 25.12.2015 г.

Аналогичные спасательные суда, которые строились в СССР и стоящие на вооружении ВМФ («Эпрон» пр. 527.5, и «Алагез» пр. 537), морально и технически устарели и не способны в полной мере выполнять необходимые задачи.

Основные характеристики судна пр.21300: длина – 105,0 м, ширина – 17,2 м, высота борта – 1,6 м, водоизмещение – 5800 т, скорость полного хода – 15 уз, экономического хода – 12 уз, автономность – 30 сут, дальность плавания – 3000 миль, мощность винторулевых колонок – 2×3260 л.с., экипаж – 97 человек.

Спасательные суда этого проекта остро необходимы для оказания помощи аварийным ПЛ (в надводном и подводном положениях) и НК, получившим

боевые или аварийные повреждения, спускаемым космическим аппаратам.

На спасательных судах нового проекта впервые установлен двигатель-но-рулевой комплекс с системой динамического позиционирования (СДП), которая позволяет обеспечить высокоточное удержание судна в заданном положении над АПЛ с использованием системы ГЛОНАСС и полноценно использовать специальные технические средства для проведения обследовательских и аварийно-спасательных работ при неблагоприятных погодных условиях и морском волнении до 5 баллов.

В РФ проведен и внедрен на судне пр.21300 ряд инновационных разработок, в том числе по совершенствованию технологии глубоководных водолазных погружений до 450 м, а также по комплексной системе управления спасательным судном (КСУ СС), которые позволят значительно повысить эффективность поисково-спасательных работ.

В НИИ ВУНЦ ВМФ (ВМА) (ранее – 40 ГНИИ МО РФ) были проведены научные исследования по разработке методики проведения глубоководных водолазных работ методом насыщенных погружений на глубинах до 500 м. Результаты позволили реализовать новейшую методику проведения глубоководных водолазных спусков подобным методом в морских условиях. В 2017 г. покорена глубина 317 м, в 2018 г. выполнен глубоководный водолазный спуск таким методом погружений на глубину 416 м.

Применяемый на существующих спасательных судах («Эпрон», «Алагеэ») метод кратковременных погружений ограниченно используется во всем мире. Судно пр. 21300 значительно повысило возможности системы поисково-спасательного обеспечения ВМФ России по оказанию помощи аварийным ПЛ, кораблям и судам и позволяет решать следующие задачи:

1. Спасение личного состава с использованием СГА «Бестер» (проектант – ЦКБ «Лазурит», главный конструктор – В.А.Кудряков) с аварийной ПЛ, лежащей на грунте, в том числе из отсеков с повышенным давлением до 6 атм, может осуществляться с глубин до 700 м.

На данном аппарате размещено принципиально новое радиоэлектронное вооружение, новые гидроакустические станции, причем гидролокатор обеспечивает освещение обстановки в нижней и верхней полусферах, совершенный навигационный комплекс, позволяющий автоматически решать задачи. Телевидение позволяет командиру аппарата получать визуальную картину обстановки сразу от нескольких телекамер. На аппарате установлена новая сис-



Спасательный глубоководный аппарат пр.18271 «Бестер»

тема жизнеобеспечения, которая надежно работает при повышенном давлении в спасательном отсеке, а также защищает спасаемых от вредных примесей, которые могут проникнуть в атмосферу аппарата из отсека аварийной ПЛ.

2. Выполнение водолазных работ с использованием ГВК-450:

- проведение глубоководных водолазных спусков для аварийно-спасательных и подводно-технических работ на глубинах до 450 м 12 водолазами по 3 человека в группе;
- обеспечение водолазами самостоятельного выхода подводников из аварийной ПЛ;
- обеспечение спасения подводников из аварийной ПЛ путем перевода их водолазами в водолазный колокол (спасение мокрым способом);
- передачи водолазами в аварийную ПЛ средств спасения и поддержания жизнедеятельности подводников;
- проведение водолазных подводно-технических работ на шельфе;
- проведение декомпрессии и лечебной рекомпрессии до 60 спасенных подводников.



Спускоподъемное устройство и шахта водолазного колокола

Для создания ГВК-450 использовано следующее уникальное оборудование: комплекс приборов газового контроля; система управления техническими средствами ГВК; погружная гидравлическая станция с набором инструментов; установка регенерации гелия; станция глубоководной связи с водолазами и

многое другое; оборудование для сварки и резки металла под водой.

3. Поддержание жизнедеятельности экипажа аварийной ПЛ, лежащей на грунте, с использованием комплекса спасательных средств, обеспечивающих жизнедеятельность личного состава в отсеках аварийной ПЛ на грунте:



Спасательное судно «Игорь Белоусов» в доке после трех лет эксплуатации

- система вентиляции отсеков аварийной ПЛ,
- система пополнения запасов ВВД аварийной ПЛ. На момент строительства судна в России отсутствовало производство необходимых рукавов, поэтому были закуплены импортные фирмы Parker. В настоящее время российское производство рукавов налажено.
- передача пеналов на аварийную ПЛ со средствами поддержания жизнедеятельности.

4. Поиск и спасение личного состава, плавающего на воде, покинувшего аварийную ПЛ во всплывающих спасательных камерах (КСВ) и в спасательном снаряжении подводника.

5. Обследование объектов на глубинах до 1000 метров с помощью рабочего телеуправляемого подводного аппарата «Пантера+», нормобарических скафандров и обитаемых подводных аппаратов «Бестер» и АРС-600.



Рабочий телеуправляемый подводный аппарат «Пантера+»

В отличие от предыдущих проектов спасательных судов (проектов 532, 527М, 530, 537) для обмена информацией и взаимодействия со СГА по гидроакустическому каналу связи, обнаружения и пеленгования сигналов аварийных гидроакустических сигнализаторов (АГС), аварийно-спасательных комп-

лексов (АСК) и донных маяков-ответчиков (ДМО) на заказе применена ГАС-СВП «Структура-СВ-Н-750».

Поиск и спасение спускаемых космических аппаратов.



Для обеспечения многолучевой съемки морского дна на глубинах до 1000 м, гидролокационного бокового обзора морского дна и допоиска объектов, получения трехмерного изображения морского дна и расположенных на нем объектов установлен комплекс многолучевых эхолотов КМЛЭ-21300.

Для поиска различных объектов на дне и в толще воды, гидроакустической съемки дна, классификации подводных объектов, обследования гидротехнических сооружений, трубопроводов на заказе устанавливается гидролокатор бокового обзора (ГБО) EdgeTech 4200-MP.

Для работы гидроакустических средств применен измеритель профиля скорости звука в воде (ИПСЗ) SVP-25.

Установка указанного оборудования значительно повышает эффективность поиска и обнаружения затопленных объектов и может быть применено в интересах Министерства обороны, других министерств и ведомств.

На судне имеются два телескопических электрогидравлических крана типа GN 10/15 грузоподъемностью 10 тс (грузоподъемность 5 тс с глубин до 450 м) с вылетом стрелы за борт не менее 15 м, расположенных побортно, с возможностью работы на волнении моря до 4 баллов.



Спуск водолазов в беседке в снаряжении СВУ-5-1

Судно оборудовано системами и устройствами, обеспечивающими высокий уровень обитаемости личного состава в количестве ок. 100 человек в течение длительного (до 40 сут.) пребывания судна в любой акватории Мирового океана. Предусмотрена возможность приема и оказания первичной медицинской помощи 120 спасенным.

Новейшая дизель-электрическая установка судна обеспечивает надежное и бесперебойное снабжение всех механизмов и систем при выполнении возложенных на судно задач.



Эпизодический прием вертолета Ка-27

Для решения оперативных задач предусмотрен эпизодический прием вертолета (без постоянного базирования).

С момента утверждения ТТЗ на судно в ноябре 2000 г. до сдачи судна ВМФ 25.12.2015 г. прошло более 16 лет. Причины срыва сроков были разные (в основном из-за нерегулярного финансирования) и не всегда оправданны.



Пост управления глубоководными водолазными спусками

Судно состояло из пяти строительных блоков. Были спроектированы 1-й, 2-й, 3-й и 5-й блоки. Проектирование 4-го блока задерживалось в связи с задержкой создания ГВК-450. Проектирование велось ЦКБ «Лазурит» (Нижний Новгород). Работа по созданию отечественного глубоководного водолазного комплекса не была завершена.

АО «Тетис Про» поставило ГВК в полном объеме в соответствии с обязательствами, что позволило провести глубоководные водолазные спуски методом насыщенных погружений на глубину 416 м, как и требовало ТЗ, и стало рекордом в рамках Министерства обороны. На судне был установлен ГВК фирмы Divex, Шотландия.



Водолазный колокол

На головном судне «Игорь Белоусов» пр. 21300 реализована новая модель оказания помощи аварийной ПЛ, лежащей на грунте, разработанная специалистами ВМФ:

- судно удерживалось в точке над аварийной ПЛ системой динамического позиционирования,
- допоиск аварийной ПЛ осуществлялся гидролокатором бокового обзора (ГБО),
- водолазные спуски проводились методом насыщенных погружений с возможностью работы каждой смены водолазов до 6 часов,

Использовалась ПГС-500 (подводная гидравлическая станция) с набором различного инструмента, пригодного для работы на предельных глубинах. Сигналы от видеокamera, размещенных



Подводная гидравлическая станция ПГС-500

на водолазных шлемах, водолазном колоколе, рабочем телеуправляемом подводном аппарате, транслировались на мониторы и давали исчерпывающую информацию о подводной обстановке. На существующих ныне спасательных судах «Алагез» пр. 537 и пр. 532А руководство подводными работами выполняется «на ощупь» и по докладом водолазов.

СЕРИЙНОЕ СУДНО ПР. 21300

АО «ЦМКБ «Алмаз» в инициативном порядке доработало спасательное судно пр. 21300 на основе опыта эксплуатации и результатов государственных испытаний. Готов облик серийного спасательного судна этого проекта, на котором РТПА с собственным СПУ размещен в эллинге, увеличена общая длина помещения эллинга на 4 шп. и его высота, оптимизированы размещение помещений и оборудования ГВК и кормовая оконечность судна, якорное устройство скрыто под палубой. Кроме того, улучшены эксплуатационные качества креновой системы за счет введения дополнительной цистерны, предусмотрены якорные ниши, якорные клюзы подняты выше над ВЛ, увеличена надстройка на один ярус для улучшения обитаемости, стартовый командный комплекс (СКП) размещен на уровне взлетно-посадочной площадки, предусмотрено днищевое закрытия шахты водолазного колокола. В корме установлено универсальное кормовое СПУ, а на левом борту размещен кран-манипулятор, в том числе для обеспечения работ с оборудованием на открытых частях юта и подъемных операций спускаемых (космических) аппаратов с поверхности воды. Улучшен обзор из ГКП-ХКП, также оптимизировано размещение оборудования в посту.

Существенно повышены условия обитаемости, предусмотрены современная система вентиляции и кондиционирования и автоматическая система контроля посадки. Значительно увеличены запасы пресной воды, продовольствия, что позволило увеличить автономность судна до 60 сут., увеличена дальность плавания (по запасам топлива).

После введения в эксплуатацию ГВК-450 АО «Тетис Про» предложило создать отечественный ГВК, водолазное снаряжение подводный гидравлический инструмент и т.д. Предложения по дооборудованию серийного пр. 21300 представлены главному командованию ВМФ и одобрены, однако строительство серии спасательных судов данного проекта пока не началось. Судно «Игорь Белоусов» сдано флоту более четырех лет назад.

Создание судов подобного класса могло бы стать прорывным событием в мировой практике оказания помощи ПЛ, терпящим бедствие, и спасения их экипажей.

Представляется целесообразным сохранить и развить опыт впервые реализованной на головном судне пр. 21300 отечественной методики проведения глубоководных водолазных спусков и



Серийное судно пр. 21300

усовершенствованной модели оказания помощи аварийной ПЛ, лежащей на грунте.

ОКЕАНСКИЙ СПАСАТЕЛЬНЫЙ БУКСИР ПР. 20185

В ВМФ РФ находятся в эксплуатации океанские буксирные спасательные суда пр. 5757. Опыт эксплуатации подтвердил их необходимость для ВМФ, особенно на Северном и Тихоокеанских флотах, однако они нуждаются в замене на новые.



Океанский спасательный буксир пр. 20185

Океанский спасательный буксир пр. 20185 может быть использован как многофункциональное спасательное буксирное судно дальней морской зоны.

В соответствии с требованиями ВМФ ЦМКБ «Алмаз» в инициативном порядке разработало облик такого многофункционального спасательного буксирного судна.

Основные характеристики судна: длина наибольшая – 97,1 м, ширина – 17,8 м, скорость хода – 14 уз, мореход-

ность – неограниченная, автономность – 60 сут, ледовый класс судна – Arc5 (Arc7).

Судно эпизодически может принимать вертолет. Планируется на судне установить специальное оборудование: автоматическую двухбарабанную лебедку с тяговым усилием 150 т на нижнем барабане и 60 т на верхнем, вспомогательную лебедку 10 т, буксирный битенг на усилие 400 т, средства поиска затонувших объектов до 3000 м, водолазную станцию до 60 м, спасательный

колокол шахтного типа, барокомплекс для декомпрессии 60 спасенных подводников, два гидравлических крана грузоподъемностью 30 т, рабочий телеуправляемый подводный аппарат, кран-манипулятор 5 т.

ТТХ предлагаемого к разработке судна существенно превышают ТТХ существующих в ВМФ спасательных буксирных судов. Облик судна представлен главному командованию ВМФ и получил предварительное одобрение. ■

В последнее время в военной, военно-морской и политической науке все чаще для обозначения возможности быстро и эффективно развертывать и поддерживать силы в нескольких рассредоточенных местах используется термин «мощность проекции» или «проекция силы». В качестве такой силы рассматривается в первую очередь морская пехота, которую будут по-прежнему применять в качестве целевых формирований, действующих с десантных кораблей для выполнения различных задач в ходе боевых операций, размещать на борту кораблей и катеров для выполнения свойственных ей задач в ходе обеспечения безопасности на море.

Основным элементом стратегии «проекция сил» по-прежнему являются универсальные десантные корабли (УДК). Учитывая особую значимость УДК в решении современных глобальных задач геополитики обратимся более подробно к опыту их постройки.

У США как главной морской державы на сегодня самый большой флот УДК, равно как и опыт их проектирования, строительства и эксплуатации. До настоящего времени в ВМС США применяли три типа УДК.

Первыми такими специализированными кораблями стали УДК типа «Tarawa», построенные США в 1971–1978 гг.: турбинная установка мощностью 70 000 л.с.; скорость – до 24 уз; дальность хода – 10 000 мор. миль; экипаж – 1067 человек; десант – 1903 человека морской пехоты. В соответствии со штатным составом авиационной группы предусмотрено наличие на борту кораблей типа «Тарава» 16 вертолетов CH-46D Sea King, 6 вертолетов CH-53D Sea Stallion и 4 вертолетов UH-1N. Максимально возможное число летательных аппаратов на борту – 43 ед.

Универсальные десантные корабли типа «Tarawa» были разработаны по заказу командования ВМС США. Аванпроекты кораблей нового типа были предложены на рассмотрение командования в 1967 г. тремя судостроительными компаниями: General Dynamics Corp., Litton Industries, Inc. и Newport News Shipbuilding & Dry Dock Co. (филиал корпорации Tenneco Corp.). Тактико-техническое задание предусматривало проектирование корабля, способного доставить к месту проведения морской десантной операции батальонную десантную группу морской пехоты с десантно-высадочными средствами на борту и летательными аппаратами для обеспечения воздушного компонента операции. В мае 1968 г. было объявлено о победе проекта, предложенного Litton Industries. В эскизный проект были внесены некоторые изменения и 1 мая 1969 г. был заключен контракт с Litton Industries на построй-

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ДЕСАНТНЫХ КОРАБЛЕЙ

ЧАСТЬ 1

В.Н. Половинкин, д-р техн. наук., проф., заслуженный деятель науки, научный руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
А.Б. Фомичев, д-р техн. наук, доцент, зам. ген. директора – ген. конструктора
Филиала «НТЦ», концерн «Моринформсистема-«Агат»,
контакт. тел. (812) 748 6427

ку серии из пяти кораблей [3]. Строительство их велось в 1971–1978 гг.

Следующими в составе американского флота стали УДК типа «Wasp». Проект был разработан на базе основных архитектурно-технических решений, примененных на УДК типа «Tarawa». Корпус кораблей сделан из стали и собран из четырех модулей или блоков, из которых корабль формировался уже на стапеле.

Эти корабли строились с 1987 по 2009 г. Всего было построено 8 кораблей данного типа. Характеристики УДК «Wasp»: полное водоизмещение – 40 532 т; двигатели – 2 паровые и 2 газовые турбины мощностью 70 000 л.с.; максимальная скорость – 24 уз; дальность хода – 9500 мор. миль; экипаж – 1147 человек и 1893 человека морской пехоты; авиакрыло – 30–32 вертолета CH-46, 6–8 самолетов AV-8B или до 46 вертолетов CH-46 или 20 самолетов AV-8B. Корабли этого типа были созданы специально для транспортировки морем и высадки на необорудованное побережье полностью укомплектованного экспедиционного батальона морской пехоты (около 1900 человек), управления силами десанта и оказания ему авиационной поддержки силами эскадрильи самолетов с вертикальным взлетом.

Корабли данного типа имеют 8 палуб, 3 из которых (стапель-палуба, ангарная и полетная) непрерывно идут по всей длине корабля. Самолетно-вертолетный ангар длиной 112,8 м располагается в кормовой части корабля между первой и четвертой палубами и имеет высоту третьего твиндека 8,4 м. В нос от ангара размещаются авиамастерские.

На полетной палубе находится взлетно-посадочная площадка на 9 вертолетов (6 с левого и 3 с правого борта). На кораблях для подачи летательных аппаратов с ангарной палубы на полетную имеются два палубных подъемника – один бортовой и один кормовой (оба находятся в корму от островной надстройки). Платформы бортовых подъемников расположены за пределами полетной палубы и для возможности прохождения через Панамский канал могут поворачиваться вертикально (располагаясь в походе вдоль борта).



УДК типа «Tarawa»



УДК типа «Wasp»

Непосредственно под ангаром между четвертой и седьмой палубами находится доковая камера размером 84×15,24 м. Ее высота составляет также три твиндека.

В нос от доковой камеры находятся помещения техники десанта, верхнее расположено в два яруса, между четвертой и шестой палубами, а нижнее – в один, между шестой и седьмой палубами. Высота ярусов равняется соответственно двум и одному твиндекам (5,6 м и 2,8 м). Связь между помещениями осуществляется посредством аппарелей.

На кораблях этого типа могут размещаться различные виды боевой и другой техники, в том числе пять грузовиков?? и более десяти единиц вспомогательной техники. Для доставки грузов из хранилищ в доковую камеру используются специальные монорельсовые поезда, передвигающиеся со скоростью до 183 м/мин.

На каждом УДК имеется госпиталь на 600 коек с шестью операционными, что позволяет экспедиционному формированию морской пехоты не зависеть от береговых медицинских учреждений.

УДК *muna* «America», строящийся и сейчас в США по последнему проекту, самый крупный в мире: его полное водоизмещение – 45 700 т; двигатели – 2 ГТУ General Electric мощностью 70 000 л. с.; максимальная скорость – более 22 уз; дальность хода – 9500 мор. миль; экипаж – 1059 человек; десант – 1871 солдат морской пехоты; авиакрыло – до 29 вертолетов и самолетов либо 22 истребителя F-35В.



УДК *muna* «America»

Корабли типа «America» предназначены для тех же целей, что и УДК прежних типов – для обеспечения высадки десанта в составе экспедиционного отряда морской пехоты на необорудованные побережья противника вместе с десантной техникой и средствами авиационной поддержки десанта – боевыми самолетами с укороченным/вертикальным взлетом F-35 JSF, конвертопланами MV-22 Osprey и транспортно-десантными вертолетами MH-53 Super Stallion.

Для высадки экспедиционного батальона морской пехоты на УДК используются:

– 2 десантных катера LCU или 3 десантных катера на воздушной подушке LCAC, или 6 десантных катеров LCM-8 Landing Craft, Mechanized;

– 40 плавающих БТР морской пехоты AAV7 (в нормальной комплектации) или 61 (в максимальной).

На кораблях первой серии (Flight 0) доковая камера для вышперечисленных средств высадки отсутствует, на ее месте размещены дополнительные ангарные помещения и мастерские. В настоящее время вступили в строй серии Flight 1, Flight 2.

В марте 2019 г. в Паскагуле заложили третий УДК класса «America» – «Бугенвиль». Он получит ряд усовершенствований по сравнению с двумя первыми кораблями. В частности, за счет уменьшения надстройки увеличится площадь летной палубы для повышения возможностей авиакрыла и обеспечения большей эксплуатационной гибкости.

Корабль имеет следующее вооружение:

- артиллерийское: 3×20-мм Mk15 Phalanx; 7×12,7-мм пулеметов системы ПВО; 2 ЗПК Mk29 ESSM; 2 ЗПК Mk49 RAM;
- радиоэлектронное вооружение: AN/USG-2 Cooperative Engagement Capability (CEC); SSDS MK2; Distributed Common Ground System (DCGS-N); AN/USQ-T46 (V) BFTT; IFF Interrogator System AN/UPX-29 (V); AN/SRC-55; AN/TPX-42A (V)14; AN/SPN-35C; AN/WSN-7 RLGN; AN/SPS-48; AN/SPS-4; AN/SPQ-9B.

По прогнозу, к 2026 финансовому году количество десантных кораблей (ДК) в составе ВМС США возрастет с 32 до 38 ед. Предполагаемый состав перспективных американских десантных сил: 12 УДК типов «America» и «Wasp», 13 транспортных ДК-доков типа «San Antonio» и 13 ДК на замену существующих ДК-доков типа «Whidbey Island».



ДК-док *muna* «San Antonio»



Десантный корабль-док *muna* «Whidbey Island»

Следует отметить, что переброска и высадка грузов и техники американцами сейчас возлагается на специализированные десантно-вертолетные корабли-доки (ДВКД), применяемые в качестве своего рода кораблей «второго эшелона» после высадки десанта с УДК. С этой целью с 2000 г. в США ведется строительство ДВКД типа «San Antonio», заменяющих корабли типа «Austin».

Постройка осуществляется Northrop Grumman на принадлежащих ей верфях Ingalls Shipbuilding и Avondale Shipyard, стоимость одного корабля – от 1,4 до 1,7 млрд. долл.

ДВКД *muna* «San Antonio» представляют собой крупные корабли полным водоизмещением 25 000 т с дизельной ЭУ. В архитектуре корабля применена технология Stealth. Корабль способен перевозить 704 человека, значительное количество техники и штатно оснащен госпиталем. В доковой камере размещаются два катера на воздушной подушке (КВП) типа LCAC, а в ангаре – два вертолета CH-46 или один CH-53Е, или один конвертоплан MV-22В.

Для замены нынешних американских десантных транспортов-доков (ДТД) намечается с 2020 г. начать постройку перспективных десантных транспортов по программе LSD (X) общим количеством 11–12 ед. Полное водоизмещение корабля оценочно составит 22 000 т, предварительная стоимость – 1,2 млрд. долл. за единицу.

В соответствии со стратегическими планами задействования амфибийных сил США для развертывания двух эшелонов (по одной экспедиционной бригаде морской пехоты – ЭБр-МП – в каждом) при проведении наступательной операции необходимы 34 десантных корабля различных подклассов

(17 на каждую ЭБрМП), для обеспечения передового присутствия двух ЭБрМП – 38.

В условиях сокращения бюджета командование ВМС уменьшило минимально требуемое количество десантных кораблей (ДК) до 33 ед. в составе 11 амфибийно-десантных групп. Каждая из них включает УДК типа «Wasp» или «America» (LHA/LHD), ДВКД типа «San Antonio» (LPD 17) и ДТД типа «Widbey Island»/«Harspers Ferry» (LSD 41–48/49–52).

В то же время наращивание возможностей амфибийных сил будет достигаться за счет строительства быстроходных военно-транспортных судов (БВТС) типа «Спирхед» (JHSV) и транспортов типа «Монтфорд Пойнт» (MLP).

Программа JHSV предполагает создание быстроходных многоцелевых десантных судов катamarанного типа. Они могут использоваться ВМС США для переброски войск, грузов и военной техники в пределах театра военных действий, снабжения подразделений и проведения гуманитарных операций. В связи с этим возникла идея приспособить быстроходное паромное судно гражданского назначения для военных целей.

Впрочем, все вышеуказанные корабли ВМС США представляют интерес главным образом как наиболее передовые и совершенные образцы современного развития класса десантных кораблей, поскольку они не предлагаются на экспорт и в принципе не имеют экспортных перспектив вследствие соответствия специфическим американским требованиям и высокой стоимости. В то же время выводимые из состава ВМС США старые корабли-доки находят определенный спрос, например, Бразилией в 1990 г. были арендованы два бывших американских ДТД типа «Thomaston», Тайвань, в 1999-м получил ДТД LSD 38 «Pensacola», а Индия в 2006-м приобрела ДВКД LPD 14 «Trenton».

Таким образом, развитие десантных вертолетоносцев в ВМС США идет по четырем направлениям или классам кораблей:

- десантно-штурмовой вертолетоносец, или ДШВ (Landing Helicopter Assault, LHA). Пример – корабль USS «America» (LHA-6);
- десантно-вертолетный корабль-док, или ДВКД (Landing Ship Dock, LSD). Пример – корабль USS «Harspers Ferry» (LSD-49);
- десантный транспорт-док, или ДТД (Landing Platform Dock, LPD). Пример – корабль USS «San Antonio» (LPD-17);
- десантно-вертолетный корабль-док (Landing Helicopter Dock, LHD). Пример – корабль USS «Essex» (LHD-2).

Все эти корабли различаются не только по водоизмещению, но и количеству техники и десанта, перевозимых на борту, их характеристики сведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики ДШВ, ДВКД, ДТД

Характеристика	Тип корабля			
	LHA	LPD	LHD	LSD
Вертолеты	26	4	24	2
Морские пехотинцы	1820	700	1950	500
Десантные катера	11	14	12	4
Бронетехника	40	17	–	15

Фактически современные американские вертолетоносцы – универсальные десантные корабли с различными авиационными возможностями. В списочном составе ВМС США значатся 3 корабля LHA, 8 LHD, 11 LPD и 5 LSD. Таким образом, эти десантные корабли могут перевезти 31 260 морских пехотинцев и 670 ед. бронетехники.

Типовой состав экспедиционной ударной группы (ЭУГ) ВМС США включает:

- флагманский десантный корабль типа LHA или LHD,
- десантный вертолетный корабль-док LPD,
- десантный транспорт-док LSD,
- крейсер УРО типа «Тикондерога»,
- эсминец УРО типа «Арли Берк»,
- фрегат УРО типа «Оливер Х. Перри»,
- атомную подводную лодку типа «Вирджиния».

Для сравнения возможный состав российской ЭУГ, сформированной для переброски и десантирования двух батальонов морской пехоты, может быть в двух вариантах:

первый вариант – из кораблей, имеющихся на вооружении:

- флагманский корабль – ТАКР «Адмирал Кузнецов»;
- 2 БДК пр. 11711 «Иван Грен»;
- 3 БДК пр. 11356;
- 3 корвета пр. 20380;
- атомная подводная лодка пр. 885;

второй вариант – с учетом перспективных проектов десантных кораблей:

- флагманский корабль – УДК пр.11780 или нового проекта;
- 2 десантных корабля – УДК «Прибой»;
- 2 фрегата пр. 22350;
- 2 корвета пр. 20385М
- атомная подводная лодка пр. 885М.

Таблица 2

Варианты комплектования российских ЭУГ и американской ЭУГ

ЭУГ	ПВО	ПЛО/ПКО	Поддержка десанта	Десант
ВМС США	202 ЗУР 13 ЗАК	20 ПКР 8 ПЛУР 22 тропеды	20 ПКР 8 ПЛУР 22 торпеды	1900 пехотинцев 8 БРДМ 15 БТР 4 ОБТ 6 155-мм гаубиц 8 минометов
ВМФ РФ 1-й вариант	30 ЗУР 28 ЗАК 4 ЗРАК 25 ПЗРК 24 самолета	52 ПКР 32 торпеды 3 вертолета 120 РГБ	52 ПКР 32 торпеды 3 вертолета 120 РГБ	2 вертолета 30 самолетов 960 НУРС 32 КР Калибр 8 АУ А-190/АК-176
ВМФ РФ 2-й вариант	600 ЗУР 14 РАК 4 ЗАК	52 ПКР 24 торпеды 4 вертолета	52 ПКР 24 торпеды 4 вертолета	44 вертолета 32 КР Калибр 7 АУ А-190/А-192
Примечание: ЗУР – зенитные управляемые ракеты, ЗАК – зенитный артиллерийский комплекс, ЗРАК – зенитный ракетный артиллерийский комплекс, ПЗРК – переносной зенитный ракетный комплекс, ПКР – противокорабельные ракеты, ПЛУР – противолодочные управляемые ракеты, РГБ – реактивная глубинная бомба, КР – крылатая ракет, НУРС – неуправляемая ракета-снаряд				

Как видно из табл. 2, американская ЭУГ в высадке десанта осуществляет «огневое подавление» сил береговой обороны противника на протяжении всей десантной операции. Этим объясняется небольшое количество привлекаемой бронетехники и вертолетов.

Но для проведения десантной операции против группировки, имеющей сильные ПВО и ВВС, такой комплектации явно недостаточно. В этом случае командование ВМС США для усиления ЭУГ задействует корабли и авиацию АУГ, танкодесантные корабли-доки (LST) и десантные корабли колесной техники (LSV), формируя амфибийно-десантную группу (АДГ), которая по своим возможностямкратно превосходит силы противодесантной обороны побережья. Это потенциально позволяет морскому десанту захватить и удерживать плацдарм для развития наступления вглубь обороны противника. ■

Продолжение следует

В основе морских стационарных платформ (МСП) – одна из старейших концепций мирового платформостроения. Основными конструктивными сегментами МСП являются опорные основания (ОО и верхние строения (ВСП).

Верхнее строение – основной сегмент платформы, определяющий стоимостные показатели и производственные возможности морского нефтегазового сооружения. Оно включает целый ряд производственных и жилых помещений, систем и устройств и, по существу, служит показателем эстетичности платформы, характеризующим архитектурную выразительность, рациональность формы и конструктивную целостность морского нефтегазового сооружения.

КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ И КОМПОНОВКА ОБЩЕГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ВСП

Многолетний отечественный и зарубежный опыт освоения морских нефтегазовых месторождений позволяет сформулировать основные направления формирования их верхних строений, которые сводятся к следующему:

- увеличению количества скважин на кусте с целью сокращения общего количества платформ на разрабатываемом месторождении;
- использованию многопалубных ВСП, пригодных для размещения комплекса технологического оборудования для бурения скважин, добычи, сбора и подготовки к транспортировке продукции скважин с целью сокращения площади и металлоемкости платформ;
- широкому применению блочного и мегаблочного формирования ВСП с целью индустриализации и сокращения сроков строительно-монтажных работ;
- внедрению средств автоматизации и телемеханизации технологических процессов с целью повышения безопасного и эффективного управления технологическими операциями в море.

На начальном этапе создания морских нефтегазовых сооружений формирование ВСП ведется из отдельных плоских либо полубъемных секций, которые зачастую собираются и свариваются непосредственно в море на месте строительства. Такие верхние строения выглядят безликими, лишены своей индивидуальной архитектурной выразительности.

На рис. 13 показана нефтяная платформа, эксплуатирующаяся на начальном этапе освоения нефтяных месторождений Каспия.



Рис. 13. Общий вид платформы

МЕГАБЛОЧНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ В УСЛОВИЯХ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

ЧАСТЬ 2*

*Р.Н. Караев, почетный доктор СПбГМТУ,
контакт. тел. +7(994) 50 210 9269*

Современные ВСП, определяющие их эстетичность – сложные инженерные сооружения, состоящие из нескольких расположенных друг над другом палубных перекрытий, представляющих собой плоские листовые конструкции, подкрепленные подпалубным (продольным и поперечным) набором, в качестве которых используются профильный прокат либо сварные балки. Обвязка палубных перекрытий ВСП между собой осуществляется с помощью стальных вертикальных стоек и раскосов трубчатой формы, вертикальных переборок, выгородок и т.п. На рис. 14 показана одна из возможных конструкций ВСП.



Рис. 14. Общий вид конструкции строящегося ВСП

Междупалубные расстояния и конструкция палубных перекрытий регламентируются массогабаритными характеристиками оборудования технологических комплексов. Палуба, устанавливаемая непосредственно на ОБ, является опорным палубным перекрытием (постаментом) для формирования всего ВСП и обеспечивает общую прочность и продольно-поперечную жесткость верхнего строения [3].

Верхнее строение может формироваться на опорной палубе либо без нее. В случае формирования ВСП единым, цельным мегаблоком опорная палуба подкрепляется усиленными подпалубными балками, способными обеспечить безопасное передвижение ВСП на опорно-транспортных устройствах по стапельным путям в процессе надвигки ВСП на транспортное средство. Размеры подпалубных балок выбираются из условий восприятия нагрузок, возникающих при посадке ВСП на опорно-транспортное устройство и последующей надвигки мегаблока на дорожки плавсредства.

Возможен вариант формирования ВСП на стапеле завода без использования опорной палубы. В этом случае первая (нижняя) палуба ВСП должна быть выполнена как цельная прочная конструкция, воспринимающая всю нагрузку ВСП и взаимосвязанная с верхней частью опорного блока (ОБ).

Вышерасположенные палубы ВСП служат площадками для размещения на них технологических, энергетических, жилых блоков и т.п., а также для укладки всевозможных грузов и материалов.

*Часть 1 – см. «Морской вестник», 2020, №1(73).

Палубный настил, выполненный из стальных листов, должен обеспечивать прочность и непроницаемость для предотвращения загрязнения моря отходами производства. В конструкции настила следует предусматривать отбортовку по всему периметру палубы с уклоном в сторону блока сточных вод и т.п. Совместная работа стального палубного настила, продольных и поперечных подпалубных балок обеспечивает прочность всему палубному перекрытию при действии поперечных усилий и устойчивость палубного настила при сжатии в их плоскости.

Определение размеров подпалубных связей и листового настила регламентируются прежде всего назначением палубных перекрытий, которое заключается в обеспечении достаточной прочности и жесткости листам палуб с учетом усилий, воспринимаемых палубными перекрытиями от размещаемых на них оборудования и грузов.

За расчетную нагрузку для подпалубного набора принимают равномерно распределенную местную нагрузку, ограниченную опорным контуром.

Основу формирования ВСП составляют блок-модули бурового, эксплуатационного, энергетического и жилого комплексов, в которых по принципу функциональной автономности смонтированы соответствующие оборудования, устройства и системы, обеспечивающие жизнедеятельность персонала и работу платформы в целом. Основные принципы компоновки общего расположения ВСП регламентируются «Правилами безопасности при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений на континентальном шельфе», в соответствии с которыми на нефтяных платформах установлены три взрывоопасные зоны – помещения и пространства, в которых из-за наличия смеси воспламеняющихся газов с воздухом существует постоянная или периодическая взрывоопасность:

Зона 0 – участок, на котором взрывоопасная смесь присутствует постоянно или в течение длительных периодов времени (закрытые помещения, в которых размещено открытое технологическое оборудование и устройства; внутренние объемы шахт, каналов и др. аналогичных устройств, в которых отсутствует возможность рассеивания горючих газов и паров нефти; помещения для хранения грузовых шлангов, малярные и т.п.);

Зона 1 – участок, на котором может присутствовать взрывоопасная смесь в нормальном рабочем режиме (закрытые помещения, в которых установлены технологические установки и устройства для легковоспламеняющихся жидкостей и горючих газов; помещения насосных по перекачке нефти; открытые пространства вокруг открытых технологических устройств, аппаратов, содержащих нефть и нефтяные газы или легковоспламеняющиеся жидкости, ограниченные расстоянием 5 м во все стороны);

Зона 2 – участок, на котором присутствие взрывоопасной смеси в рабочем режиме исключается на открытых площадках и в помещениях, а в случае ее появления эта смесь присутствует непродолжительное время.

Краеугольным вопросом при компоновке ВСП является местоположение жилого блока. Для максимального снижения риска при воздействии ветра на ВСП его следует располагать со стороны господствующих ветров, а факельную установку для сжигания попутного газа размещать таким образом, чтобы господствующее направление ветра относилось к пламени в противоположную от жилого блока сторону.

На практике различают следующие варианты размещения жилого блока: на главной палубе в носовой части платформы (противоположной относительно буровой вышки); автономно на отдельной площадке на максимальном удалении от взрывоопасных зон (рис. 15). Такое техническое решение наиболее рационально, ибо при этом значительно повышается уровень безопасности, обеспечивая в случае возникновения



Рис. 15. Общий вид жилого блока платформы «Кравцовская» в Балтийском море

чрезвычайной ситуации успешное использование одного из семи способов эвакуации, применяемых в морской практике: walk way – переход персонала с опасного, терпящего бедствие, участка платформы в безопасную зону.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ВСП

Общая схема по сборке на берегу и монтажу мегаблоков ВСП в море на примере месторождений Азери-Чираг-Гюнешли включает следующие операции:

- формирование ВСП на заводском стапеле;
- подъем на высоту с помощью «Push up System» для заводки под ВСП опорно-транспортных устройств;
- заводку опорно-транспортных устройств под ВСП;
- посадку ВСП на опорно-транспортные устройства (ОТУ);
- передвижку системы «опорно-транспортные устройства + ВСП» с построечного места к урезу воды (к береговой линии) для погрузки на плавучее средство;
- погрузку (надвижку) системы «опорно-транспортные устройства + ВСП» на палубу плавучего средства;
- доставку системы «опорно-транспортные устройства + ВСП» на рабочую точку в море;
- монтаж (посадку) мегаблоков ВСП на предварительно установленные в море ОБ с использованием наплавного способа выполнения монтажных операций.

Формирование ВСП на стапеле. Сборка ВСП на стапеле осуществляется из предварительно изготовленных блок-модулей и начинается с закладки опорной палубы, которая выставляется на построечные балки, предварительно выложенные на стапеле. После завершения сборочных работ полностью сформированный ВСП перемещают к урезу воды и затем надвигают на палубу плавсредства на опорно-транспортных устройствах (ОТУ) по стапельным путям.

Конструктивные размеры и число ОТУ, обеспечивающих перемещение (передвижку) ВСП по стапельным путям и грузовым дорожкам плавсредства, определяют по условиям прочности мегаблока ВСП и технико-эксплуатационным характеристикам транспортных плавсредств.

В качестве ОТУ в морской практике используют различные конструктивные типы: протяженные и точечные (рис. 16).

Тип ОТУ выбирают на стадии проектирования с учетом конструктивных особенностей ОБ.

Опорно-транспортное устройство протяженной конструкции (рис. 16, а) используется, если ВСП предстоит установить на двухблочное основание. В этом случае, как правило, используется специальная баржа, соответствующая транспортным характеристикам мегаблока, которая вводится в створ между ОБ. При этом мегаблок ВСП устанавливается на барже со свесами на оба борта для возможности совмещения стыковочных узлов ВСП и ОБ после ввода баржи в створ ОБ.

Точечные ОТУ (рис. 16, б) используются при интегри-

а)



б)



Рис. 16. Опорно-транспортное устройство: а – протяженной конструкции; б – точечной конструкции

ровании ВСП с одноколонными платформами типа SPAR, miniTLP. При этом перевозка мегаблочных верхних строений платформ осуществляется на двух баржах. В этом случае перевозимый груз – ВСП, работающий как соединительный мост катамарана, испытывает значительные нагрузки, восприятие которых приводит к необходимости утяжеления конструкции опорной палубы ВСП, что в итоге удорожает и усложняет монтажные работы на больших глубинах моря. Транспортная система катамаранного типа с использованием точечных ОТУ обеспечивает посадку ВСП на опорное основание таким образом, чтобы в процессе наводки «плавающей системы + ВСП» на опорное основание последнее оказалось бы в створе между корпусами катамаранной системы.

В данном проекте для передвижки ВСП были использованы два мощных ОТУ протяженной конструкции в виде рамы ферменной конструкции весом порядка 800 т каждая (рис. 17).



Рис. 17. Общий вид опорно-транспортных устройств протяженной конструкции

Подъем ВСП на высоту, необходимую для установки ОТУ. Заводка ОТУ под опорную палубу полностью сфор-

мированного на стапеле ВСП возможна только после его подъема на необходимую высоту, обеспечивающую без препятственный безопасный проход баржи (с ВСП + ОТУ на борту) между выступающими над водой стойками ОБ, предварительно установленных в море. Высота подъема, определяемая высотой стоек надводной части ОБ, возвышающихся над поверхностью моря, составляет 13 м.

Для подъема мегаблочных конструкций ВСП весом 14 000–15 000 т прежде всего необходимо оценить несущую способность конструкции (определить максимальную нагрузку какую может выдержать опорная палуба). При этом следует отметить, что несущая способность зависит не только от самой конструкции, но и от способа приложения нагрузки.

На стадии проектирования ВСП в наборе опорной палубы должны быть предусмотрены усиленные крепления конструкции (мощная подпалубная решетка), которая способна воспринимать подъемные усилия без какой-либо деформации поднимаемой конструкции и выдерживать высокие локальные нагрузки от гидроподъемников, обеспечивая при этом равномерное распределение подъемных усилий по всей конструкции ВСП. Это достигается путем создания расчетной модели, при помощи которой определяются оптимальные условия передачи усилий, соответствующие максимальной несущей способности конструкции ВСП.

Несущая способность опорной палубы определяется методом конечных элементов, который позволяет, оценивая напряженно-деформируемое состояние узлов и конструкции ВСП в целом при различных вариантах нагрузки, выработать рекомендации по наиболее оптимальному взаимному расположению гидравлических подъемников по всей площади опорной палубы.

Несущая способность ВСП – это часть проблемы при определении необходимого количества гидроподъемников, вторая важная составляющая – назначение коэффициента безопасности или, как его принято называть, коэффициента запаса. При этом надо учитывать, что высокий коэффициент запаса приводит к увеличению металлоемкости и количества гидроподъемников, а значит, и к удорожанию стоимости проекта, низкий коэффициент приводит к возрастанию риска повредить ВСП. В этих условиях, придерживаясь сбалансированного подхода, следует принять взвешенное решение.

С учетом веса поднимаемой мегаблочной конструкции ВСП, положения центра тяжести реальной несущей конструкции и выбранного коэффициента безопасности для данного проекта были приняты гидроподъемники типа «Push-up-System» фирмы Mammoet в количестве 8 ед. с допускаемой нагрузкой на каждый гидроподъемник 2400 т (рис. 18).

Управление работой гидроподъемников осуществлялось с использованием компьютерной технологии фирмы Mammoet, предусматривающей двухуровневую систему контроля Strand Jack System (SJS), при которой каждый гидроподъемник может управляться как с местного, так и с центрального постов управления. Используя эту систему, оператор может быстро оценить рабочее состояние либо одного гидроподъемника, либо группы гидроподъемников, либо всех гидроподъемников вместе взятых и решить, можно ли продолжить безопасную работу или следует приостановить подъемную операцию. По существу компьютеры, отображая реальное состояние гидроподъемников (фактическую высоту подъема, подъемное усилие и суммарное усилие всех подъемников) обеспечивают гибкость работы всей системы управления операцией подъема.

Установка ОТУ и посадка ВСП на опорные устройства. Заводка ОТУ под полностью сформированное ВСП осуществляется многоосными системами – транспортерами на пневматических колесах (рис. 19). После заводки ОТУ гидроподъемники складываются (убираются) и таким образом масса мегаблока ВСП переносится на ОТУ, установленные на стапельных путях (рис. 20).



Рис. 18. Подъем верхнего строения газокompрессорной платформы с помощью восьми гидродъемников: а – монтаж гидродъемников «Push-up-System»; б – общий вид ВС газокompрессорной платформы, поднятого на высоту 13 м

По окончании всех строймонтажных работ, связанных с формированием ВСП на стапеле, приступают к погрузке на плавсредство и транспортировке системы «ОТУ + ВС» весом более 15 000 т на рабочую точку для интеграции с ранее установленными в море ОБ.



Рис. 19. Заводка протяженных ОТУ под опорную платформу ВСП



Рис. 20. Посадка мегаблочной конструкции ВСП на ОТУ

Выполнение этих операций – сложная инженерно-техническая задача, решаемая с учетом требований подвижного и наплывного способов грузообработки, рассмотренных выше.

Многолетняя практика проведения строймонтажных работ в море позволяет сформулировать алгоритм решения этой задачи, который предусматривает наличие транспортных плавсредств с необычной формой и конструкцией; развитых балластных систем у транспортных плавсредств; специальных стыковочных устройств, обеспечивающих безопасную и надежную посадку ВСП на опорные блоки.

В качестве плавсредства в условиях азербайджанского сектора Каспия использовалась баржа СТБ-1, специально дооборудованная для проведения наплывного способа грузовых операций с мегаблочными конструкциями ВСП.

В условиях Охотского моря и российского сектора Каспия использовалась Т-образная баржа, конструктивные и эксплуатационные особенности которой подробно рассмотрены в работах [1, 3].

Учитывая, что изначально СТБ-1 была спроектирована только для перевозки и спуска в воду ОБ МСП, были проведены необходимые работы по дооборудованию баржи для перевозки и монтажа мегаблоков верхних строений платформ (каждый весом порядка 15 000 т) для месторождений Азери-Чыраг-Гюнешли. Основные технические решения, связанные с использованием СТБ-1, предусматривали проведение ряда конструктивных изменений, в том числе усиление набора корпуса баржи; установку новой крацевой защиты; монтаж дополнительной балластной системы.

Усиление набора СТБ-1 было вызвано большими местными нагрузками, действующими на корпус в процессе движения и удержания баржи в ограниченном створе ОБ, при соприкосновении бортов баржи со стойками ОБ. С этой целью в местах расположения рамных шпангоутов были установлены трубчатые раскосы в качестве дополнительных опор для рамных конструкций и переборок (рис. 21). Также были усилены водонепроницаемые поперечные и продольные переборки, непосредственно воспринимающие значительные местные нагрузки от устанавливаемых на дорожках ОТУ.

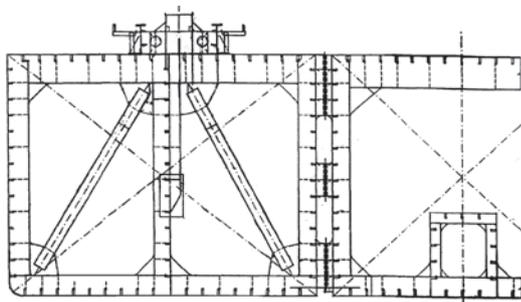


Рис. 21. Рамная конструкция с дополнительными элементами подкрепления (все элементы набора симметричны относительно Д.П.)

Установка новой крацевой защиты была обусловлена необходимостью уменьшения нагрузок, воспринимаемых бортовыми конструкциями при соприкосновении баржи со стойками ОБ в процессе ввода, продвижения и удержания ее в ограниченном по ширине створе между ОБ.

Конструктивное решение было обеспечено установкой усиленной полосовой (рис. 22, б) крацевой защиты (длинной чуть более 107 м, шириной 1,5 м), обшитой деревянными привальными брусками толщиной 0,23 м (рис. 22, а).

Конструкция носовой части привального устройства (рис. 22, в) заканчивается скошенными (в сторону диаметральной плоскости баржи) и выступающими за габаритную длину баржи направляющими, которые обеспечивают плавный ввод СТБ-1 в створ ОБ.

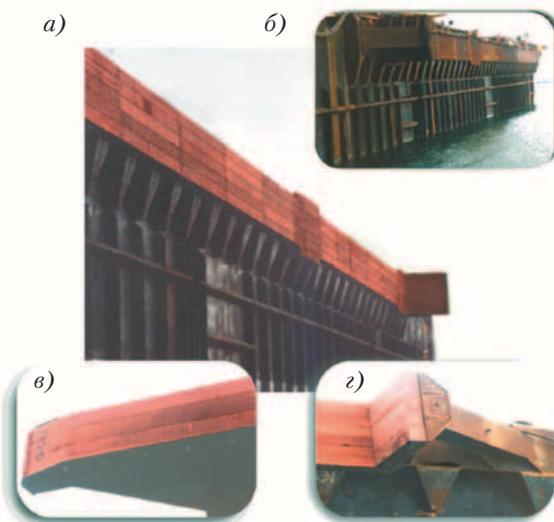


Рис. 22. Крацевая защита СТБ-1: а – общий вид; б – металлоконструкция привального устройства; в – носовая скошенная часть привального устройства (направляющая); г – ограничительное устройство в кормовой части привального бруса

Кормовая часть крацевой защиты (рис. 22, г) заканчивается ограничительными устройствами. Последние, упираясь в стойки ОБ (после ввода баржи в створ), приостанавливают дальнейшее продвижение СТБ-1. Благодаря этому баржа фиксируется в положении, необходимом для достижения соосности и последующей совместимости стыковочных узлов ВСП и ОБ.

Дооборудование балластной системы было связано с необходимостью повышения ее гибкости и управляемости в процессе надвигки ВСП на палубу СТБ-1; посадки ВСП на ОБ; вывода СТБ-1 из створа ОБ.

С этой целью в дополнение к существующей централизованной балластной системе с линейной магистралью были смонтированы новые отводы в балластные танки 3, 4, 5, 6 соответственно по правому и левому бортам (рис. 23).

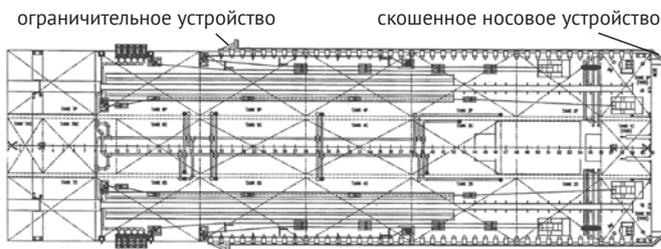


Рис. 23. Схема балластной системы

Монтажно-стыковочные устройства. Конструктивной особенностью мегаблочных конструкций ВСП и опорных оснований, монтируемых в море наплавным способом, является необходимость их оснащения стыковочными устройствами, устанавливаемыми на сопрягаемых поверхностях соединяемых мегаблочных конструкций (ВС и опорное основание) нефтяных платформ.

Стыковочные устройства состоят из двух сегментов: верхнего и нижнего. Верхнее стыковочное устройство устанавливается на ВСП, нижнее – на опорном основании. Количество стыковочных устройств определяется типом нефтяного сооружения.

Поскольку остаточные напряжения, возникающие в процессе сборки и сварки металлоконструкций мегаблоков, могут достигать величин порядка предела текучести, любая транспортная операция может приводить к появлению как упругих, так и значительных остаточных деформаций верхнего строения и опорного основания, что, в свою очередь, приводит к появлению дополнительных отклонений от номинальных размеров, существенно превышающих технологические допуски. Поэтому основная роль монтажно-стыковочных устройств должна сводиться к нивелированию неблагоприятного влияния неточности изготовления и дополнительного деформирования, возникающего в мегаблочных конструкциях в процессе выполнения погрузочно-разгрузочных операций.

Монтажно-стыковочные устройства обеспечивают принудительное совмещение стыкуемых поверхностей ВСП и опорного основания за счет упругого деформирования конструкций. Совмещение происходит главным образом, благодаря относительно небольшим изменениям формы и размеров стыкуемых поверхностей, происходящим под действием сил веса верхних строений, переносимых постепенно с транспортного средства на опорное основание.

Безопасное выполнение монтажных операций по посадке мегаблоков ВСП на опорные основания нефтяных платформ в морских условиях в значительной степени зависит от конструкции монтажно-стыковочных устройств.

В платформостроении используются стыковочные устройства различной конструкции. При монтаже мегаблочной конструкции ВСП на неподвижный опорный блок МСП, стационарно закрепленный в морском грунте, используются стыковочные устройства относительно простой конструкции.

При монтаже мегаблочной конструкций ВСП на стационарно закрепленные морские ледостойкие гравитационные платформы, расположенные в сейсмоопасных зонах (о. Сахалин), используются специальные стыковочные устройства скользящего типа (сейсмоизоляторы). Такие устройства, применяющиеся для защиты от землетрясений мостов и общественных зданий [4], впервые в практике строительства ледостойких гравитационных платформ были смонтированы на платформе «Лунская А» [3].

Верхнее строение было состыковано с бетонными колоннами опорного основания при помощи сейсмоизоляторов (маятниковых подшипников), позволяющих совершать маятниковые движения ВСП независимо от опорного основания, которое продолжает прочно стоять на морском дне, в вертикальном положении, не передвигаясь, что в целом исключает

повреждение всего сооружения.

Многолетняя практика строительства плавучих нефтяных платформ показывает, что формирование таких установок (соединение ВСП с плавучим опорным основанием), как правило, осуществляется у стенки завода-строителя. Интеграция ВСП с плавучим опорным основанием в условиях открытого моря (как например, формирование ППБУ «Полярная звезда», осуществленное у берегов Южной Кореи в открытой акватории на расстоянии 30 км от места постройки с использованием сложных, громоздких стыковочных устройств) проводится в исключительных случаях, к тому же такая операция небезопасна и весьма затратна. Поэтому интеграция с использованием сложных стыковочных устройств, предназначенных для соединения верхнего строения с плавучим опорным основанием, в мировой практике платформостроения широкого распространения не получили.

Выбор конструктивного типа стыковочного устройства регламентируются конструкцией и массогабаритными характеристиками интегрируемых частей платформы, а также наличием сейсмичности в предполагаемом районе эксплуатации.

Стыковочное устройство МСП со сквозным ОБ. Рассмотрим конструкции монтажно-стыковочных устройств, которые использовались при монтаже мегаблочных конструкций ВСП, предназначенных для стационарных платформ месторождения Азери-Чираг-Гюнешли.

Устройство состоит из двух частей: верхнего стыковочного узла, устанавливаемого на мегаблоке ВСП, и нижнего стыковочного узла, расположенного непосредственно на несущих стойках ОБ.

В процессе ввода баржи в створ ОБ стыковочные узлы верхнего строения возвышаются над трубчатыми стойками ОБ на высоте 1,5 м. Стыковочный узел мегаблочной конструкции верхнего строения МСП «Азери-Чираг-Гюнешли» представляет собой стальную гильзу, в полость которой вмонтирован конусообразный элемент из высокопрочного полимера, способного выдержать нагрузку до 2000 т (рис. 24).

Стальная гильза с помощью сварки приварена к настилу опорной палубы ВСП и к балкам подпалубного набора, обеспечивая при этом жесткость стыковочного узла и палубы в целом.

Высокопрочный полимерный элемент конусообразной формы выполняет роль направляющего демпфирующего элемента, связывающего ВСП и ОБ в единую конструкцию.

Стыковочный узел ОБ – это полость на концевом участке трубной стойки ОБ, куда в процессе посадки ВСП на ОБ входит конусообразный полимерный деформирующийся элемент верхнего строения.



Рис. 24. Общий вид стыковочного узла МСП

В процессе наведения ВСП на ОБ в случае несоосности верхних и нижних стыковочных устройств на конусообразный направляющий полимерный элемент действует боковая сила, смещающая этот элемент в направлении уменьшения несоосности. Такое перемещение вызывает сжатие деформируемого полимерного конусообразного элемента. В результате упругого деформирования уменьшается несоосность верхних и нижних стыковочных устройств, при этом конусообразные полимерные элементы входят в полость трубчатых стоек ОБ и происходит совмещение верхних и нижних посадочных узлов. После посадки верхнего строения на ОБ кромки стыковочных узлов соединяются круговым стыковым сварным швом.

Интеграция мегаблочной конструкции ВСП с ОБ в море. Посадка ВСП на ОБ, предварительно установленные в море, осуществляется наплывным способом.

Рассмотрим последовательность операций по монтажу ВСП с использованием саморазгружающейся баржи СТБ-1 на месторождении «Центральный Азери» (рис. 25).

Прибыв на место монтажа, необходимо проверить готовность опорного блока, мегаблока ВСП, плавсредства и буксирующих судов к заводке СТБ-1 с грузом на борту в створ между опорными блоками. При этом следует проверить целостность стыковочных узлов ОБ и мегаблока ВСП, а также межцентровые расстояния стыковочных узлов, чтобы убедиться, что стыковочные расстояния соответствуют друг другу и во время перехода не произошли какие-либо изменения (деформации). Проводится также водолазный осмотр створа между ОБ на предмет возможного выявления каких-либо посторонних конструкций, препятствующих свободной заводке в створ, погружению СТБ-1 с ВСП на борту и последующему выводу СТБ-1 из створа. Вместе с тем проверяют посадку СТБ-1 (осадки носом и кормой, крен и дифферент). Изменение посадки более чем на 2% от первоначальной, предусмотренной проектом, не допускается и подлежит немедленному устранению. На подходе к рабочей точке начинают демонтаж всех крепежных элементов и устройств, обеспечивающих надежную и безопасную транспортировку мегаблока:

- баржу подводят к ОБ и медленно вводят в створ между ними. При этом во избежание глубокого погружения в воду и возможного контакта с металлоконструкциями ОБ провисшие участки буксирных канатов оборудуют плавучими элементами-поплавками, которые навешивают непосредственно на канат и удерживают его на плаву (рис. 25, а);
- с целью исключения возможного навала баржи на несущие стойки ОБ в процессе продвижения в створе и удержания ее на прямом курсе заводят носовые швартовы: правый швартов подают на левый ОБ, левый швартов – на правый ОБ (рис. 25, б);
- для наведения стыковочного узла ВСП на соответствующий узел ОБ (рис. 25, в) баржа с мегаблоком ВСП на борту медленно продвигается в створе ОБ до момента, пока бортовые рамные ограничительные устройства баржи (упоры), упершись в стойки ОБ, зафиксируют баржу в неподвижном положении, обеспечивающим соосность монтажно-стыковочных устройств, при этом носовая и кормовая части баржи продолжают удерживаться судами обеспечения, которые путем маневрирования предотвращают навал баржи на ОБ;
- в зафиксированном положении, при постоянном контроле расстояния между монтажно-стыковочными узлами, путем гибкого, поэтапного управления процессом балластировки баржи начинают медленное опускание мегаблока до окончательного совмещения монтажных стыков (рис. 25, г);
- после посадки мегаблока ВСП на ОБ, т.е. переноса массы ВСП на ОБ, дальнейшей балластировкой баржи, между

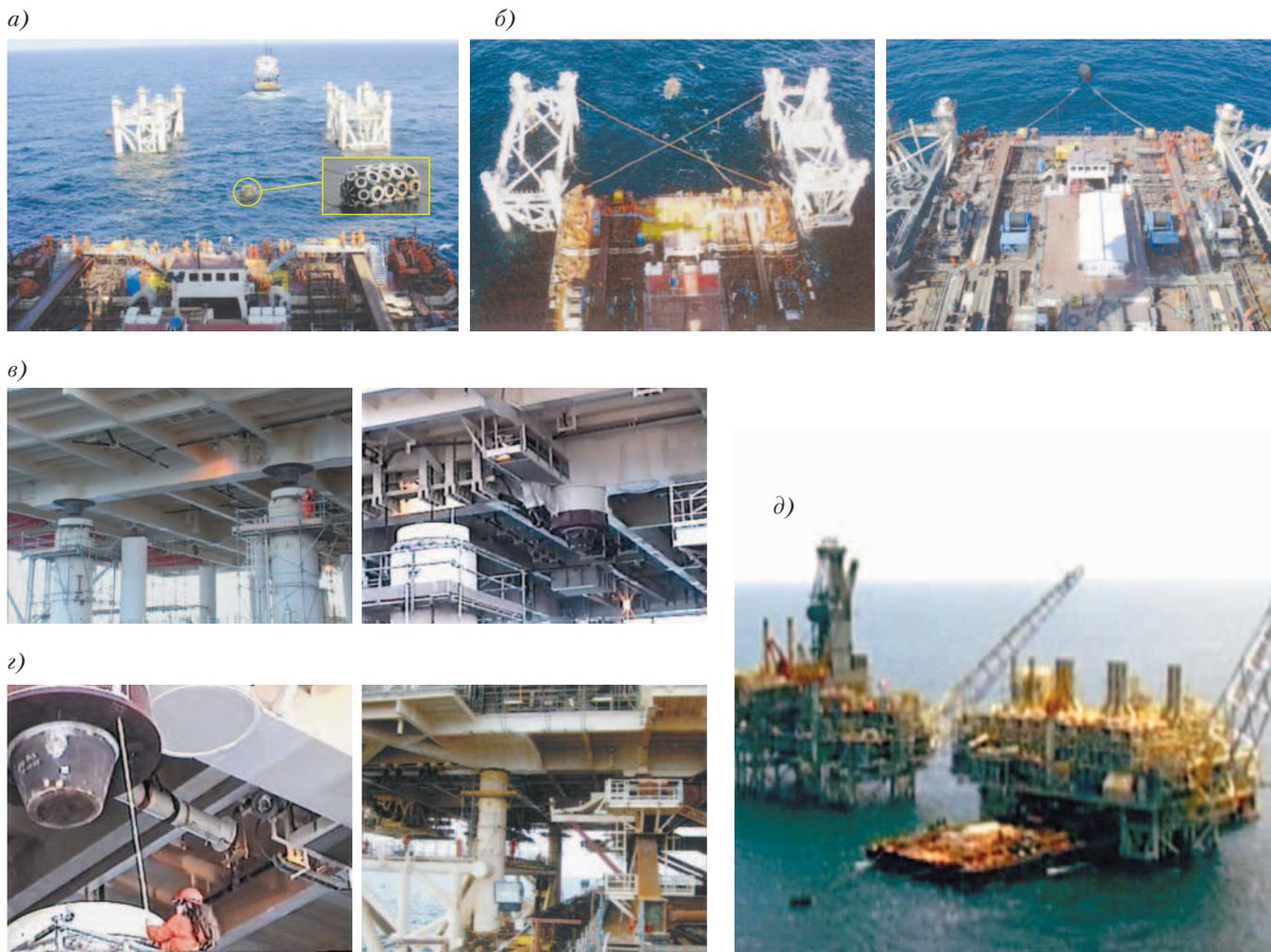


Рис. 25. Напильный способ монтажа ВСП на опорные блоки, предварительно установленные в море: а – буксировка баржи в направлении опорных блоков; б – ввод баржи в створ между опорными блоками; в – наведение мегаблока верхнего строения на опорный блок для обеспечения соосности стыковочных узлов; г – медленное опускание (посадка) мегаблока ВСП на стойки опорного блока д – вывод баржи из-под ВСП

опорной палубой ВСП и ОТУ баржи достигается необходимый зазор, обеспечивающий беспрепятственный, безопасный вывод СТБ-1 из под ВСП (рис. 25, д).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование инновационных технологий формирования мегаблочных конструкций способствовало внедрению в практику отечественного платформостроения прорывных, нестандартных и эффективных технических решений по сборке на стапеле, погрузке, перевозке и интегрированию основных сегментов платформ (весом 10 000 т и более) в море.

Широкомасштабное внедрение прогрессивных технологий позволяет значительно сократить трудоемкость и сроки строительства, и при этом повысить безопасность и рост эффективности строительно-монтажных работ на континентальном шельфе.

Ускоренное строительство глубоководных морских нефтяных платформ и высокая степень индустриализации строительно-монтажных работ в море ускоряет ввод месторождения в эксплуатацию, тем самым обеспечивая быструю оборачиваемость капитальных вложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Караев Р.Н. Плавающие сооружения морской нефтегазовой индустрии. – Баку: Элм, 2006. – 368 с.
2. Караев Р.Н. Морские сооружения для бурения и эксплуатации нефтегазовых скважин. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2014. – 388 с.
3. Караев Р.Н. Океанотехника: системный анализ современного состояния и перспективы развития. – СПб.: МорВест, 2018. – 716 с.
4. Рутман Ю.Л. Маятниковые сейсмоизолирующие опоры. Конструкция. Расчет. Эксперимент // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – №1(27). ■

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

С целью сравнения различных линейризованных схем замыкания каверны рассмотрим в духе теории малых возмущений стационарное обтекание суперкавитирующего плоского профиля под углом атаки α . В дальнейшем все величины и функции приведены к безразмерному виду по хорде профиля c и скорости набегающего потока U_0 . В терминах потенциала возмущенных скоростей $\varphi = \varphi(x, y)$ линейная задача обтекания формулируется следующим образом:

– уравнение Лапласа

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, \quad (x, y) \in D; \quad (1)$$

– условие непротекания на смоченной (нижней) части профиля

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{dy_0}{dx}, \quad y=0-0, \quad x \in (0, 1), \quad (2)$$

где $y_0(x)$ – уравнение средней линии профиля, для плоской пластины $y_0(x) = -\alpha x$,

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\alpha, \quad y=0-0, \quad x \in (0, 1), \quad (3)$$

– на границе каверны.

Поскольку линейризованный коэффициент давления можно записать в виде

$$C_p = \frac{2(p - p_0)}{\rho U_0^2} \approx -2 \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad (4)$$

а число кавитации σ вводится как

$$\sigma = \frac{2(p_c - p_0)}{\rho U_0^2}, \quad (5)$$

где p_c и p_0 есть соответственно давления в каверне и впереди на бесконечности, то горизонтальная скорость возмущенного движения на границе каверны может быть записана в виде

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{1}{2} \sigma \quad \text{при } y=0+0, \quad x \in (0, l) \text{ и} \\ \text{при } y=0-0, \quad x \in (1, l), \quad (6)$$

где l – длина каверны, измеряемая от передней кромки профиля и отнесенная к хорде профиля;

– условие затухания возмущений на бесконечности

$$\nabla \varphi = \vec{i} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \rightarrow 0, \quad \text{при } x^2 + y^2 \rightarrow \infty, \quad (7)$$

где \vec{i} и \vec{j} – орты осей x и y соответственно.

Заметим, что линейризация предполагает, что оба параметра α и σ стремятся к нулю с одинаковой скоростью, т.е. $\sigma = O(\alpha)$. Для использования аппарата теории функций комплексного переменного удобно представить приведенную выше постановку задачи в комплексной области. Введем вместо потенци-

ЛИНЕАРИЗОВАННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ СУПЕРКАВИТИРУЮЩЕГО ТОНКОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ЗАМЫКАНИЯ КАВЕРНЫ

К.В. Рождественский, *д-р техн. наук, проф., проректор СПбГМТУ, заслуженный деятель науки РФ, контакт. тел. +7 (821) 714 2923*

ала скорости $\varphi = \varphi(x, y)$ комплексный потенциал $F = F(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$, где $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, $z = x + iy$ и $\psi(x, y)$ – функции тока. В данном случае решение задачи сводится к нахождению аналитической функции $dF/dz = w(z) = u(x, y) - iv(x, y)$, представляющей собой комплексно-сопряженную скорость в области D течения со следующими граничными условиями на границах потока:

– на смоченной части пластины

$$\text{Im} w(z) = -v(x, y) = \alpha \quad (8)$$

при $y=0-0, x \in (0, 1)$;

– на каверне

$$\text{Re} w(z) = u(x, y) = \frac{1}{2} \sigma$$

при $y=0+0, x \in (0, l)$ и $y=0-0, x \in (1, l)$;

– на бесконечности

$$w(z) \rightarrow 0 \quad \text{при } z \rightarrow \infty. \quad (9)$$

МОДЕЛЬ ЗАМЫКАНИЯ КАВЕРНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОСОБЕННОСТИ ТИПА КВАДРАТНЫЙ КОРЕНЬ

В нелинейной постановке этот тип моделей замыкания каверны характеризуется присутствием критической точки в области замыкания, например, модели Рябушинского и Эфроса–Гильбарга, (рис. 1.1 и рис. 1.2). Линейный аналог всех подобных моделей содержит

особенность типа квадратный корень в окрестности точки замыкания. Рассмотрим решение соответствующей задачи, следуя [1]. Вид линейризованной «физической» комплексной плоскости z течения вокруг профиля с каверной конечной длины иллюстрируется на рис. 2. Заметим, что в этой плоскости пластина с каверной представлены разрезом $y=0 \pm 0, x \in [0, l]$. Для решения этой задачи отобразим внешность этого разреза комплексной плоскости z на нижнюю полуплоскость вспомогательной комплексной плоскости $\zeta = \xi + i\eta$ (рис. 2) посредством функции

$$\zeta = -i\alpha \sqrt{\frac{z}{z-l}}, \quad a = \sqrt{l-1}. \quad (10)$$

Обратную функцию $z = z(\zeta)$ нетрудно найти в виде

$$z = \frac{l\zeta^2}{\zeta^2 + a^2}. \quad (11)$$

Соответствие точек на плоскостях z и ζ можно видеть на рис. 2. Заметим, что точка $z=l$, которая представляет собой точку замыкания каверны в «физической» плоскости, переходит в точку $\zeta = \infty$ во вспомогательной полуплоскости $\text{Im} \zeta = \xi < 0$. Действительно, для $z \rightarrow l$

$$\zeta \approx -i\alpha \sqrt{\frac{l}{z-l}} \rightarrow \infty. \quad (12)$$

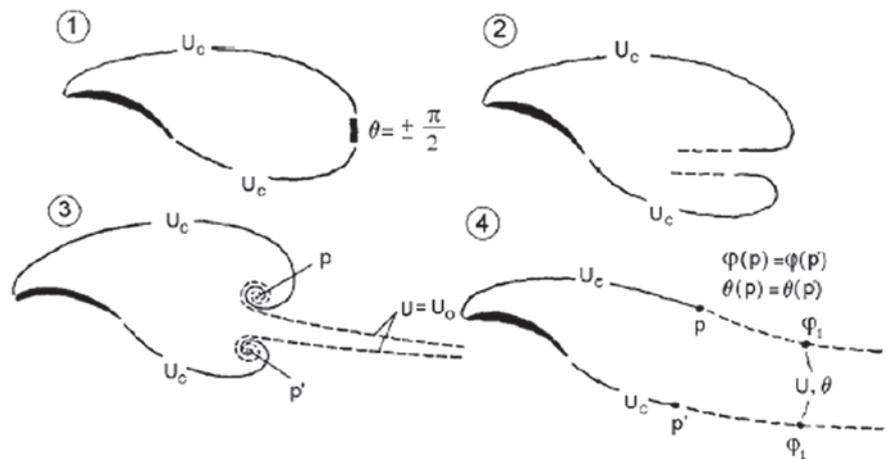


Рис. 1. Нелинейные модели замыкания каверны:

1– Рябушинского, 2– Эфроса–Гилбарга, 3– двойной спиральной вихрь Тулина, 4– модель Ву-Фабулы

С другой стороны, бесконечность в «физической» плоскости, т.е. $z = \infty$ переходит в точку $\zeta = -ia$. В итоге смоченная часть разреза совпадает с интервалом $\xi \in (0, 1)$, а верхняя и нижняя границы каверны в плоскости z отображаются на отрицательную $\eta = 0-0, \xi < 0$ и положительную $\eta = 0+0, \xi \in (1, \infty)$ части действительной оси во вспомогательной плоскости.

В контексте моделей замыкания важно реализовать ожидаемое поведение комплексно-сопряженной скорости $w(\zeta)$ в окрестности точки замыкания каверны. Можно показать, что линейные аналоги нелинейных моделей замыкания, содержащие критическую точку в зоне замыкания каверны, характеризуются особенностью типа квадратный корень возмущенной скорости в соответствующей точке «физической» плоскости, т.е. при $z = l$. Полагая, что

$$\text{при } z \rightarrow l \quad w(z) \approx \frac{\kappa}{\sqrt{z-l}}, \quad (13)$$

и учитывая выражение (12), найдем во вспомогательной плоскости

$$w[z(\zeta)] \approx -\frac{\kappa\zeta}{ia\sqrt{l}} = iA\zeta, \quad (14)$$

где A – вещественная постоянная, подлежащая определению.

Здесь удобно решить краевую задачу для функции

$$w^*(z) = w(z) - \frac{1}{2}\sigma. \quad (15)$$

Для этой функции $\text{Re}w^*(z) = 0$ на границе каверны, т.е. при $\eta = 0-0, \xi < 0$ и $1 < \xi < \infty$. Последнее обстоятельство упрощает конечное выражение для решения. Заметим, что граничные условия для $w^*(\zeta)$ на действительной оси вспомогательной комплексной плоскости ζ являются смешанными, задавая $\text{Im}w^*(\zeta)$ на одной части оси и $\text{Re}w^*(\zeta)$ на другой ее части (рис. 2). Принимая особенность типа корень четвертой степени $w(z) = O(z^{-1/4})$ на передней кромке и ноль порядка корень квадратный $w(z) = O[(1-z)^{1/2}]$ на задней кромке и

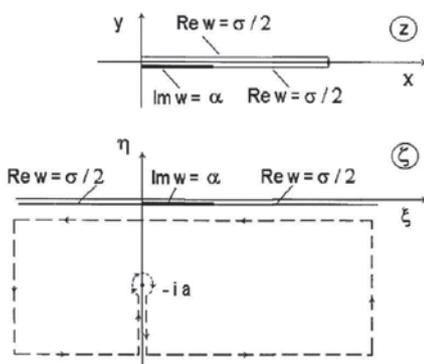


Рис. 2. Комплексные плоскости в задаче с замыканием на особенность (аналог схем Рябушинского и Эфроса–Гилбарга)

используя формулу Келдыша–Седова, можно получить решение для комплексно-сопряженной скорости в виде

$$w(\zeta) = \frac{1}{2}\sigma + \frac{\alpha}{\pi} \sqrt{\frac{1-\zeta}{\zeta}} \times \int_0^1 \sqrt{\frac{\xi}{1-\xi}} \frac{d\xi}{\zeta-\xi} + B \sqrt{\frac{1-\zeta}{\zeta}} + A \sqrt{\zeta(1-\zeta)}. \quad (16)$$

Заметим, что A и B есть подлежащие определению вещественные постоянные, а последнее слагаемое в выражении (16) представляет собой допустимое собственное решение, обеспечивающее требуемое поведение функции $w(\zeta)$ при $\zeta \rightarrow iA\zeta$. Первое соотношение между этими константами можно получить, накладывая условие на бесконечности (7). При $\zeta \rightarrow -ia$ комплексно сопряженная скорость должна обращаться в ноль, т.е.

$$w(ia) = 0. \quad (17)$$

Комплексное уравнение (17) эквивалентно двум действительным уравнениям

$$\text{Re}w(-ia) = 0, \text{ и } \text{Im}w(-ia) = 0. \quad (18)$$

Последнее соотношение, необходимое для определения всех трех неизвестных констант решения, может быть найдено из условия замкнутости каверны, которое соответствует требованию конечности длины каверны. Соответствующее уравнение можно записать в виде

$$\oint_{L_z} \text{Im} w(z) dz = \text{Im} \oint_{L_z} w(z) dz = \text{Im} \oint_{L_z} w(\zeta) \frac{dz}{d\zeta} d\zeta = 0, \quad (19)$$

где контур L_z охватывает разрез $y = 0 \pm 0, x \in (0, 1)$ и обходится по часовой стрелке, а контур L_ζ охватывает точку $\zeta = -ia$ и также обходится по часовой стрелке.

Производную $dz/d\zeta$ можно получить из выражения (11) в виде

$$\frac{dz}{d\zeta} = \frac{2l\zeta}{\zeta^2 + a^2} - \frac{2l\zeta^3}{(\zeta^2 + a^2)^2}. \quad (20)$$

Рассмотрение уравнения (19) сводится к вычислению мнимой части вычета функции $w(\zeta) dz/d\zeta$ в точке $\zeta = -ia$, т.е.

$$\text{Im} \oint_{L_z} w(\zeta) \frac{dz}{d\zeta} d\zeta = \text{Im} \left\{ 2\pi i \text{Res} \left[w(\zeta) \frac{dz}{d\zeta} \right]_{\zeta=-ia} \right\}. \quad (21)$$

Вычисляя вычет с помощью разложения функции $w(\zeta)$ в окрестности точки $\zeta = -ia$

$$w(\zeta) = \frac{dw}{d\zeta} \Big|_{\zeta=-ia} (\zeta + ia) + O[(\zeta + ia)^2] \quad (22)$$

и выражение для производной обратной отображающей функции $z = z(\zeta)$ приходим к следующей форме выражения (19):

$$\text{Im} \left\{ \frac{dw}{d\zeta} \Big|_{\zeta=-ia} \right\} = 0. \quad (23)$$

Коэффициент подъемной силы можно получить, интегрируя по разрезу в «физической» плоскости:

$$C_y = \frac{2Y}{\rho U_0^2 c} = 2 \text{Re} \oint_{L_z} w(z) dz = 2 \text{Re} \oint_{L_z} w(\zeta) \frac{dz}{d\zeta} d\zeta. \quad (24)$$

По аналогии с предыдущими выкладками, которые привели к уравнению (19), определение коэффициента подъемной силы сводится к вычислению действительной части вычета функции $w(\zeta) dz/d\zeta$, откуда

$$C_y = 2\pi l a \text{Re} \left\{ \frac{dw}{d\zeta} \Big|_{\zeta=-ia} \right\}. \quad (25)$$

Результаты, полученные для случая плоской пластины с углом атаки α , имеют весьма простой вид. После ряда выкладок получим

$$C_y = \pi a l \left(\frac{\sqrt{l}}{\sqrt{l-1}} - 1 \right). \quad (26)$$

Связь между числом кавитации и длиной каверны дается формулой

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\alpha} = \frac{2}{a} = \frac{2}{\sqrt{l-1}}. \quad (27)$$

Заметим, что обе полученные формулы предполагают, что $l > 1$. Используя соотношения, описывающие параметрические зависимости коэффициента подъемной силы C_y и отношения σ/α от длины каверны l , можно получить следующую формулу:

$$\frac{C_y}{\alpha} \pi \left(\sqrt{\frac{4}{\bar{\sigma}^2} + 1} - \frac{2}{\bar{\sigma}} \right) \left(\frac{\bar{\sigma}}{2} + \frac{2}{\bar{\sigma}} \right), \quad (28)$$

где $\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\alpha}$.

МОДЕЛЬ ВУ–ФАБУЛЫ ЗАМЫКАНИЯ КАВЕРНЫ

Решение, соответствующее схеме Ву–Фабулы (рис. 1.4) нетрудно получить из предыдущего решения накладывая требование «гладкого» замыкания каверны в точке $z = l$ или $\zeta = \infty$. Это достигается путем присвоения вещественной константе A нулевого значения. Соответствующая линейризованная «физическая» плоскость показана на рис. 3. Результирующие выражения для коэффициента подъемной силы и отношения $\bar{\sigma} = \sigma/\alpha$ в функции от безразмерной длины каверны имеют вид

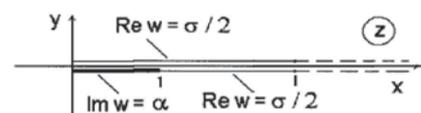


Рис. 3. Линейризованная «физическая» комплексная плоскость в случае плавного перехода каверны в след (аналог схемы Ву–Фабулы)

$$\frac{C_y}{\alpha} = \frac{\pi\sqrt{l}}{\sqrt{l} + \sqrt{l-1}}, \quad (29)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\alpha} = \frac{2}{\sqrt{l} + \sqrt{l-1}}. \quad (30)$$

СХЕМА ТУЛИНА ЗАМКЫВАНИЯ КАВЕРНЫ (СХЕМА ДВОЙНЫХ СПИРАЛЬНЫХ ВИХРЕЙ)

В схеме двойных спиральных вихрей, введенной в рассмотрение Тулиным, предполагается, что за замыканием каверны следует уходящий на бесконечность след [1]. При этом давление в каверне скачкообразно сравнивается с давлением невозмущенного потока. Соответствующая постановка линеаризованной задачи иллюстрирует рис. 4. Заметим, что линеаризация предполагает, что абсциссы точек окончания каверны на верхнем и нижнем «берегах» разреза идентичны. Для того чтобы сформулировать краевую задачу относительно возмущенной комплексно-сопряженной скорости, отобразим внешность полу-бесконечного разреза в «физической» плоскости z на нижнюю полуплоскость

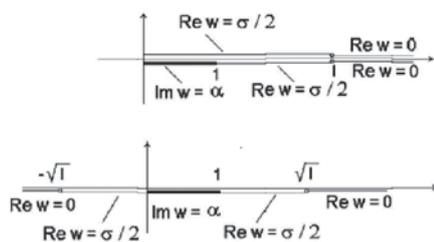


Рис. 4. Линеаризованные комплексные «физическая» и вспомогательная плоскости в случае замыкания на двойные спиральные вихри

$\text{Im } \zeta = \xi < 0$ вспомогательной плоскости ζ . Это можно осуществить посредством функции $\zeta = -\sqrt{z}$, выбранная ветвь которой переводит точку $z = -1 + i(0-0)$ в точку $\zeta = -1 + i(0+0)$. Соответствие точек в комплексных плоскостях z и ζ показано на рис. 4. Используя формулы Келдыша–Седова для решения этой смешанной краевой задачи, можно получить

$$w(\zeta) = \frac{\alpha}{\pi} \sqrt{\frac{1-\zeta}{\zeta}} \int_0^1 \sqrt{\frac{\xi}{1-\xi}} \frac{d\xi}{\zeta-\xi} + \frac{\sigma}{2\pi} \times \sqrt{\frac{1-\zeta}{\zeta}} \left(\int_1^b + \int_{-b}^0 \right) \sqrt{\frac{\xi}{1-\xi}} \frac{d\xi}{\zeta-\xi} + B \sqrt{\frac{1-\zeta}{\zeta}}, \quad (31)$$

где B – подлежащая определению каверны в случае плоской пластины. В частности, на рис. 5 отражены результаты применения следующих моделей замыкания каверны:

$$w(\zeta) = (B - \alpha) \sqrt{\frac{1-\zeta}{\zeta}} + \frac{\sigma}{2\pi} \sqrt{\frac{1-\zeta}{\zeta}} \times \left[\Phi(\zeta, \xi)_1^b + \Phi(\zeta, \xi)_{-b}^0 \right] + i\alpha, \quad (32)$$

где

$$\Phi(\zeta, \xi) = \int \sqrt{\frac{\xi}{\xi-1}} \frac{d\xi}{\zeta-\xi} = -2 \ln \frac{\sqrt{\xi} + \sqrt{\xi-1}}{\sqrt{2}} + 2 \sqrt{\frac{\zeta}{\zeta-1}} \times \ln \frac{\sqrt{\zeta(\xi-1)} + \sqrt{\xi(\zeta-1)}}{\sqrt{\zeta-\xi}}. \quad (33)$$

Требую исчезновения возмущений на бесконечности, можно получить $B = 0$. После дополнительных выкладок выражение для $w(\zeta)$ приобретает следующий вид:

$$w(\zeta) = i\alpha \left(1 - \sqrt{\frac{\zeta-1}{\zeta}} \right) - \frac{i\sigma}{2\pi} \left[2 \sqrt{\frac{\zeta-1}{\zeta}} \ln \frac{\sqrt{b} + \sqrt{b-1}}{\sqrt{b} - \sqrt{b-1}} + \ln \frac{\zeta+b}{\zeta-b} + 2 \ln \frac{\sqrt{\zeta(b-1)} + \sqrt{b(\zeta-1)}}{\sqrt{\zeta(b+1)} + \sqrt{b(\zeta-1)}} \right]. \quad (34)$$

Окончательно выражение для коэффициента подъемной силы получено в виде

$$\frac{C_y}{\alpha} = \bar{\sigma} b \sqrt{b(\sqrt{b+1} - \sqrt{b-1})}, \quad \bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\alpha}, \quad (35)$$

где $b = \sqrt{l}$.

Зависимость $\bar{\sigma}$ от l описывается следующей формулой:

$$\frac{1}{\bar{\sigma}} = \frac{\alpha}{\sigma} = \frac{1}{\pi} \times \left[\sqrt{b(\sqrt{b-1} + \sqrt{b+1})} - \ln \frac{\sqrt{b} + \sqrt{b+1}}{\sqrt{b} + \sqrt{b-1}} \right]. \quad (36)$$

Преыдушие два выражения могут рассматриваться как параметрическая зависимость коэффициента подъемной силы от числа кавитации и угла атаки или как C_y/α в функции от σ/α для линеаризованного суперкавитирующего потока относительно пластины при применении математической модели Тулина замыкания на двойные спиральные вихри. Заметим, что здесь для нахождения связи между числом кавитации σ и длиной каверны l предполагалось, что суммарное сопротивление системы каверна–след равно нулю. Последнее условие формально может быть записано так:

$$\text{Im} \oint_{\zeta=\infty} w^2(\zeta) \frac{dz}{d\zeta} d\zeta = 0. \quad (37)$$

Соответствующее вычисление сводится к нахождению вычета подынтегральной функции на бесконечности во вспомогательной плоскости ζ . На рис. 5 приведены кривые коэффициента подъемной силы, отнесенного к углу атаки, т.е. $C_y/\alpha = f(\sigma/\alpha)$ для различных линейных аналогов моделей замыкания каверны:

- 1) открытой схемы Тулина замыкания на два спиральных вихря;
- 2) схемы с использованием особенности возмущенной скорости типа ко-

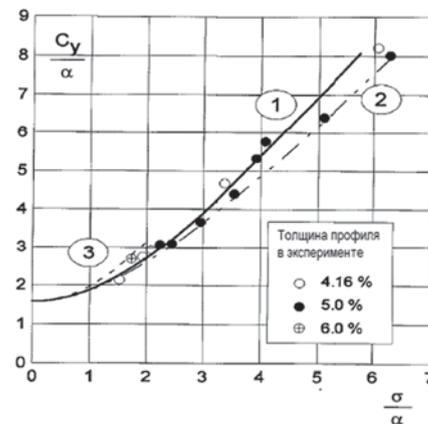


Рис. 5. Коэффициент C_y/α в функции от σ/α для различных линейных аналогов моделей замыкания каверны: 1 – двойной спиральной вихрь Тулина, 2 – схема Рябушинского и Эфроса–Гильбарга, 3 – модель Ву–Фабулы

рень квадратный в точке замыкания каверны;

3) схемы Ву–Фабулы, не содержащей особенности в точке замыкания каверны

На том же рисунке нанесены экспериментальные точки, полученные Ф.Ф. Болотины и Е.Б. Ануфриевым для серии сегментных профилей с относительной толщиной 4, 16, 5 и 6% [2]. Отметим, что в случае развитой каверны, начинающейся от передней кромки, обтекание сегментного профиля эквивалентно обтеканию плоской пластины. Из сравнения экспериментальных данных с расчетными следует, что согласование удовлетворительно не только для случая развитой кавитации (длинных каверны), но и в случае переходных режимов, когда $1 \leq l \leq 1.5$. Тулинская схема двойных спиральных вихрей дает удовлетворительные результаты по коэффициенту подъемной силы для отношений $\sigma/\alpha = 6$, т.е. практически до самой границы суперкавитации. Как видно, экспериментальные точки располагаются между схемами 1 и 2. Схема Ву–Фабулы позволяет получить значения C_y/α только для $\sigma/\alpha < 2$, т.е. для достаточно длинных каверн. Для значений σ/α , близких к 2, схема Ву–Фабулы дает несколько завышенные значения коэффициента подъемной силы.

СЛУЧАЙ НУЛЕВОГО ЧИСЛА КАВИТАЦИИ – АНАЛОГИЯ С ПОЛНОСТЬЮ СМОЧЕННЫМ ПРОФИЛЕМ

Простейшим и в то же время практичным является случай нулевого числа кавитации. При этом каверна теоретически имеет бесконечную длину. «Физическая» область потока в плоскости z переводится на вспомогательную нижнюю полуплоскость $\text{Im } \zeta = \eta < 0$ посредством отображающей функции $\zeta = -\sqrt{z}$. Как и ранее, нетрудно построить решение соответствующей краевой

задачи для $w(\zeta)$ по формуле Келдыша–Седова. Ограничиваясь случаем плоской пластины, приходим к следующей простой формуле:

$$w(\zeta) = \alpha \left(i - \sqrt{\frac{1-\zeta}{\zeta}} \right), \quad (38)$$

которая удовлетворяет требованию затухания возмущенных скоростей на бесконечности. Это свойство формулы (38) легко проверить. Действительно при больших $z \rightarrow \infty, \zeta \rightarrow \infty$

$$\sqrt{\frac{1-\zeta}{\zeta}} = i \left[1 - \frac{1}{2\zeta} + O\left(\frac{1}{\zeta^2}\right) \right],$$

$$w(\zeta) \sim \frac{i}{2\zeta} \rightarrow 0. \quad (39)$$

В частности, распределение возмущенной скорости на смоченной (нижней) стороне пластины ($\zeta \rightarrow \xi - i0, \xi \in (0,1)$) приобретает вид

$$u(\xi, 0-0) = -\alpha \sqrt{\frac{1-\xi}{\xi}}, \quad (40)$$

Обращаясь к классической теории обтекания полностью смоченного тонкого профиля, можно заключить, что этот результат совпадает с распределением возмущенной скорости на нижней стороне плоской пластины, помещенной в однородный поток на плоскости ζ . Это наводит на мысль об эквивалентности, имеющей место между исходным суперкавитирующим потоком в плоскости z и фиктивным некавитирующим (полностью смачивающим пластину) течением в плоскости ζ , на что впервые указал Тулин.

Следует отметить, что поскольку вся область течения жидкости была отображена на нижнюю полуплоскость, область $\text{Im} \zeta = \eta > 0$ не имеет физического смысла. Математически ее можно рассматривать как второй лист поверхности Римана для функции $\zeta = -\sqrt{z}$ или как область каверны. В связи с тем, что на границе каверны в плоскости ζ вещественная часть комплексно-сопряженной скорости $w(\zeta)$ равна нулю, можно использовать принцип Шварца для аналитического продолжения функции $w(\zeta)$ через действительную ось $\text{Re} \zeta = \xi$ [исключая разрез $\xi \in (0,1)$] при условии, что функция u является нечетной по аргументу η . Для того чтобы $w(\zeta) = u(\xi, \eta) + i v(\xi, \eta)$ была аналитической во всей плоскости ζ , из условий Коши–Римана следует, что функция v должна быть четной функцией η . Таким образом, подходящее продолжение в верхнюю полуплоскость $\text{Im} \zeta > 0$ обеспечивается соотношениями

$$u(\xi, \eta) = -u(\xi, -\eta), \quad (41)$$

$$v(\xi, \eta) = v(\xi, -\eta). \quad (42)$$

Продолженное таким образом на всю плоскость решение краевой задачи оказывается идентичным решению задачи обтекания несущего полностью смоченного профиля. В обоих случаях на задней кромке профиля следует выполнить условие Жуковского–Чаплыгина, а на бесконечности возмущенная скорость должна затухать.

Таким образом, решение задачи о суперкавитирующем тонком профиле при $\sigma = 0$ идентично обтеканию полностью смоченного профиля в плоскости ζ . Эта аналогия позволяет получить коэффициенты гидродинамических сил и моментов суперкавитирующего профиля по гидродинамическим коэффициентам фиктивного полностью смоченного профиля. Например, чтобы получить коэффициент подъемной силы C_y суперкавитирующей пластины необходимо проинтегрировать коэффициент давления C_p по смоченной части пластины, т.е. вычислить

$$C_y = \frac{2Y}{\rho U_0^2 c} = \int_0^1 C_p(x, 0-0) dx =$$

$$= -2 \int_0^1 u(x, 0-0) dx. \quad (43)$$

Переходя к интегрированию в плоскости ζ ($x = \xi^2$), можно продолжить формулу (43) следующим образом:

$$C_y = -2 \int_0^1 u(x, 0-0) dx =$$

$$= -2 \int_0^1 u(\xi, 0-0) \frac{dx}{d\xi} d\xi = -4 \int_0^1 u(\xi, 0-0) \xi d\xi.$$

В соответствии с принятым продолжением u в верхнюю полуплоскость ζ можно переписать (44) следующим образом:

$$C_y = -4 \int_0^1 u(\xi, 0-0) \xi d\xi =$$

$$= 2 \int_0^1 [u(\xi, 0+0) - u(\xi, 0-0)] \xi d\xi = \quad (45)$$

$$\int_0^1 [C_p(\xi, 0-0) - C_p(\xi, 0+0)] \xi d\xi = C_{m\zeta},$$

где $C_{m\zeta}$ – коэффициент продольного гидродинамического момента фиктивного полностью смоченного профиля с хордой $c_\zeta = \sqrt{c}$ в плоскости ζ . Этот коэффициент, рассчитанный относительно передней кромки фиктивной пластины профиля, определен как

$$C_{m\zeta} = \frac{2M_\zeta}{\rho U^2 c_\zeta^2} = \frac{2M_\zeta}{\rho U^2 \sqrt{c} \sqrt{c}}. \quad (46)$$

Аналогично можно показать, что коэффициент продольного гидродинамического момента суперкавитирующего профиля при ($\sigma = 0$) равен коэффициенту третьего момента фик-

тивного полностью смоченного профиля

$$C_m = \int_0^1 C_p(x, 0-0) x dx =$$

$$= \int_0^1 [C_p(\xi, 0-0) - C_p(\xi, 0+0)] \xi^3 d\xi. \quad (47)$$

Можно также показать, что коэффициент сопротивления суперкавитирующего профиля можно найти так

$$C_x = \frac{1}{8\pi} C_y^2 \quad (48)$$

Полезная эквивалентность впервые была установлена Тулиным и Буркартом в 1955 году. Для суперкавитирующей плоской пластины ($\sigma = 0$) при заданном угле атаки α соответствующие расчеты дают

$$C_y = \frac{\pi\alpha}{2}, \quad C_m = \frac{5\pi\alpha}{32}, \quad C_x = \frac{\pi\alpha^2}{2}. \quad (49)$$

Интересно, что коэффициент подъемной силы для суперкавитирующей пластины в четыре раза меньше, чем подобный коэффициент для полностью смоченной пластины и в два раза меньше, чем для глиссирующей плоской пластины. По сравнению с полностью смоченной плоской пластиной в данном случае центр давления смещен от одной четверти хорды до 5/16 хорды вниз по потоку от передней кромки. Заметим, что коэффициент сопротивления суперкавитирующей пластины, как нетрудно видеть, равен $C_y \alpha$, т.е. полная сила действует перпендикулярно пластине. Это отличается от случая полностью смоченной пластины, где в соответствии с парадоксом Даламбера вектор силы, действующей на профиль, направлен вертикально в связи с действием подсосывающей силы на передней кромке и результирующее сопротивление равно нулю. В случае суперкавитирующей пластины подсосывающая сила отсутствует, поскольку особенность типа квадратного корня эквивалентного полностью смачивающего потока в плоскости ζ в «физическом» плоскости переходит в особенность типа корень четвертой степени.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tulin M.P.* Supercavitating Flows-Small Perturbation Theory// Journal of Ship Research.– 1964.– Vol. 7.– No. 3, January.– P. 16–37.
2. *Басин М.А., Шадрин В.П.* Гидродинамика крыла вблизи границы раздела сред.–Л.: Судостроение.–1980.– 303 с.
3. *Rozhdestvensky K.V.* Supercavitating Flows – Small Perturbation Theory and Matched Asymptotics.– In RTO-AVT Lecture Series on «Supercavitating Flows» held at the von Karman Institute in Brussels, Belgium, 12–16 February 2001. ■

29 апреля 2020 г. исполнилось 75 лет ветерану Корабелки, заслуженному деятелю науки РФ, доктору технических наук, профессору Кириллу Всеволодовичу Рождественскому.

К.В. Рождественский поступил в Ленинградский кораблестроительный институт в 1963 г. после окончания школы с золотой медалью. По завершении с отличием института уже как инженер по специальности «Гидроаэродинамика» продолжил обучение в аспирантуре кафедры Гидромеханика (научный руководитель – профессор Я.И. Войткунский). Там же работал ассистентом и доцентом. В 1972 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Механика жидкости, газа и плазмы», а в 1982 г. – докторскую по специальности «Теория корабля» и получил звание профессора на кафедре Прикладной и вычислительной математики (ПиВМ) ЛКИ–СПбГМТУ. С 1984 по 2015 г. возглавлял кафедру Прикладной математики и математического моделирования (ПМиММ), активно участвовал в создании и был научным руководителем одного из первых в стране Межведомственного инженерного центра математического моделирования в судостроении (Минсудпром-Минобразования-ГКВТИ).

С 1982 по 1999 г. К.В. Рождественский был деканом Кораблестроительного факультета (ныне – факультет Кораблестроения и океанотехники). В это время были образованы кафедры Океанотехники и морских технологий и Технической эксплуатации и реновации, на базе кафедры ПиВМ появилась кафедра Вычислительной техники и информационных технологий. С 2000 г. – проректор по международному сотрудничеству в области науки и образования.

Научные интересы и основные публикации К.В. Рождественского связаны с теоретической гидроаэродинамикой (в том числе несущих поверхностей экранопланов, судов и аппаратов с динамическим поддержанием, теорией суперкавитирующих тел и крыльев, теорией движителя типа «машущее крыло», несущих систем с интерцепторами, подводных и волновых глайдеров, динамикой пузырьковой кавитации, движением судов на мелководье, гидродинамикой и динамикой судов, движимых энергией волн), применением сингулярных асимптотических методов в механике жидкости и газа.

К.В. Рождественскому принадлежит более 140 публикаций, включая две монографии: «Метод сращиваемых разложений и гидродинамике крыла» (Л., Судостроение, 1979) и «Aerodynamics of a Lifting System in Extreme Ground Effect» (Springer, Heidelberg-New York-London-Tokyo, 2000), два учебника: «Гидроаэродинамика быстродвижущихся судов с динамическим поддержанием» (Л., Судостроение 1991, совместно с Н.Б. Плисовым и В.К. Трешко-

К.В. РОЖДЕСТВЕНСКОМУ - 75 ЛЕТ



вым) и «Computer modeling and simulation of dynamic systems using Wolfram System Modeler» (Springer Nature, Heidelberg, 2020, в составе коллектива кафедры ПМиММ). Международную известность получили опубликованные им в журнале «Progress in Aerospace Sciences» обзоры: по аппаратам, использующим эффект экрана («Wing-in-ground effect vehicles», 2006) и по аэрогидродинамике движителей типа «машущее крыло» («Aerohydrodynamics of flapping – wing propulsors», совместно с В.А. Рыжовым, 2003). Он подготовил 11 кандидатов технических наук, был консультантом при подготовке пяти докторов технических наук.

Его вклад в российскую и международную науку признан и в нашей стране, и за рубежом. В 2000 г. указом Президента РФ К.В. Рождественский удостоен звания заслуженного деятеля науки, в 1998 г. награжден Denny Gold Medal Института морского инжиниринга, науки и технологии (ИМИНТ, Лондон), с 2012 г. является его почетным вице-президентом.

К.В. Рождественский проходил научно-педагогические стажировки в Лаборатории информатики, механики и инженерных проблем Национального центра научных исследований Парижского университета, Мичиганском университете (Энн Арбор), и Калифорнийском университете (Беркли). Был приглашенным профессором в Виргинском Политехническом институте и университете Нового Орлеана (США), Техническом университете Гамбург-Харбург (Германия), Национальной высшей технической школе «Ecole Centrale» (Нант, Франция), Китайском исследовательском центре по кораблестроению. С 1985 по 1993 г. был представителем СССР и РФ в Техническом комитете по высокоскоростным морским аппаратам Международной конференции опытовых бассейнов (High-Speed Marine Vehicles Committee of the ITTC).

Кирилл Всеволодович ведет широкую научно-организационную работу: с 2012 г.

он – вице-президент НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова. В последние годы – член постоянно действующих международных комитетов серийных конференций по судостроению и морской технике, в частности, FAST (по скоростному морскому транспорту), SAV (по кавитации), РАAMES-AMEC (Технические конференции Паназиатской Ассоциации морских инженерных обществ), ICNAME (Инновационное сотрудничество в области кораблестроения и морской техники). Председатель и сопредседатель международных конференций, организованных СПбГМТУ (и совместно с НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова): AiM'94 и AiM'96 (асимптотические методы в механике), MEET99 (Морское инженерное образование и тренинг), GEM2000 (по судам и аппаратам, использующим для поддержания эффект близости граничной поверхности), FAST2005, SuperFAST2008 (высокоскоростные аппараты, движущиеся под водой, над водой и на поверхности), WMTCS2012 (Всемирная морская технологическая конференция), NAOE2016 (Кораблестроение и океанотехника), MarineRobotics2017 и MarineRobotics2019.

Он – член редколлегий журналов «Морской вестник», «Морские интеллектуальные технологии», «Journal of Marine Science & Applications» (Springer, Harbin Engineering University), журнала Российского морского регистра судоходства и др.

К.В. Рождественский принимает активное участие в работе диссертационных и научно-технических советов. В 1985–2015 гг. он – председатель докторского диссертационного совета по механике (01.02.05. «Механика жидкости, газа и плазмы», 01.02.04. «Механика твердого деформируемого тела»); в настоящее время – член докторских диссертационных советов Д212.228.01 по кораблестроительным специальностям (01.02.05. «Теория корабля и строительная механика») и объединенного совета Д999.077.02 по специальности «История науки и техники» на базе СПбГМТУ и РГПУ им. А.И. Герцена.

Кирилл Всеволодович был организатором технических визитов специалистов СПбГМТУ и судостроительной промышленности РФ в ведущие организации и предприятия стран с развитым судостроением и морским инжинирингом, в том числе в Великобританию, Австралию, США, Южную Корею, Японию, Сингапур.

Редколлегия и редсовет журнала «Морской вестник» поздравляют Кирилла Всеволодовича и желают юбиляру здоровья и успешной реализации всех планов на благо развития отечественного судостроения.

Цифровая трансформация, которая сегодня является движущей силой развития экономики, проявляется в числе прочих для нужд судостроения во внедрении цифровой оптоэлектронной техники для решения измерительных задач при строительстве судов и кораблей. Применение компьютеризированных 3D-технологий на базе лазерного измерительного оборудования, бесспорно, обеспечивает множество преимуществ, прежде всего это повышение качества изготавливаемой продукции, повышение точностных характеристик, существенное снижение трудоемкости, сокращение сроков выполнения заказа и многое другое. Актуальность расширения спектра применения оптоэлектронных приборов и поиск принципиально новых технологических решений для конкретных задач в судостроительной отрасли не вызывает сомнений.

На сегодняшний день для разметки судовых конструкций при строительстве корпуса, внутреннего насыщения, монтажа технических устройств используется традиционный измерительный и разметочный инструмент (рулетки, уровни, штангенциркули, транспортеры, отвесы, теодолиты и пр.), кроме того, применяются шаблоны, имитаторы, каркасы различных конструкций. При активном переходе к внедрению 3D-измерительных технологий в судостроении приобретен опыт использования оптоэлектронных средств измерений (СИ), а именно: лазерных тахеометров, лазерных трекеров и лазерных сканеров. Актуальность настоящей статьи обусловлена интенсивным развитием исследований возможности применения оптоэлектронных СИ для решения судостроительных задач, в частности, лазерного проецирования, широко распространенных в авиастроении. В статье на основании экспериментальных работ рассматривается возможность применения принципиально нового технического решения, а именно лазерного проектора в составе измерительно-проекторного разметочного комплекса.

С помощью проектора лазерный луч проецируется непосредственно на рабочую поверхность с субмиллиметровой точностью. Применение лазерного проектора для разметочных работ в судостроении в процессе сборки судовых конструкций и насыщения судов предполагает проецирование контуров стыкуемых элементов непосредственно на рабочую поверхность объекта. Информация о проецируемых контурах загружается в лазерный проектор из 3D САД-модели [1], контур формируется при перемещении лазерного луча проектора по заданной траектории, управляемой системой регулировки зеркал

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПРОЕКТОРА В СОСТАВЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ПРОЕКЦИОННОГО РАЗМЕТОЧНОГО КОМПЛЕКСА В СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

К.В. Цветков, аспирант СПбГЭТУ «ЛЭТИ», инженер-технолог,
Е.В. Кипреев, ведущий инженер-технолог,
О.В. Сыркова, канд. хим. наук, инженер-метролог,
В.А. Синицкий, канд. техн. наук, главный специалист,
АО «ЦТСС»,
С.Ф. Мылов, строитель АО «ЦС «Звездочка»,
контакт. тел. +7 (904) 634 6550, (812) 610 6523, 610 6520

посредством угловых поворотов. Углы поворотов зеркал вычисляют в соответствии с данными из САД-модели проецируемого контура и результатами привязки проектора к объекту. Система серводвигателей в комбинации с цифровым микровекторным алгоритмом управления обеспечивает минимальные динамические ошибки [2], улучшая повторяемость контура, в нашем случае – точность лазерной разметки. В результате на рабочей поверхности объекта формируется требуемый контур стыкуемого элемента, по которому возможна резка в чистовой размер и/или монтаж.

Для корректного выбора метода разметки следует оценить габариты и сложность геометрии объекта. Все разметочные работы при строительстве и насыщении судов можно условно разделить на группы в зависимости от условий выполнения разметки: по габаритам объекта (на малогабаритные и крупногабаритные); по сложности конструкций (прямолинейные и сложнопрофильные); по точности (высокоточные и средней точности).

Применение 3D проецирующих лазерных систем для малогабаритных конструкций чаще всего нерационально, так как большое количество подготовительных работ, позволяющих использовать проектор, может сделать процесс нерентабельным в сравнении с традиционным методом с помощью слесарного разметочного инструмента.

Использование лазерного проектора для разметки крупногабаритных объектов, лимитированное зоной покрытия им (т. е. неспособностью проектора захватить объект целиком), компенсируется возможностью разметки крупногабаритного объекта по частям и предполагает применение лазерного проецирования.

Разметка конструкций с поверхностями сложной формы традиционно про-

водится по шаблонам или данным плаза и является наиболее трудоемкой из-за большого количества сопутствующих работ. Оптимальным решением этих задач может быть применение 3D проецирующих систем с целью существенного снижения трудоемкости, сроков выполнения работ, отказа от хранения и изготовления шаблонов. При выполнении разметочных работ на прямолинейных конструкциях при небольших объемах работ оптимальным может оставаться применение либо традиционных, либо трехмерных оптоэлектронных СИ без лазерного проецирования. При больших объемах разметочных работ на прямолинейных объектах снижение трудоемкости и сроков выполнения работ может быть достигнуто путем внедрения новых технических решений с использованием лазерного проектора.

Для высокоточных ($< 0,5$ мм) разметочных работ целесообразно применять измерительные системы на базе оптических и оптоэлектронных СИ в комплекте со специальной оснасткой. Применение систем проецирования в данном случае нерационально, поскольку отсутствует возможность инструментального контроля качества нанесения разметки. Выполнение разметочных работ средней точности ($\geq 0,5$ мм) рационально выполнять с помощью систем лазерного проецирования.

На основании вышеизложенного критериями применения 3D лазерного проектора для разметки крупногабаритных конструкций с целью существенного снижения трудоемкости целесообразно в следующих случаях:

- для нанесения разметки на поверхностях со сложной геометрией;
- для выполнения на рабочей поверхности объекта большого количества разметочных работ.

Поскольку лазерный проектор – это не СИ, его корректное использование и предупреждение возможных проблем

с погрешностью проецируемого контура возможно в тандеме со СИ, внесенным в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (Реестр СИ). Таким СИ может быть использован, например, лазерный трекер, в функции которого входит создание опорной системы координат и периодическая проверка стабильности как самого проектора, так и объекта, на который осуществляется проецирование.

Наилучшие результаты были достигнуты при использовании лазерного проектора одновременно с дискретными и сканирующими СИ в составе измерительно-проекционного разметочного комплекса. Дискретные СИ, такие как лазерные трекеры и оптоэлектронные тахеометры, позволяют создать высокоточную систему баз, организовать локальную опорную сеть (ЛОС) вокруг и/или внутри объекта, предназначенную для определения собственного положения проектора относительно системы координат объекта. Сканирующие измерительные системы типа лазерных сканеров за счет высокой плотности измерения объектных точек позволяют создать или уточнить существующую модель поверхности, на которую должна наноситься разметка.

Технология выполнения работ при помощи измерительно-проекционного разметочного комплекса была рассмотрена на примере комплекса, состоящего из лазерного сканера Surphaser 25HSX, лазерного трекера Leica AT403 и лазерного проектора LPT8. Работы проводились на базе центра высокоточных измерений

АО «ЦТСС» на имитаторе сложнопрофильной рабочей поверхности объекта.

Первоочередной задачей при совместном функционировании всех измерительных систем, используемых в работе измерительно-проекционного разметочного комплекса, является обеспечение единства баз. Все лазерные приборы имеют оптическую обратную связь для определения местоположения и ориентации самого прибора относительно системы координат объекта, таким образом, перед началом работ требуется их привязка к опорным точкам, расположенным на поверхности объекта или вокруг него. Среди опорных точек могут быть выбраны и заданы контрольные точки для контроля стабильности СИ относительно них. Привязка проектора к объекту осуществляется посредством сканирования специальных светоотражающих маркеров (марок), устанавливаемых на оснастку или непосредственно на объект.

В связи с тем, что в данном комплексе эталонным СИ является лазер-

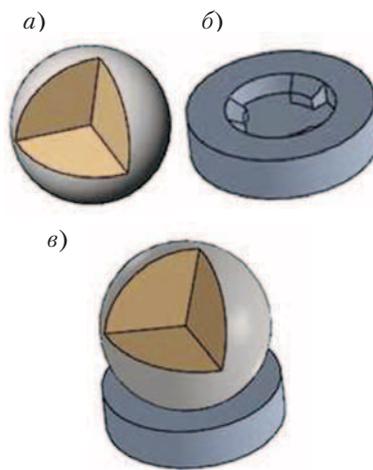


Рис. 1. Штатная измерительная оснастка: а – призмный отражатель в сферическом корпусе; б – специализированный адаптер для установки отражателя; в – отражатель, установленный в адаптер

ный трекер, система баз задавалась трекером с помощью призмного отражателя в сферическом корпусе, устанавливаемого поочередно на специализированные адаптеры. Указанная оснастка входит в штатную измерительную оснастку лазерного трекера. На рис. 1 изображены маркер лазерного трекера и один из вариантов адаптера.

Для совместного функционирования лазерного трекера и лазерного сканера на 3D принтере была изготовлена технологическая оснастка для сканера, представляющая собой маркер типа «Песочные часы» (рис. 2, а). Для функционирования лазерного проектора в составе измерительно-проекционного комплекса для единства баз была разработана, спроектирована и изготов-

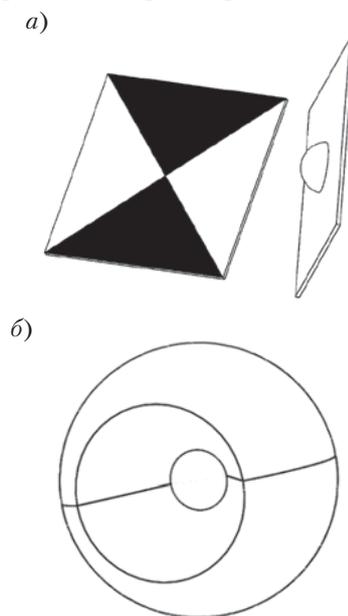


Рис. 2. Маркеры точек локальной опорной сети для: а – лазерных проекторов, б-лазерных сканеров

лена на 3D-принтере технологическая оснастка для проектора, (см.рис. 2, б). Разработанная оснастка представляет собой специальный маркер с фрагментами сферической формы, идентичной отражателю трекера, при этом центр сферического сегмента одновременно служит центром маркера сканера, проектора и совпадает с центром призмного отражателя трекера. Идея заключается в совместности по повторяемости координат геометрического центра отражателей для их поочередного размещения в специализированных адаптерах, неподвижно закрепленных на конструкциях.

Лазерным трекером были измерены координаты опорных точек и назначена система координат объекта – локальная опорная сеть (ЛОС). Точки ЛОС были материализованы с применением призмного отражателя, устанавливаемого в адаптеры, жестко зафиксированные в определенных местах, для поочередной установки в них же соответствующих маркеров для каждого прибора, с целью единства баз всех измерительных систем, используемых в работе измерительно-проекционного разметочного комплекса. Для проверки стабильности всего измерительного процесса были выбраны несколько точек (не более трех) из состава опорных, в дальнейшем используемых как контрольные, в том числе точка как на объекте, так и вне. Схема данной операции с использованием лазерного трекера показана на рис. 3.

После создания ЛОС для проведения дальнейших работ в адаптеры были помещены сканерные маркеры со сферическим сегментом (рис. 4), что обеспечило единство баз сканера и трекера с целью их дальнейшего совместного функционирования. Лазерным сканером был отсканирован объект – имитатор сложнопрофильного участка обшивки судовой корпусной конструкции в виде изогнутого листа на стойке, на который будут проецироваться контуры стыкуемых элементов. Выполняемая операция с использованием лазерного сканера показана на рис. 4.

Полученная с использованием сканера информация для последующей обработки загружалась в программное обеспечение Spatial Analyzer (ПО SA). В результате было сформировано и привязано к системе координат облако точек (рис. 5, а). С целью дальнейшей передачи данных для лазерного проецирования на основании сформированного облака точек была получена NURBS-модель поверхности объекта, на которую впоследствии будет проецироваться контур, изображенный на рис. 5, б.

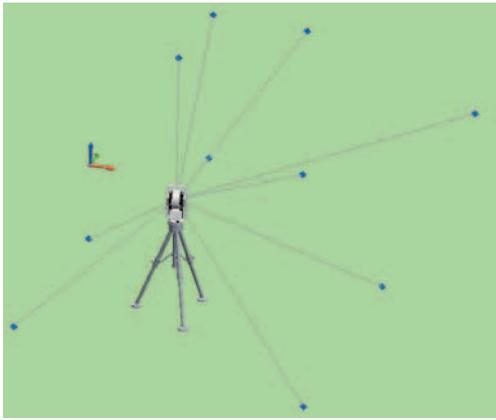
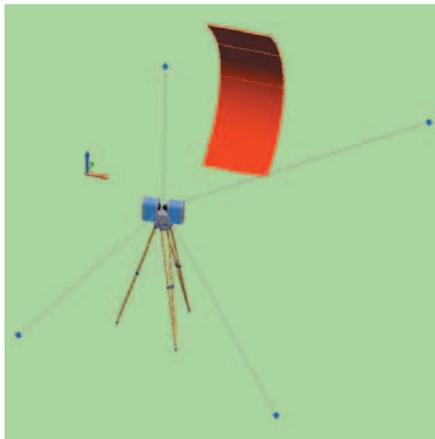


Рис. 3. Схема создания и измерения точек локальной опорной сети

В программе SA могут быть подгружены уже имеющиеся модели стыкуемых элементов из 3D CAD или модели стыкуемых элементов, полученные путем измерений с последующей обработкой. Для проведения эксперимента, иллюстрирующего возможности применения проектора, были подгружены смоделированные трехмерные объекты

а)



б)

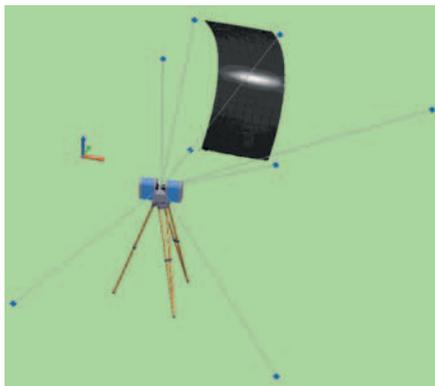
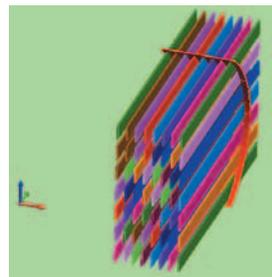


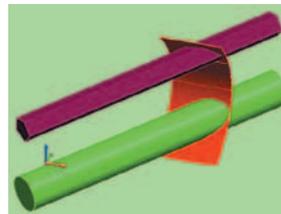
Рис. 5. Последовательность обработки данных сканирования и получение 3D-модели объекта; а – графическое изображение облака точек, полученного при сканировании объекта, и точек ЛОС; б – графическое изображение NURBS-модели поверхности объекта – полигональная модель

некоторых стыкуемых элементов. Для подтверждения широких возможностей применения лазерного проектора с целью разметки требуемых контуров на сложнопрофильной поверхности стыкуемые элементы имели различную геометрию и пространственное положение. На рис. 6 показаны примеры пересечения рабочей поверхности раз-

а)



б)



в)

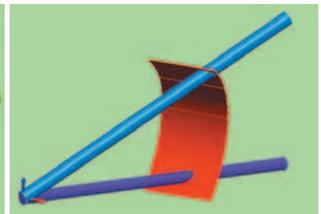


Рис. 6. Отображение моделей элементов насыщения, пересекающих сложнопрофильный объект: а – прохождение параллельных пластин через корпус; б – прохождение двух параллельных трубопроводов разного диаметра; в – прохождение двух труб, выходящих из одной точки под разными углами

мечаемого объекта различными моделями стыкуемых элементов, контуры которых должны быть спроецированы для нанесения разметки, обеспечивающей стыковку элементов и объекта. Проецируемый контур формируется при пересечении рабочей поверхности объекта, на котором выполняется разметка, с поверхностью стыкуемого элемента.

лазерного проектора. Образовавшиеся контуры показаны на рис. 7.

В связи с тем, что лазерный проектор работает с периметрами, заданными координатами вершин, которые при проецировании последовательно обходятся лучом, на полученных сплайновых кривых были построены точки с шагом 2 мм. Построенные точки импортируются в соответствии

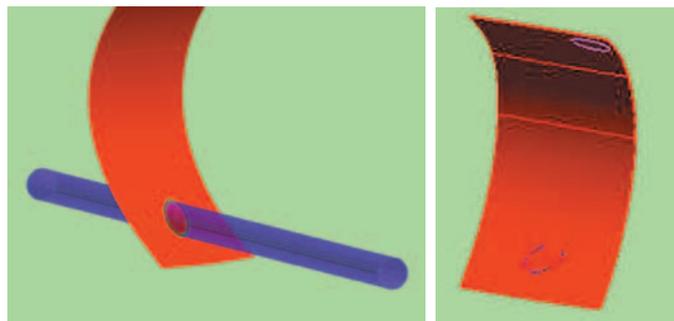


Рис. 7. Графическое изображение сплайновых кривых контуров на модели поверхности объекта, полученных при пересечении ее с моделями стыковочных элементов



Рис. 4. Проведение измерений при помощи лазерного сканера и маркеров типа «Песочные часы»

с архитектурой базы данных проектора для всех групп точек, полученных по сплайновым кривым, через текстовый файл, содержащий информацию о координатах точек.

Для проецирования контуров на реальную рабочую поверхность объекта лазерный проектор устанавливался напротив размечаемой поверхности и выполнялась его подготовка к работе. Непосредственно для проецирования необходима привязка проектора к объекту. Маркеры отражают лазерный луч проектора обратно в систему, где он фиксируется специальным фотоэлементом, проводится математическая обработка сигналов обратной связи с последующим расчетом расстояния до объекта и относительным расположением проектора в пространстве, информация о местонахождении маркеров совмещается с данными из базы данных проектора, содержащей координаты точек ЛОС, созданная трекером. Для ориентации проектора в адаптеры были установлены разработанные в АО «ЦТСС» сферические отражатели – маркеры точек ЛОС для лазерных проекторов. Процесс поиска и распознавания точек ЛОС лазерным проектором проиллюстрирован на рис. 8.



Рис. 8. Распознавание точек локальной сети с помощью разработанного в АО «ЦТСС» маркера лазерного проектора

После определения положения лазерного проектора в пространстве по точкам сети, был запущен процесс проецирования контуров стыкуемых элементов на реальную поверхность имитатора. Точность разметки такова, что полученные на реальной поверхности контуры можно использовать для монтажа и резки в чистовой размер. На рис. 9 и рис. 10 проиллюстрированы контуры моделей, проецируемые при

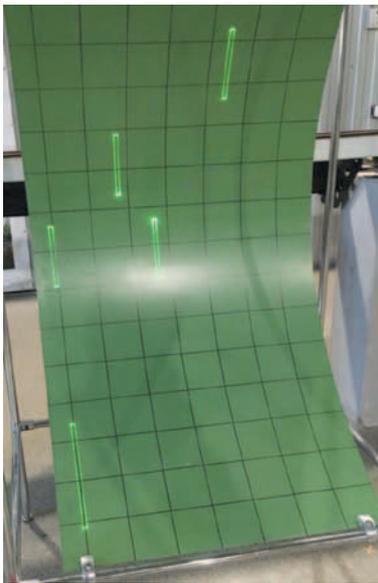


Рис. 9. Проецирование нескольких контуров из массива равноудаленных элементов прямоугольного сечения

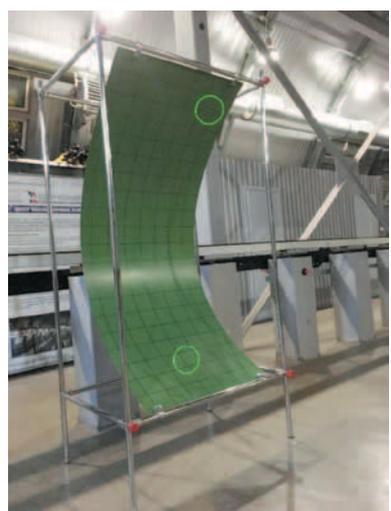
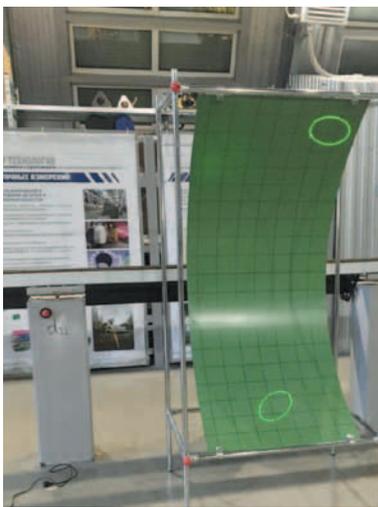


Рис. 10. Проецирование контуров двух цилиндрических элементов, направленных из одной точки в разных направлениях

стыковке разных геометрических элементов и под разными углами, которые использовались в работе.

Преимущество лазерного проектирования, помимо прочих, заключается в том, что оно позволяет проецировать в трехмерном пространстве. В результате вид контура на размечаемой поверхности будет зависеть от угла, под которым проецируемый стыковочный элемент пересекает рабочую поверхность и профильности этой поверхности (рис. 11).

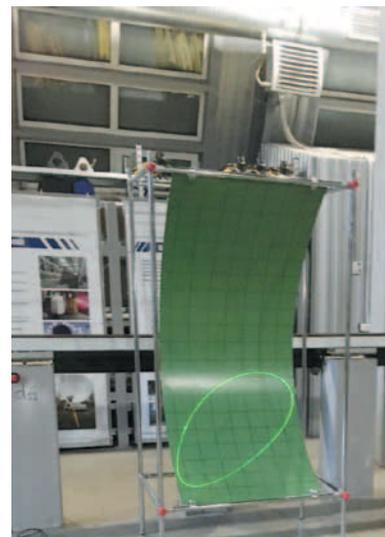


Рис. 11. Проецирование контура цилиндрического объекта под разными углами и на разные участки сложнопрофильной поверхности

Использование лазерного проектора одновременно с дискретным и сканирующим СИ в составе измерительно-проекционного разметочного комплекса открывает возможности выполнения разметочных работ без шаблонов на сложнопрофильных конструкциях с высокой точностью и меньшей трудоемкостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазерный проектор LPT8: Инструкция пользователя, 2011. ■

АО «Компрессор» было основано в 1877 г. в качестве предприятия по производству артиллерийского вооружения для российской армии и флота. В 1959 г. конструкторское бюро СКБ-103 Ленинградского компрессорного завода №103 было преобразовано в Центральное конструкторское бюро ЦКБ «Компрессор».

В настоящее время входит в состав холдинга АО «Компрессор», которое по настоящий день занимает лидирующие позиции по поставкам специализированных компрессоров для подводных лодок и кораблей ВМФ. Компания включена в «Единый Реестр подрядчиков и поставщиков оборудования» ПАО «Газпром», член ассоциации производителей оборудования «Новые технологии газовой отрасли» и «Национальной газомоторной ассоциации».

За время существования ЦКБ «Компрессор» разработаны различные типоряды специализированных компрессоров и компрессорных станций: свободнопоршневые дизель-компрессоры и станции, кривошипно-шатунные и аксиально-поршневые электрокомпрессоры и станции, винтовые, мембранные компрессоры для сжатия воздуха и различных газов (водород, природный газ, азот, кислород) на различные уровни давления от 1,0 до 40,0 МПа. На протяжении истории ЦКБ «Компрессор» являлось головным разработчиком компрессорного оборудования для отечественного судостроения. На инновационные конструкторские решения получено 440 патентов на изобретения.

По настоящий день АО «Компрессор» занимает лидирующие позиции по поставкам специализированных компрессоров для подводных лодок и кораблей ВМФ. Компания включена в «Единый Реестр подрядчиков и поставщиков оборудования» ПАО «Газпром», член ассоциации производителей оборудования «Новые технологии газовой отрасли» и «Национальной газомоторной ассоциации».

Система менеджмента качества компании сертифицирована IQNET на соответствие ISO 9001-2015, и ИНТЕР-ГАЗСЕРТ на соответствие СТО Газпром 9001-2012. Предприятие каждый год осваивает новые виды продукции. При создании новых образцов оно сотрудничает с крупными научными, проектными и производственными организациями Санкт-Петербурга, что позволяет создавать уникальные изделия для сложных наукоемких проектов судостроения и нефтегазовой отрасли. АО «Компрессор» выпускает широкий ассортимент серийных блочных установок подготовки топливного газа, холодильные установки, компрессоры и блочные компрессорные станции с ко-

АЗОТНЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ КОРАБЛЕЙ ВМФ, СПГ-ТАНКЕРОВ И ЛЕДОКОЛЬНОГО ФЛОТА НА СПГ

Л.Г. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., ген. конструктор, председатель Совета директоров,
А.В. Бураков, начальник ЦКБ,
А.С. Перминов, начальник отдела,
С.Н. Серебrenников, начальник сектора,
О.К. Котов, вед. инженер, АО «Компрессор»,
контакт. тел. (812) 295 5090

нечным давлением от 0,2 до 42,0 МПа для сжатия различных газов (воздух, азот, аргон, природный газ, кислород, водород, углекислый газ и т.д.).

Одна из сфер деятельности предприятия – создание компрессорных установок и станций для получения азота из воздуха. В настоящее время для снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в промышленности и обеспечения безопасности газоопасных и огневых работ на промышленных объектах, в черной и цветной металлургии, на шахтных выработках, магистральных и технологических трубопроводах, в химической, нефтегазовой и в других отраслях промышленности все чаще применяют азотные технологии, что объясняется химическими свойствами азота – доступного инертного газа, взрывобезопасного и не поддерживающего горение. Азотные установки находят применение в кораблестроении и в гражданском судостроении. Так, в ВМФ азотные установки используются:

- на кораблях и вспомогательных судах, имеющих вертолетную площадку, с целью продувки топливного трубопровода и наддува баков с жидким топливом (керосином) и в процессе заполнения авиационных баков;
- на тяжелых авианесущих крейсерах (например, пр. 11435) и больших десантных кораблях (пр. 11711) в корабельной газовой системе для заполнения баков самолетов азотом высокой чистоты с низким влагосодержанием;
- для создания инертной газовой среды в подводных лодках с целью предупреждения пожаров в их обитаемых отсеках [1] либо с целью тушения пожаров [2];
- для берегового обеспечения баз надводных кораблей и подводных лодок с целью пополнения бортовых запасов азота, проведения пневматических испытаний, наддув для выгрузки горючих жидкостей, продувки емкостей перед наполнением и очисткой;
- для ремонтных плавучих баз, плавучих доков, судоремонтных предпри-

ятий с целью обеспечения безопасности газоопасных, сварочных работ, продувки и испытания, наддува емкостей, топливных баков.

В гражданском судостроении азотные установки используются:

- на СПГ-танкерах и ледоколах в качестве охлаждающего агента в установках повторного сжижения отпарного газа;
- на атомных ледоколах для подачи азота в систему газовой компенсации давления подпитки первого контура в аммиачном водно-химическом режиме [3];
- на СПГ-танкерах и ледоколах, содержащих вертолетную площадку, с целью продувки топливного трубопровода и наддува баков с топливом и в процессе заполнения авиационных баков.

Этим не исчерпываются области применения азотных установок, так как их можно адаптировать и интегрировать в другие системы, применяемые в ВМФ и на гражданском флоте.

Для стационарных объектов, потребляющих азот, существует две принципиальные возможности его получения: производство с помощью собственной воздухоразделительной установки и приобретение в жидком или газообразном виде у предприятия-поставщика. Для транспортных средств, самолетов, кораблей целесообразно получать азот непосредственно на борту с помощью мобильных малогабаритных устройств.

Используются три основных способа генерации азота: криогенный, адсорбционный и мембранный. В табл. 1 приведено сравнение методов генерации азота.

С целью выполнения технологических операций в промышленных установках для Министерства обороны и ВМФ с целью получения азота с минимальными эксплуатационными затратами целесообразно применять мембранные технологии разделения воздуха, основанные на принципе избирательной проницаемости специальных полимерных мембран. Принцип действия мембранных газоразделительных установок заклю-

Сравнение основных методов генерации азота

Показатель	Метод генерации азота		
	Криогенный	Адсорбционный	Мембранный
Состояние продукта	Газообразное и /или жидкое	Газообразное	Газообразное
Чистота азота, %	99,9-99,999	95,0-99,995	90,0-99,5
Производительность, $\text{нм}^3/\text{ч}$	300-30000	5-3000	5 – 6000
Принцип работы	Глубокое охлаждение воздуха с низкотемпературной ректификацией	Поглощение компонентов воздуха адсорбентом	Разделение компонентов воздуха с помощью мембраны
Эксплуатационные затраты	Значительные	Средние	Минимальные

чается в различной скорости проникновения газов через полимерную мембрану под действием перепада парциальных давлений на мембране. В мембранную установку подается предварительно очищенный сжатый воздух, а движущей силой разделения является разность парциальных давлений каждого компонента воздуха по обе стороны мембраны, обуславливающая различную скорость проникновения. В соответствии с этим компоненты воздуха можно условно разделить на два класса: *легкопроницающие* (ЛПК), или «быстрые газы»; *труднопроницающие* (ТПК), или «медленные газы». При попадании сжатого воздуха в надмембранное пространство «быстрые газы» проникают через мембрану в зону низкого давления, таким образом, газ на выходе из мембраны обогащается легкопроницающим компонентом. Непроницаемая часть воздуха обогащается труднопроницающим компонентом и выводится из надмембранного пространства. Мембранный способ генерации азота является наиболее простым, но он не дает высокой степени чистоты азота. Процесс эксплуатации мембранной установки безопасен, он полностью автоматизирован и не требует присутствия человека ни на одном из этапов работы. Мембрана не чувствительна к влаге и не требует высокой очистки воздуха, что позволяет работать оборудованию в условиях высокозагрязненного воздуха промышленных районов без снижения производительности (при круглосуточной загрузке семь дней в неделю). Мембранная установка в силу отсутствия движущихся частей является высоконадежным оборудованием и не требует сервисных и ремонтных работ в течение всего периода эксплуатации. Обслуживание заключается в замене воздушных фильтров (два раза в год при круглосуточной загрузке).

Для широкого круга потребителей нефтегазового сектора и энергетики АО «Компрессор» разработало установки типа МАУК [4] и готово осуществлять поставки данных установок со следующими диапазонами рабочих параметров:

- чистота получаемого азота – от 90 до 99,9 % (об.);

- производительность по продуктовой азоту – от 0,2 до 20 $\text{нм}^3/\text{мин}$ (от 12 до 1200 $\text{нм}^3/\text{ч}$);
- конечное давление – от 0,8 до 42,0 МПа.

Мембранные установки включают в себя воздушный компрессор, фильтры очистки и осушки воздуха, газоразделительные модули, азотный ресивер, блок управления, приборы контроля концентрации кислорода в выдаваемой газовой смеси, запорную и регуливающую арматуру, при необходимости дожимающий азотный компрессор.

Для ледоколов-разведчиков пр. 23550 (проектная организация – ЦМКБ «Алмаз», завод-строитель – АО «Адмиралтейские верфи», заказчик – Министерство обороны РФ) в 2018 г. разработана и поставлена на производство мембранная азотная установка компрессорная МАУК20/99/250 с приемкой РМРС. Параметры установки указаны ниже.

а)



б)



Рис. 1. МАУК20/99/250: а – вид спереди, б – вид сзади

Основные характеристики МАУК 20/99/250

Параметр	Значение
Объемная доля технического газообразного азота 2 сорта ГОСТ 9293–74, %, не менее	99,0
Объемная производительность при начальных параметрах: давления 0,1 МПа (760 мм рт. ст.) и температуре 293 К (плюс 20 °С), $\text{м}^3/\text{ч}$, не менее	18
Температурный диапазон окружающей среды (относительная влажность воздуха до 98 % при температуре плюс 25 °С) на входе в МАУК, °С	5 – 55
Температура точки росы азота на выходе, приведенная к атмосферному давлению, °С	– 55
Давление азота на выходе, МПа	25
Напряжение питания установки от источника трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, В	380
Габаритные размеры, Д×Ш×В, мм	1750×1500×1950
Масса МАУК, кг	1500±10 %

Внешний вид установки показан на рис. 1, а и б.

Основным оборудованием, входящим в мембранную азотную установку, являются компрессорные агрегаты и воздухоразделительные мембранные модули, взаимодействие которых по установленному алгоритму позволяет обеспечить требуемые параметры выдачи азота потребителю. Большинство отечественных поставщиков мембранных азотных установок под видом «изготовления» просто перепродают иностранные азотные установки либо используют от 80 до 100% иностранных комплектующих, не понимают физических основ работы узлов, не несут ответственности и не гарантируют качественную работу установок. АО «Компрессор» – единственное предприятие с собственным запатентованным дожимающим компрессором [6] полностью российского производства, который заменяет бустеры иностранного производства [7].

АО «Компрессор» с 2005 г. производит азотные установки, проводит углубленные исследования полимерных газоразделительных мембран и занимается локализацией производства мембранных модулей. При испытаниях мембран (при постановке на производство МАУК20/99/250) выявлены максимально энергоэффективный полимерный мембранный материал и режим получения азота в заданных условиях работы.

Воздухоразделительная эффективность мембраны определяется параметром

Полимеры для газоразделительных мембран и изготовители полволоконных мембранных модулей

Полимер, из которого изготовлена мембрана	Газопроницаемость по кислороду P(O ₂), Баррер	Селективность α (O ₂ /N ₂)	Изготовители мембранных модулей
Полиимид (ПИ), Polyimide, polyaramide	0,27	6,9	Air Liquide MEDAL (Франция)
Полисульфон, Polysulfone	1,4	5,6	Airproducts (США) SIM (Ю.Корея)
Полиимид (ПИ), Polyimide	0,27	6,9	Evonik (Австрия)
Тетрабром-поликарбонат (ТБПК), Tetrabromepolycarbonate	1,4	7,6	IGS Generon membrane technology (США)
Полифениленоксид (ППО), Polyphenylene oxide	0,4	3,9	Parker (США)
Полиимид/Polyimide (ПИ), Uplex	0,27	6,9	UBE membranes (Япония)
Ацетат целлюлозы (АЦ), Separex	1,1	4,5	UOP LLC, A Honeywell Company (США)

рами трансмембранного газопереноса материала рабочего селективного слоя (0,1–0,01 мкм) мембраны: *газопроницаемостью* и *селективностью*. В зависимости от соотношения газопроницаемости и селективности полимера, использованного при получении мембраны, можно подобрать инженерное решение для выбора схемы воздухоразделительного процесса.

Основные материалы, применяемые для изготовления воздухоразделительных мембран, и компании, производящие мембраны в промышленном масштабе, приведены в табл. 2.

На молекулярном уровне на процесс мембранного разделения газа существенно влияет величина удельной поверхности мембраны, в связи с чем в промышленности применяются преимущественно полые волокна, поскольку они имеют более высокую эффективную площадь поверхности на единицу объема мембранного модуля по сравнению с другими.

Плотность упаковки волокон (удельная площадь на единицу объема) для полволоконных мембранных модулей >10 000 м²/м³. Площадь мембраны в каждом модуле ориентировочно составляет 300 – 600 м².

Из материалов, указанных в табл. 2, формируются полые волокна, на внутреннюю либо наружную поверхности которых наносится селективный слой.

Внешний диаметр полых волокон

(на рис. 2 и рис. 3 приведены фото, сделанные с помощью электронного микроскопа) может изменяться в зависимости от применения и варьироваться от 50 до 3000 мкм. Волокна могут быть изготовлены из одного или двух материалов. Два слоя используются для внешней или внутренней поверхности. Селективный слой может быть интегрирован с волокном или отдельно (покрытие) нанесено на пористую подложку (волокно). Внешний диаметр от 50 до 200 мкм обычно называют тонкими полыми волокнами. Такие волокна при этом могут противостоять внешнему гидростатическому давлению до 1 МПа.

Были проведены испытания полимерных мембранных материалов различных производителей, результаты которых представлены на рис. 4.

На основании анализа результатов исследований выявлен наиболее предпочтительный полимерный мембранный модуль и максимально энергоэффективный режим получения азота с применением выбранного модуля в условиях судна. Результаты приведены на рис. 5.

На графике рис. 5 видно, что коэффициент производительности мембран PA-6050 производства компании Air Products (США) выше, чем компании EVONIK, однако в качестве наиболее эффективной принята мембрана EVONIK N2-6" (Австрия), которая при схожих габаритных размерах про-

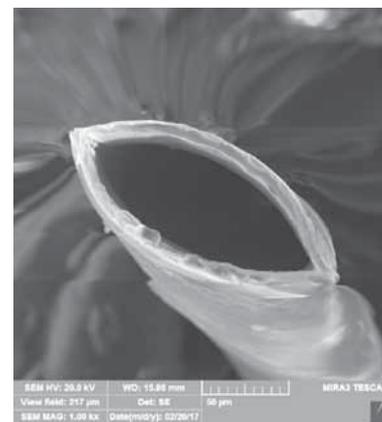


Рис. 2. Фото мембранного волокна (диаметр 150 мкм)

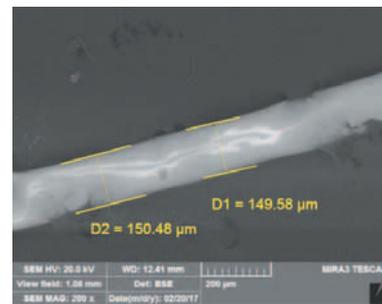


Рис. 3. Фото стенки мембранного волокна (толщина стенки 7 мкм)

изводит в 3 раза больше азота, чем Air Products (США) и в 1,5 раза больше, чем SIM-160A (Юж. Корея).

На АО «Компрессор» в 2018 г. локализовано производство мембранных модулей с применением наиболее эффективного мембранного полимерного материала, мембранный модуль получил обозначение ММ-6 (рис. 6). Разработана рабочая конструкторская и эксплуатационная документация, отработана технологическая документация.

Локализовано более 90% технологических операций, а именно: освоено изготовление деталей корпуса, сварка, неразрушающий контроль, корпуса модуля, специальная обработка, у OEM ???раскрыть поставщика приобретаются мембранные полые волокна, осуществляется скрутка, сборка, упаковка, испытание, сервисное техническое и гарантийное обслуживание. Выполнены сертификация изделий в РМРС и постановка на производство по ГОСТ Р 15.301.

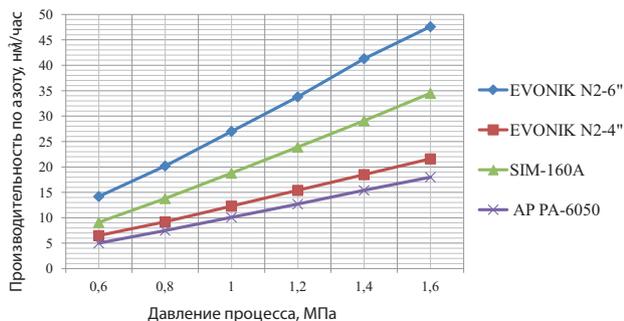


Рис. 4. Графики производительности по азоту мембранных модулей различных производителей в зависимости от давления воздуха на входе

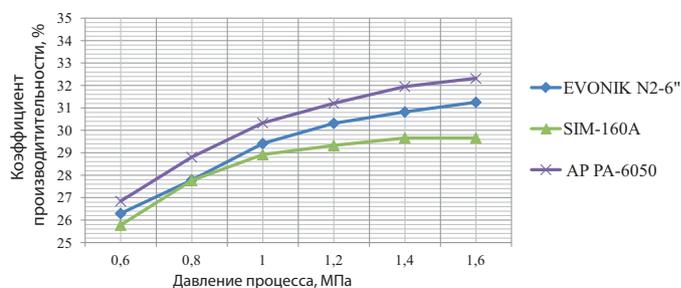


Рис. 5. График коэффициента производительности при разных входных давлениях



Рис. 6. Мембранный модуль ММ-6

С учетом полученных знаний разработана мембранная азотная установка компрессорная МАУК 20/99/350 для модернизации ТАРК «Адмирал Кузнецов» (проектная организация – «Невское ПКБ», завод-строитель – ДВЗ «Звезда») с целью применения в корабельной газовой системе заполнения баков самолетов азотом высокой чистоты с низким

влагосодержанием. В настоящее время находится в стадии изготовления. Параметры приведены ниже.

Гарантированное влагосодержание азота (соответствует точке росы ниже $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$) обеспечивается дополнительным блоком доосушки азота 29БО-1/350. Установка отличается от серийной МАУК20/99/250 большим давлением на выходе – до 35 МПа. Также предусмотрена возможность дожатия и осушки азота низкого давления, подаваемого на вход установки с береговых азотных установок.

Внешний вид установки МАУК20/99/350 представлен на рис. 7, компрессора ДКУ20/99/350, дожимающего азот с давления 1,0 до 35 МПа, – на рис. 8.

Перед предприятиями отечественного судостроения стоит сложная задача качественного импортозамещения при постройке российского флота, что требует разработки и внедрения современных технологий, конкурентоспособных на мировом рынке. Для производства азотных мембранных установок с новыми качествами АО «Компрессор» потребовалось создать научный задел, за собственные средства разработать конструкторскую и технологическую документацию, внедрить на предприятии новое

технологическое оборудование, специализированные лаборатории и исследовательское оборудование, сертифицировать оборудование на соответствие требованиям РМРС и ТР ТС.

Такие общенациональные цели, как строительство кораблей и судов ВМФ, могут быть достигнуты только при поддержке российской промышленности путем закупки преимущественно отечественного оборудования, а также при сотрудничестве судостроительных и машиностроительных предприятий Российской Федерации. Закупка иностранного судового компрессорного оборудования наносит прямой урон отечественному компрессоростроению, разрушает предприятия, входящие в кооперацию, и логистические цепочки, негативно сказывается на развитии научных школ.

АО «Компрессор», благодаря накопленному опыту, может в кратчайший срок изготавливать любые требуемые азотные мембранные установки с оптимальным набором технологического оборудования и подтверждением заявленных характеристик. В процессе отработки технологической схемы и алгоритмов работы установок были получены практические результаты, позволяющие моделировать условия ведения процесса получения азота с минимальным набором необходимого оборудования, высокой эффективностью и оптимальными энергозатратами.



Рис. 7. Мембранная азотная установка МАУК20/99/350 (3D-модель)



Рис. 8. Дожимающий компрессор ДКУ20/99/350

Основные характеристики МАУК 20/99/350

Параметр	Значение
Объемная доля технического газообразного азота 2 сорта ГОСТ 9293–74, %, не менее	99,0
Объемная производительность при начальных параметрах: давления 0,1 МПа (760 мм рт. ст.) и температуре 293 К (плюс 20 °С), м ³ /ч, не менее	20
Температурный диапазон окружающей среды (относительная влажность воздуха до 98 % при температуре плюс 25 °С) на входе в МАУК, °С	5 – 55
Температура точки росы азота на выходе, приведенная к атмосферному давлению, °С.....	-80
Давление азота на выходе, МПа	35
Напряжение питания установки от источника трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, В.....	380
Габаритные размеры, Д×Ш×В, мм.....	1990×2190×1990
Масса МАУК, кг	1780±10 %

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на полезную модель РФ №190953. Устройство для предупреждения пожаров внутри герметичных обитаемых объектов, преимущественно подводных лодок. – Оpubл. 17.07.2019 г.
2. Патент на изобретение РФ №2696637, Устройство пожаротушения. – Оpubл. 05.08.2019 г.
3. Касперович А. И., Колесов Б. И., Сандлер Н. Г. Водно-химические процессы в реакторных установках атомных ледоколов и плавучих энергоблоков // Атомная энергия. 1996. – Т.81. – Вып. 4. – С. 262.
4. Патент полезную модель РФ №180075 Азотная компрессорная установка. – Оpubл. 01.06.2018 г.
5. Патент полезную модель РФ №183558. Азотная компрессорная установка. – Оpubл. 25.09.2018 г.
6. Патент полезную модель РФ №192071, Азотная компрессорная установка. – Оpubл. 03.09.2019 г.
7. Кузнецов Л.Г., Кузнецов Ю.Л., Бураков А.В., Перминов А.С., Тикалов А.В. Эффективные дожимные компрессорные установки для технологических газов на объектах ВМФ, нефтегазового сектора и энергетики // Морской вестник. – 2019. – № 2 (70). – С.69–70. ■

В настоящее время на рынке судовой трубопроводной арматуры существует большой спрос на такой тип изделий, как краны шаровые. Они получили широкое распространение в производстве, так как их отличает ряд достоинств:

- простота конструкции,
- компактность,
- малое гидравлическое сопротивление,
- малое время срабатывания,
- минимальные виброшумовые характеристики,
- ремонтпригодность,
- надежность,
- приемлемая стоимость.

Заказчики трубопроводной арматуры при выборе поставщика предъявляют высокие требования к эксплуатационным характеристикам изделий. Чтобы соответствовать этим требованиям и выдерживать высокую конкуренцию на рынке, разработчики стараются тщательно продумывать все нюансы, в том числе фокусируются на унификации изделий в целях снижения себестоимости конечного продукта.

Объектом исследования данной работы стал способ настройки шаровых кранов с резьбовыми втулками, разработанный и запатентованный на машиностроительном заводе АО «Армалит» (патент № 2671448). На предприятии была разработана линейка таких кранов с использованием в конструкции резьбовых втулок для поджатия седел, которые обеспечивают герметичность запорного органа изделия.

Главным преимуществом и отличием данной конструкции от предшествующих является возможность настройки шаровых кранов на различные давления без применения регулировочных колец и прочих вспомогательных деталей, поэтому кран одного типоразмера можно использовать минимум на четырех разных давлениях в зависимости от потребности. Однако в конструкции существует недостаток в виде выборки осевых зазоров средних диаметров резьб между втулками и корпусом изделия с каждой из сторон при установке соединительных патрубков, что приводит к неконтролируемому увеличению расчетного момента управления на валу, а также к чрезмерному удельному давлению, создаваемому на уплотнительных полях седел запорного органа.

Решить вышеназванную техническую проблему можно, применив способ настройки шаровых кранов с резьбовыми втулками, которая учитывает выборку осевого зазора в резьбе корпуса и втулок. Эта особенность позволяет достичь заданного момента управления изделием при обеспечении герметичности запорного органа, причем без использования в конструкции подкладных или подрезных колец.

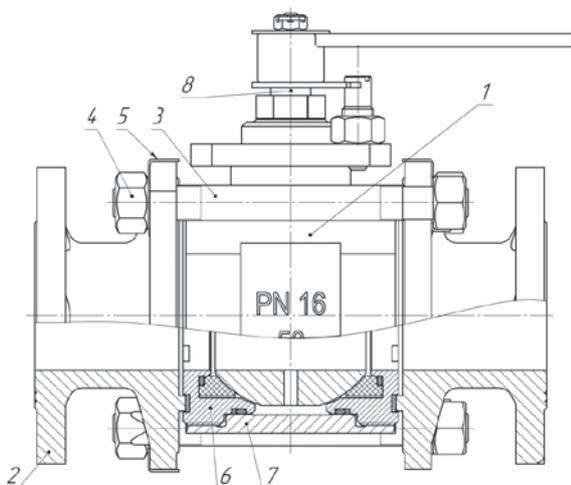


Рис. 1. Кран запорный шаровой проходной DN 50 PN 16 с ручным управлением ИЮКЛ.491816.007

СПОСОБ НАСТРОЙКИ КРАНОВ ШАРОВЫХ С РЕЗЬБОВЫМИ ВТУЛКАМИ

*М.И. Иванов, вед. инженер-конструктор АО «Армалит»,
контакт. тел. (812) 603 4077*

Рассмотрим разработанный способ настройки на примере крана шарового запорного проходного с ручным управлением DN 50 PN 16 ИЮКЛ.491816.007 (рис. 1).

В конструкции используется сборочный узел ИЮКЛ.491815.013 (кран запорный шаровой проходной фланцевый DN 50, поз. 1), который устанавливается между фланцевыми патрубками 2 и стягивается шпильками 3 в сочетании с гайками 4 и шайбами 5.

При затяжке гаек 4 происходит выборка осевых зазоров средних диаметров резьб втулок 6 и корпуса 7 с каждой из сторон. Это приводит к увеличению расчетного момента управления на валу 8 и не позволяет достичь точного значения поджатия седел для обеспечения герметичности запорного органа.

На рис. 2 приведена схема крана запорного шарового проходного фланцевого DN 50 ИЮКЛ.491815.013.

Порядок операций настройки следующий:

1. Затянуть попеременно и равномерно резьбовые втулки 1 моментом не менее $M1$ для обжатия седел 2 и выдержать 24 часа.

2. Затянуть резьбовые втулки 1 попеременно и равномерно моментом не менее $M2$, обеспечив момент управления $M_y \pm 5\%$ вращением вала 4.

3. Для последующей регулировки затяжки резьбовых втулок 1, нанести по вертикальной оси риски на торцевых поверхностях резьбовой втулки 1 и корпуса 3 с двух сторон изделия.

4. Выбрать осевой зазор средних диаметров резьб втулок 1 и корпуса 3, обжав на прессе усилием F (усилие эквивалентно суммарному, полученному от затяжки шпилек при установке крана на трубопровод). Зафиксировать величину деформации в 1 мм. Применить полученное значение для вычисления значения хорды L :

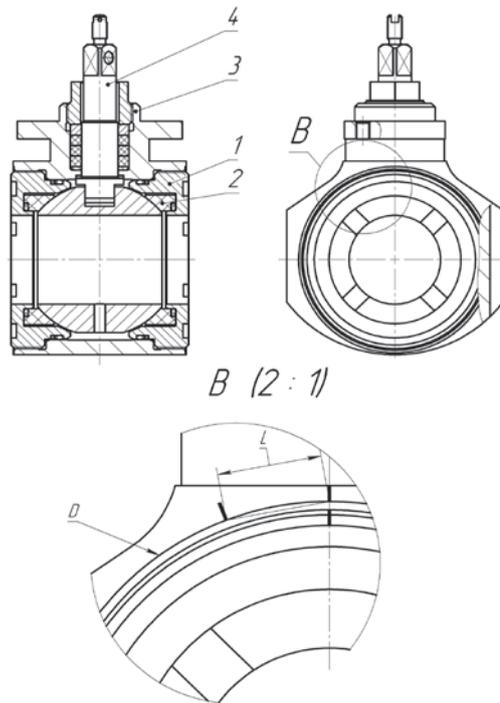


Рис. 2. Принципиальная схема настройки крана запорного шарового проходного фланцевого DN 50 ИЮКЛ.491815.013

1 – резьбовая втулка, 2 – седло, 3 – корпус, 4 – вал

$$L = \frac{\left(\frac{360}{P} \times L_1 \right)}{2} = kl,$$

где M_1 – момент затяжки резьбовых втулок для обжатия седел по шаровой пробке, M_2 – момент затяжки резьбовых втулок для достижения заданного момента управления, P – шаг резьбы, L_1 – хорда регулировки в пересчете на 1 град. поворота, l – величина деформации, полученная после обжатия «модуля» в прессе, k – коэффициент, полученный в результате упрощения формулы.

5. Отложить на торцевых поверхностях корпуса 3 размер L от вертикальных рисок в направлении против часовой стрелки по размеру D и нанести риски с двух сторон изделия. Повернуть резьбовые втулки 1 против часовой стрелки на величину L с двух сторон изделия до совмещения рисок на резьбовых

втулках 1 и риск на корпусе 3, обеспечив момент управления $M_y \pm 5\%$ вращением вала 4 при обжатом в прессе изделии.

Вышеописанный способ настройки позволяет:

- упростить настройку кранов шаровых с данным конструктивным решением и обойтись при этом без подкладных колец.
 - обеспечить точную настройку изделия по моменту управления на разные рабочие давления, учитывая осевые зазоры средних диаметров резьб корпуса и втулок.
- Этот способ успешно применяется на серийном производстве АО «Армалит» более двух лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич Д. Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. Расчет трубопроводной арматуры. Промышленная трубопроводная арматура. Конструирование. – Изд-во URSS. – 416 с.
2. Гуревич Д. Ф., Шпаков О. Н. Справочник конструктор трубопроводной арматуры. – Л.: Машиностроение, 1987. – 518 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в судостроении наметилась устойчивая тенденция использования гребных винтов с увеличенной откидкой (саблевидностью) контура лопасти в плоскости диска движителя. Практика использования таких движителей показала, что они весьма эффективны при прочих равных условиях эксплуатации, т.е. имеют меньшую виброактивность при работе в неравномерном потоке и незначительно меньшем КПД по сравнению с традиционными гребными винтами (ГВ), имеют достаточную надежность и лучшие акустические качества. Вместе с тем маневренные качества, обеспечиваемые судну такими движителями, особенно в условиях его экстренного торможения, в литературе почти не освещались. Однако режим экстренного останова судна с полного переднего хода входит в программу сдаточных испытаний при передаче судна заказчику и является одним из ответственных этапов его приемки в эксплуатацию. И это неслучайно, поскольку слишком большие выбеги судна при экстренном торможении могут привести к повреждению не только самого движителя, но и судна. Ярким примером сказанного может служить авария, случившаяся с подводной лодкой «Los Angeles» при ее столкновении с подводной скалой на глубине при торможении с полного переднего хода (рис. 1).



Рис. 1. Поврежденная оконечность ПЛ «Los Angeles» после столкновения с подводной скалой при ее движении в подводном положении

В связи с этим становится небезынтересно получить сравнительные данные, относящиеся к экстренному торможению

ОСОБЕННОСТИ РЕВЕРСИРОВАНИЯ СУДОВ, ОСНАЩЕННЫХ ГРЕБНЫМИ ВИНТАМИ С РАЗНЫМ КОНТУРОМ ЛОПАСТИ

*Л.И. Вишнеvский, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
А.Р. Тогуния, канд. техн. наук, инженер АО «Научно-производственное предприятие «Морская техника»,
Дык Чинь Лук, аспирант СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 327 2802, +7(921) 337 2652*

судна с полного переднего хода, оборудованного поочередно традиционным и саблевидным гребным винтами. Этот интерес усугубляется еще и тем, что, как показывают имеющиеся данные, режим работы ГВ на реверсивных режимах наиболее тяжелый, при этом могут проявляться гидроупругие эффекты вследствие действия гидродинамической нагрузки.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим экстренное торможение двухвального судна, аналогичного газотурбоходу «Капитан Смирнов», с полного переднего хода, имеющего следующие характеристики: $L = 227,34$ м; $B = 30$ м; $T = 9,87$; $D = 35\,000$ т; $Ne = 2 \times 25\,000$ л.с. ($2 \times 18\,382$ кВт); $V_s = 26,7$ полного переднего хода; $R = 1617$ кН на полном переднем ходу.

По систематическим данным [1], были приняты следующие коэффициенты взаимодействия: $W = 0,129$; $t = 0,151$, КПД валопровода принят равным $\eta_{\text{ВЛЛ}} = 0,98$, а коэффициент корпуса $\eta_k = 0,975$. Был спроектирован по вихревой теории оптимальный традиционный ГВ с учетом систематических данных с расчетом на движение судна полным передним ходом. Далее также был спроектирован альтернативный ГВ с углом саблевидности лопастей $\theta_s = 40^\circ$ на тот же режим $J = 0,66$; $Kt = 0,2$. Дисковое отношение для обоих движителей было принято равным $A_E/A_0 = 0,8$, что обеспечивало отсутствие 2-й стадии кавитации при их обтекании на полной скорости судна. Считалось, что движители перерабатывают при движении на полной скорости хода полную располагаемую мощность без так называемого морского запаса. Полученные геометрические данные спроектированных таким образом ГВ были использованы в поверочном расчете по программе FLUENT для определения окончательных гидродинамических характеристик, как соответствующих переднему ходу, так

и реверсу ГВ. Результаты проекторочного и поверочного расчетов представлены на рис. 2 и рис. 3, а также в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные

Геометрические гидродинамические характеристики ГВ:	
традиционного	саблевидного
$A_e/A_0 = 0,8$	$A_e/A_0 = 0,8$
$D = 3,85 \text{ м}$	$D = 3,81 \text{ м}$
$H/D = 1,0$	$H/D = 1,0$
$Z = 5$	$Z = 5$
Гидродинамические и кинематические характеристики ГВ	
$J = 0,662$	$J = 0,658$
$Kt = 0,2$	$Kt = 0,199$
$Kq = 0,033$	$Kq = 0,035$
$n = 4,7 \text{ с}^{-1}$	$n = 4,7 \text{ с}^{-1}$
$W = 0,129$	$W = 0,129$
$t = 0,151$	$t = 0,151$
$Ne = 2 \times 18 \text{ 382 кВт}$	$Ne = 2 \times 18 \text{ 382 кВт}$

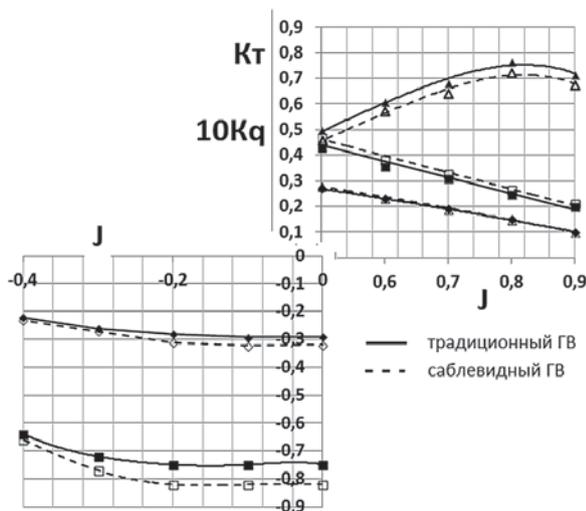


Рис. 2. Гидродинамические характеристики ГВ по результатам расчета по программе FLUEN

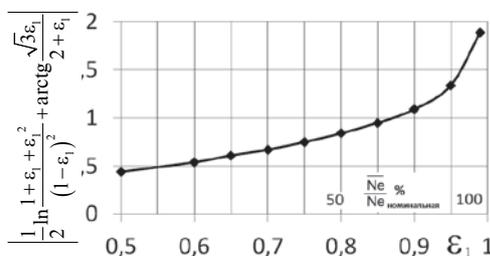


Рис. 3. Изменение выражения в скобках в зависимости от соотношения оборотов ϵ_1

Гидродинамические характеристики ГВ определялись по программам FLUENT и ANSYS с учетом деформации лопастей. Первоначально определялось распределение гидродинамической нагрузки (программа FLUENT) по недеформированным лопастям, затем по гидродинамической нагрузке по программе ANSYS – деформации лопастей ГВ, изменение геометрических характеристик ГВ вследствие действия гидродинамической нагрузки. Далее повторялся расчет по FLUENT с деформированными лопастями для определения окончательных гидродинамических характеристик ГВ.

ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ФОРМУЛЫ

Для достижения поставленной цели процесс экстренной остановки судна разделим на два периода и введем определенные допущения.

К *первому периоду* (начальный период) будем относить временной промежуток с момента отключения главного двигателя до остановки вращения винтов и набора значения частоты вращения заднего хода, обеспечивающей переработку мощности торможения;

Ко *второму периоду* отнесем временной промежуток, за который скорость переднего хода судна уменьшится до заданного значения.

ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПЕРВОГО (НАЧАЛЬНОГО) ПЕРИОДА

Оценка длительности T_{11} остановки вращения движителя. Закон сохранения энергии вращательного движения (ГВ) дает нам следующую зависимость:

$$\frac{J \cdot \omega^2}{2} = 2\pi \int_0^{T_{11}} Mndt,$$

где J – момент инерции с учетом присоединенных масс; $\omega = 2\pi n$ – циклическая частота; M – момент вращения; T_{11} – промежуток времени, за который происходит остановка вращения движителя с начала отключения выходного фланца главного двигателя

$$\text{или} \quad \frac{J \cdot \omega^2}{4\pi \rho D^5} = \int_0^{T_{11}} K_Q n^3 dt = \int_0^{T_{11}} \frac{K_Q}{\lambda^3} V_0^3 dt.$$

Предполагая, что скорость судна в этом временном промежутке практически не меняется, как показывают приведенные далее натурные данные, тогда последнее выражение можно переписать в виде

$$\frac{J n_0^2 \pi}{\rho D^2 V_0^3} = \int_0^{T_{11}} \frac{K_Q}{\lambda^3} dt$$

Время остановки винта в течение первого этапа реверса можно оценить по следующей формуле:

$$\frac{J n_0^2 \pi}{\rho D^2 V_0^3} = \int_0^{T_{11}} \frac{K_Q}{\lambda^3} d\lambda = \left(\frac{K_Q}{\lambda^3} \right) T_{11} \quad (1)$$

где $\left(\frac{K_Q}{\lambda^3} \right)$ – среднее значение подынтегральной функции на интервале $[0-T_{11}]$.

Для расчета моментов инерции ГВ использовалось известное выражение для оценки периода T_1 с использованием формул (1) и (2):

$$I + J_1 = 28 \cdot 10^{-5} \cdot \gamma \cdot D^5 \cdot k_v \cdot \frac{A_E}{A_0} \left(\frac{A_E}{A_0} + 3 \right),$$

где γ – удельный вес материала гребного винта; D – диаметр ГВ; A_E/A_0 – дисковое отношение ГВ; k_v – коэффициент, учитывающий массу винта за счет присоединенной массы.

Оценка длительности периода T_{12} (время разгона вращения винта на реверсе при переработке реверсивной мощности). При работе двигателя в реверсивном режиме связь между изменением частоты вращения n его выходного фланца и мощностью, затрачиваемой на преодоление гидродинамического сопротивления вращению движителя и его инерционного момента, имеет вид

$$Ne^* = 2\pi K_Q \rho D^5 n^3 + 2\pi J n \frac{dn}{dt},$$

где Ne^* – номинальная мощность двигателя; K_Q – коэффициент момента на швартовных при работе гребного винта на задний ход; J – момент инерции ГВ относительно оси вращения вместе с его присоединенным моментом инерции или

$$\frac{dn}{dt} = An^2 + \frac{B}{n},$$

$$\text{где } A = -\frac{K_Q \rho D^5}{2\pi J}, \quad B = \frac{Ne}{4\pi^2 J}.$$

Тогда

$$dt = \frac{dn}{An^2 + \frac{B}{n}} = -\frac{1}{A} \frac{ndn}{(n^3 - n^3)}.$$

Интегрируя полученное уравнение, длительность T_{12} можно определить по формуле

$$T_{12} = -\frac{1}{A} \int_0^{\bar{n}} \frac{ndn}{(n^3 - n^*)^2},$$

где \bar{n} – частота вращения гребного винта, при которой перерабатывается реверсивная мощность; n^* – частота вращения гребного винта, при которой перерабатывается номинальная мощность.

С учетом данных, приведенных в таблице справочника [5, с. 353], последнее выражения после интегрирования принимает вид

$$T_{12} = \frac{J}{K_Q \rho D^5 n^*} \left[\frac{1}{6} \ln \frac{1 + \varepsilon + \varepsilon^2}{(1 - \varepsilon)^2} - \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{1 + 2\varepsilon}{\sqrt{3}} \right]_0^{\varepsilon_1},$$

где $\varepsilon = n/n^*$ – текущая относительная частота вращения гребного винта; $\varepsilon_1 = \frac{\bar{n}}{n^*}$ – относительная частота вращения гребного винта реверсирования.

Окончательно выражение имеет следующий вид:

$$T_{12} = \frac{J n^2}{3 K_Q \rho D^5 n^*} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1^2}{(1 - \varepsilon_1)^2} + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{3} \varepsilon_1}{2 + \varepsilon_1} \right]. \quad (2)$$

Анализируя продолжительность периода [см. (2)], в течение которого ГВ выйдут на частоту вращения \bar{n} , обеспечивающую переработку реверсивной мощности Ne , следует отметить, что она зависит от соотношения момента инерции с учетом присоединенного момента инерции, умноженной на квадрат частоты, и гидродинамической характеристики движителя на швартовах при работе на задний ход. Другими словами, продолжительность этого периода зависит от соотношения работы, которую необходимо совершить для раскрутки ГВ, и мощности, которую необходимо приложить для ее переработки. Выражение в скобках при переработке около 60–80% мощности на реверсе близко к единице (рис. 3).

В этом частном случае время разгона гребного винта будет определяться соотношением

$$T_{12} \approx \frac{A}{3\pi Ne^*} = \frac{J\omega^2 / 2}{3\pi 2K_Q \rho D^5 n^*},$$

где A – работа, которую необходимо совершить для раскрутки гребного винта с частотой вращения n^* , $\omega^* = 2\pi n^*$; $Ne = 2\pi K_Q \rho n^3 D^5$ – мощность, которая затрачивается для раскрутки винта на швартовах на задний ход с частотой n^* .

Последнее выражение показывает, что для сокращения временного интервала раскрутки движителя целесообразно уменьшать момент инерции путем изготовления его из легких материалов, например, из углепластика. Это будет способствовать повышению маневренных качеств судна, в частности, сокращению длины его выбега.

Выполненные оценки длительности первого периода $T_1 = T_{11} + T_{12}$ показали, что для реальных случаев она не превосходит 0,4 секунды. Учитывая приближенный характер расчетов, расчет реверса можно начинать со второго периода.

Оценка длительности второго периода T_2 . Для расчетной оценки второго периода примем следующие условия: частота вращения движителей должна соответствовать частоте, при которой перерабатывается мощность, затрачиваемая на экстренную остановку судна [1, 2]. Следует подчеркнуть, в выбранном сценарии частота вращения ГВ устанавливаются, исходя из реверсируемой величины мощности, а не определяются путем решения уравнения для частоты вращения движителя, как было бы в случае одержания судна с переднего хода.

Уравнение движения судна запишем в виде

$$m \frac{dv}{dt} = -P - cv^2, \quad (3)$$

где m – масса и присоединенная масса воды судна; v – скорость судна в течение второго периода; P – тормозное усилие

двигателей на реверсе; c – коэффициент пропорциональности квадратичного сопротивления судна от скорости.

В настоящей статье не вводится допущение о постоянстве силы P в процессе торможения, как это имеет место в [1]. Поэтому найдем P как функцию скорости движения судна v . Для этого, задав значение v и ожидаемое значение относительной поступи J , соответствующей режиму движения судна на реверсе, определим по соответствующим диаграммам кривых действия движителя K_Q . Далее по заданной мощности, затрачиваемой на реверсирование Ne , и диаметру гребного винта D определяем частоту вращения n , которая позволяет определить относительную поступь J следующего приближения. Повторяя указанную процедуру, находим последовательно K_Q , n и J . Как показали проведенные расчеты, процесс сходится быстро, обычно хватает двух-трех приближений. По найденному таким образом значению J находим K_T и K_Q для выбранного значения скорости v . Тогда тормозное усилие P при заданной мощности Ne и выбранной скорости v определим из выражения

$$P = K_T \rho n^2 D^4 = \frac{K_T}{K_Q^{2/3}} \rho^{1/3} (Ne / 2\pi)^{2/3} D^{2/3}, \quad (4)$$

где ρ – плотность воды; Ne – затрачиваемая мощность при реверсе судна; D – диаметр гребного винта, K_T , K_Q – коэффициенты упора и момента движителя.

Выполнив такие расчеты для каждой заданной скорости, а затем построив аппроксимационную зависимость по скорости, получаем аналитическую зависимость P от скорости v . Из

(4) видно, что тормозное усилие зависит от отношения $\frac{K_T}{K_Q^{2/3}}$

и диаметра гребного винта D в степени $2/3$ для рассматриваемой мощности реверсирования Ne . На рис. 4 приведены зависимости от скорости для изменения отношения тормозных усилий, создаваемых саблевидным и традиционным гребными винтами при равных значениях мощности. Из этого рисунка видно, что на малых скоростях (близких к швартовным режимам) саблевидный ГВ создает большее тормозное усилие вследствие деформирования лопастей таким образом, что на этих режимах концевые сечения обтекаются с большим углом атаки. Для получения этих данных использованы результаты расчета, представленные на рис. 4.

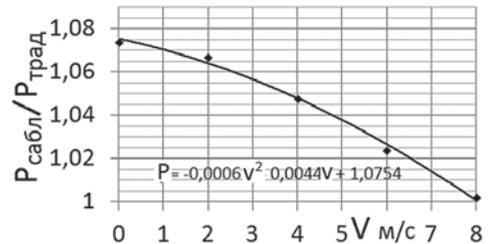


Рис. 4. Отношение тормозных усилий, создаваемых саблевидным и традиционным гребными винтами

На рис. 5 представлены графические и аналитические зависимости от скорости V , иллюстрирующие изменение тормозных усилий, создаваемых традиционным и саблевидным гребными винтами. В дальнейшем они будут использованы для интегрирования уравнения (3).

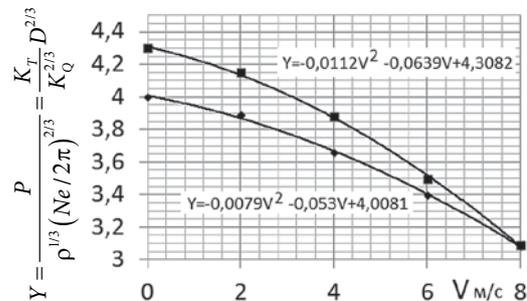
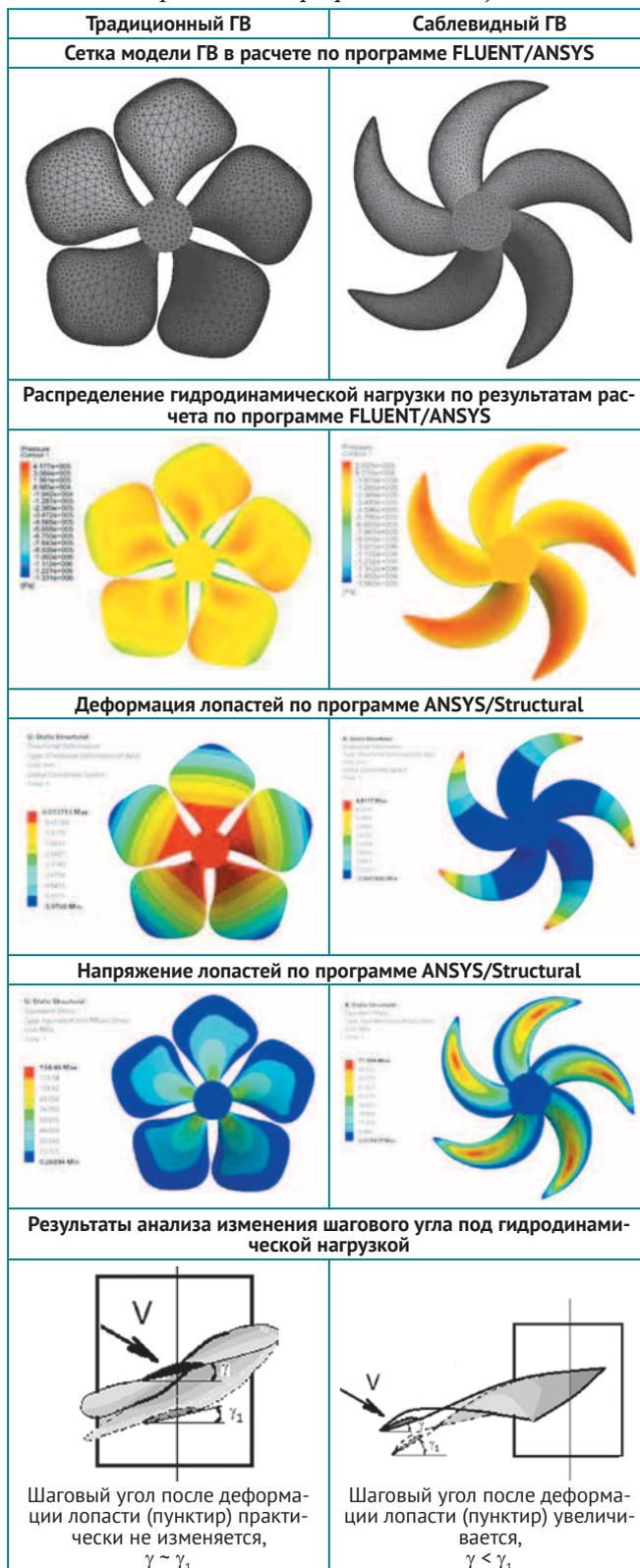


Рис. 5. Изменение Y со скоростью V ■ – для саблевидного винта, ◆ – для традиционного винта

Распределение гидродинамической нагрузки (по результатам расчета по программе FLUENT) и деформаций лопастей на реверсе $J = 0$ (по результатам расчета по программе ANSYS)



Для расчета второго периода следует ввести предположение: частота вращения движителей в начале этого периода соответствует частоте, при которой перерабатывается мощность, соответствующая экстренной остановке судна. Расчет проводится без учета взаимодействия движителя с корпусом судна с использованием уравнения (3).

Ниже приведены результаты расчета судна, совершающего реверс: экстренное торможение с полного переднего хода. Данные для расчета сведены в табл. 2.

Данные, относящиеся к судну: масса судна вместе с присоединенной массой воды $M = 45\,500\,000$ кг, реверсируемая мощность $Ne = 2 \times 18\,382\,000$ Вт.

Таблица 2

Исходные данные

Данные, относящиеся:	
к традиционному ГВ	к саблевидному ГВ
Скорость судна на полном ходу $V_0 = 13,75$ м/с	Скорость судна на полном ходу $V_0 = 13,53$ м/с
Скорость судна, с которой начинается торможение, $V_1 = 8$ м/с	Скорость судна, с которой начинается торможение, $V_1 = 8$ м/с
Сопротивление судна на скорости V_0 $R = 1\,650\,000$ Н	Сопротивление судна на скорости V_0 $R = 1\,570\,000$ Н
$D = 3,85$ м	$D = 3,81$ м
$H/D = 1,0$	$H/D = 1,04$
Момент инерции ГВ и его присоединенный момент инерции $I + J_1 = 7014$ кгм ²	Момент инерции ГВ и его присоединенный момент инерции $I + J_1 = 6657$ кгм ²
Материал ГВ – латунь	Материал ГВ – латунь
Гидродинамические и кинематические характеристики ГВ на реверсе судна	
$J = 0$	$J = 0$
$Kt = 0,28$	$Kt = 0,33$
$Kq = 0,077$	$Kq = 0,081$
$n = 3,58$ с ⁻¹	$n = 3,54$ с ⁻¹

Гидродинамические и кинематические характеристики ГВ принимались в соответствии со значениями, приведенными в табл. 2 и на рис. 2. Эти значения приведены по данным гидродинамического расчета по программе FLUENT и расчету по программе ANSYS. При поверочном расчете по программе FLUENT определялась гидродинамическая нагрузка, которая была использована как исходная информация для определения деформации лопастей при работе движителей на режиме реверса по программе ANSYS. Далее по деформациям определялось шаговое отношение деформированной лопасти на относительном радиусе 0,8, значение которого приведено в табл. 2. Результаты расчетов по программам FLUENT и ANSYS иллюстрируют данные табл. 3.

Интегрирование уравнения (3). На основании выше изложенного, представим тормозное усилие P в виде квадратичной зависимости

$$P = \alpha v^2 + \beta v + \gamma \cdot \quad (6)$$

Тогда (3) можно переписать в виде

$$\frac{dv}{-(\alpha + c)v^2 - \beta v - \gamma} = \frac{dt}{m}$$

или

$$\frac{dt}{m} \Big|_{T_1}^{T_2} = - \frac{2}{\sqrt{4(\alpha + c)\gamma - \beta^2}} \arctg \frac{2(\alpha + c)v + \beta}{\sqrt{4(\alpha + c)\gamma - \beta^2}} \Big|_{v_1}^{v_2}$$

Принимая $T_1 \sim 0$ вследствие краткосрочности длительности первого периода, а также $v_2 = 0$ (останов судна), получаем решение (3) в виде:

для определения длительности второго периода

$$T_2 = \frac{2m}{\sqrt{4(\alpha + c)\gamma - \beta^2}} \arctg \left\{ \frac{V_1 \sqrt{4(\alpha + c)\gamma - \beta^2}}{2\gamma + \beta V_1} \right\}; \quad (7)$$

для определения текущего значения скорости во втором периоде

$$V_2 = \frac{V_1 \sqrt{4(\alpha + c)\gamma - \beta^2} - (2\gamma + \beta V_1) \operatorname{tg} \left\{ \frac{\sqrt{4(\alpha + c)\gamma - \beta^2}}{2m} t \right\}}{\sqrt{4(\alpha + c)\gamma - \beta^2} + [2(\alpha + c)V_1 + \beta] \operatorname{tg} \left\{ \frac{\sqrt{4(\alpha + c)\gamma - \beta^2}}{2m} t \right\}} \cdot \quad (8)$$

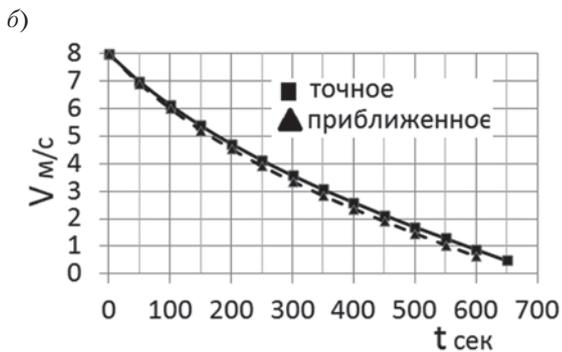
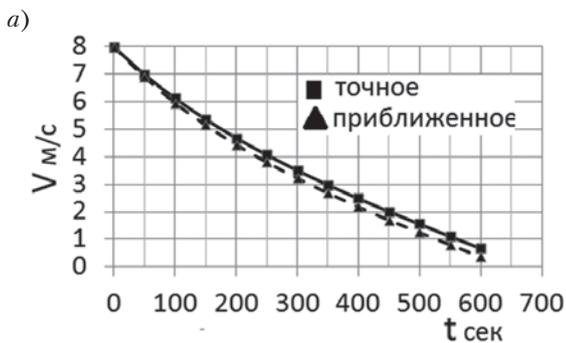


Рис. 6. Сравнение точного измерения скорости судна с приближенным: а – лопасти ГВ саблевидные, б – традиционные

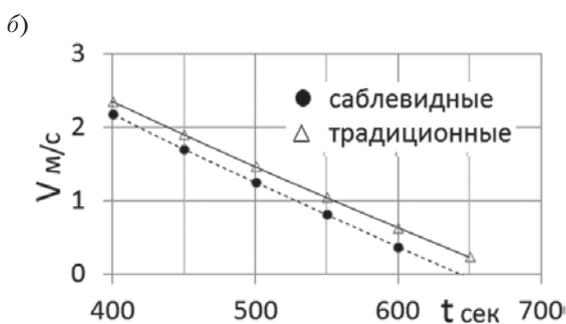
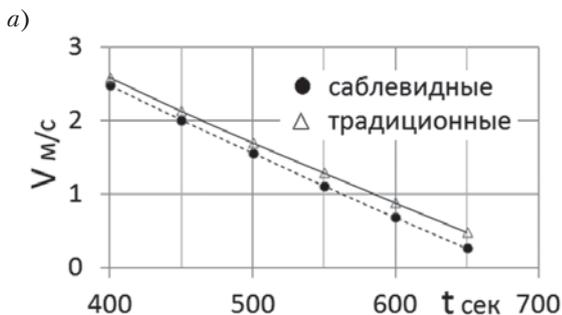


Рис. 7. Изменение скорости судна, оборудованного поочередно ГВ с саблевидными и традиционными лопастями: а – по результатам точного решения, б – по результатам приближенного решения

При $\alpha = \beta = 0$ выражения (7) и (8) можно упростить и записать соответственно в виде

$$T_2 = \frac{m}{\sqrt{c\gamma}} \arctg \left\{ V_1 \sqrt{\frac{c}{\gamma}} \right\}, \quad (9)$$

$$V_2 = \frac{V_1 \sqrt{c\gamma} - \gamma \operatorname{tg} \left\{ \frac{\sqrt{c\gamma}}{m} t \right\}}{\sqrt{c\gamma} + c V_1 \operatorname{tg} \left\{ \frac{\sqrt{c\gamma}}{m} t \right\}}. \quad (10)$$

Анализ выражений (7), (9) и (8), (10) показал, что основной вклад в величины T_2 и V_2 вносит коэффициент γ в выра-

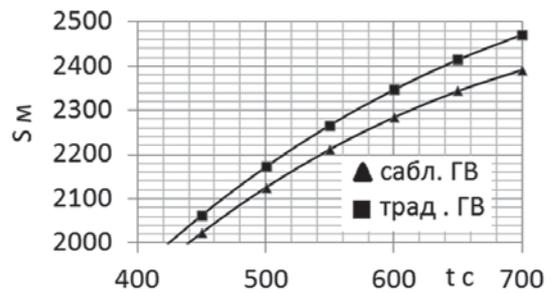


Рис. 8. Путь S , пройденный судном, оборудованным поочередно саблевидными и традиционными ГВ, в функции от времени t

жении для P [см. формулу (6)]. Другими словами, величина тормозного усилия определяется, главным образом, швартовным режимом, т.е. при $v = 0$. Для подтверждения сказанного на рис. 5 приведены расчетные зависимости скорости V_2 от времени t . Видно, точные значения [см. (8)] и приближенные [см. (10)] совпадают достаточно хорошо. Это послужило основанием для проведения систематических расчетов по приведенным данным и использовать формулу (10). Вместе с тем приведенные сравнительные данные на рис. 6 и рис. 7 подтверждают и то, что высказанное в [1] предположение о возможности при решении уравнения (3) тормозное усилие принимать постоянным, справедливым.

Полученные результаты позволяют для получения выбега судна использовать формулу (10) при его экстренном торможении:

$$S = \int_{T_1}^{T_2} V_2 dt = V_1 \int_{T_1}^{T_2} \frac{dt}{1 + V_1 \sqrt{\frac{c}{\gamma}} \operatorname{tg} \left[\frac{\sqrt{c\gamma}}{m} t \right]} - \sqrt{\frac{\gamma}{c}} \int_{T_1}^{T_2} \frac{\operatorname{tg} \left[\frac{\sqrt{c\gamma}}{m} t \right]}{1 + V_1 \sqrt{\frac{c}{\gamma}} \operatorname{tg} \left[\frac{\sqrt{c\gamma}}{m} t \right]} dt.$$

Полагая $\operatorname{tg} \left[\frac{\sqrt{c\gamma}}{m} t \right] \approx \frac{\sqrt{c\gamma}}{m} t$, легко найти искомое выражение

для пройденного пути:

$$S \approx V_1 \int_{T_1}^{T_2} \frac{dt}{1 + \frac{V_1 c}{m} t} - \frac{\gamma}{m} \int_{T_1}^{T_2} \frac{t dt}{1 + \frac{V_1 c}{m} t} = \frac{m}{c} \left[1 + \frac{\gamma}{V_1^2 c} \right] \ln \left(1 + \frac{V_1 c}{m} t \right) - \frac{\gamma}{V_1 c} t \Big|_{T_1}^{T_2}. \quad (11)$$

Из представленных результатов видно, что наиболее эффективное торможение судна осуществляется при оснащении судна саблевидным ГВ. Выбег судна при полном расходе мощности уменьшается на 3–4%. Анализ показывает, что этот результат реализуется за счет некоторого увеличения шагового отношения у саблевидного винта (см. табл. 3) на 3%, и, следовательно, увеличения тормозного усилия по сравнению с тем же усилием традиционного ГВ. У последнего из-за меньшего скручивающего момента на лопастях изменение шагового отношения практически не наблюдается (см. данные, полученные при расчете по программе ANSYS). Таким образом, саблевидные ГВ предпочтительнее не только для уменьшения виброактивности при работе в неравномерном потоке, но и для уменьшения выбега судна при экстренном его торможении. Данные (рис. 8) показывают, что саблевидные ГВ обеспечивают более короткий путь выбега за счет деформирования их лопастей под действием гидродинамической нагрузки. Вместе с тем имеющиеся экспериментальные данные также показывают, что такие двигатели испытывают существенно большее напряженное состояние, особенно концевых сечений. Последнее обстоятельство следует принимать во внимание при проектировании двигателей.

Приближенную формулу (11) для выбега S можно переписать иначе, полагая $T_1 = 0$, учитывая выражение (9) для T_2

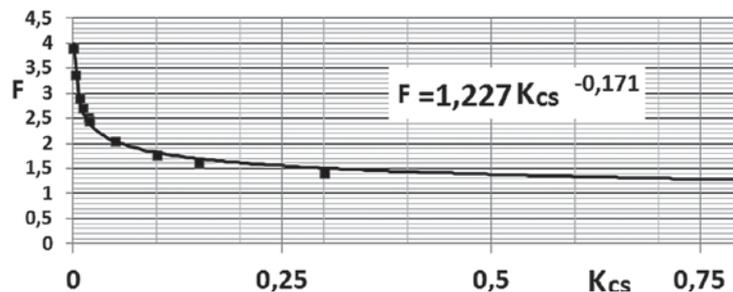


Рис. 9. Изменение функции F в зависимости от K_{CS}

и не нарушая точности этого выражения, опустить последнее слагаемое. Тогда (11) можно представить в виде

$$S \approx \frac{m}{c} \left[1 + K_{CS} \right] \ln \left(1 + \frac{1}{\sqrt{K_{CS}}} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{K_{CS}}} \right) \right), \quad (12)$$

где $K_{CS} = \frac{\gamma}{V_1^2 C}$ – коэффициент тормозного усилия; m – масса судна вместе с его присоединенной массой; $C = \frac{P}{V_{10}^2}$ – коэффициент сопротивления судна; P, V_{10} – сопротивление судна на полном ходу и скорость полного хода судна соответственно.

Коэффициент тормозного усилия K_{CS} представляет собой отношение величины тормозных усилий, создаваемых двигателями – движителями на швартовном режиме, к сопротивлению судна на скорости, с которой начинается его экстренное торможение.

Представляя S в виде $S \cong \frac{m}{C} F$, где F есть функция, зависящая только K_{CS} . Ее вид представлен на рис. 9. Аппроксимируя ее степенной зависимостью, погрешность, которой составляет по оценкам 2–4%, получаем следующее выражение для выбега судна:

$$S \cong 1,227 K_{CS}^{-0,171} \frac{m}{C}. \quad (13)$$

Анализ выражения (13) и рис. 9 показывает, что выбег судна главным образом определяется массой судна (его водоизмещением), коэффициентом сопротивления воды движению судна и соотношением тормозного усилия, создаваемого двигателями, к сопротивлению воды движению судна на скорости, с которой начинается реверс. В случае малого тормозного усилия или достаточно большого по величине сопротивления судна на скорости, с которой оно реверсирует, K_{CS} близко к нулю, функция F резко возрастает (рис. 9) и величина выбега судна, как видно из (13), существенно возрастает. В противном случае при достаточно сильном тормозном усилии и малом по величине сопротивлении воды движению судна его выбег уменьшается так, что, начиная с величины $K_{CS} \sim 0,5$, это уменьшение существенно замедляется (см. формулу (13) и рис. 9). Применительно к классам судов сказанное можно интерпретировать следующим образом: высокоэнерговооруженные суда (быстроходные) более маневренные с точки зрения экстренного реверса, чем суда тихоходные, например, танкеры.

Коэффициент тормозного усилия может быть записан еще и в следующем виде:

$$K_{CS} = \frac{K_{Q0} V_{ПХ}^2}{K_{Q0}^{\frac{2}{3}} V_1^2 P_{ПХ}} \rho^{1/3} \left(\frac{Ne}{2\pi} \right)^{2/3} D^{2/3}, \quad (14)$$

где K_{T0}, K_{Q0} – коэффициенты упора и момента на швартовах при реверсе судна; P – плотность воды; $V_{ПХ}, V_1$ – скорости полного хода и начала торможения; $P_{ПХ}$ – сопротивление воды движению судна на полном ходу; Ne – мощность реверсирования; D – диаметр винта.

Представленный коэффициент тормозного усилия в виде (14) показывает, что для увеличения его значения целесооб-

разно увеличивать мощность при торможении судна. Однако это увеличение следует ограничивать значением около 2, поскольку дальнейшее его увеличение становится менее эффективным. Сказанное позволяет записать на основании формулы (14) следующее неравенство:

$$Ne \leq 17,771 \frac{K_{Q0} V_1^3}{K_T^{3/2} V_{ПХ}^3 \rho^2} \frac{1}{D}. \quad (15)$$

Увеличение мощности при экстренном торможении судна сверх значения, определяемой формулой (15), не будет приводить к существенному сокращению выбега судна S .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные численные исследования сравнительных характеристик судна, оснащенного поочередно традиционным и саблевидным ГВ, показывают, что придание лопастям движителя саблевидной формы оказывается целесообразным не только для снижения виброактивности при работе движителя в неравномерном потоке, но и весьма благоприятно сказывается на реверсивных характеристиках судна. Такой эффект объясняется большим тормозным усилием, возникающим за счет специфической формы лопастей и действия гидродинамической нагрузки. Влияние этих факторов приводит к большему увеличению шагового отношения у саблевидной лопасти вследствие большего скручивающего момента относительно центра жесткости сечений лопасти.

Сказанное открывает перспективу создания достаточно гибких саблевидных лопастей, способных скручиваться в сторону большого шага на режимах реверса без нарушения их целостности с тем, чтобы уменьшать выбег судна, и повышая тем самым его эксплуатационные характеристики. С этой точки зрения может оказаться весьма перспективным использовать для создания лопастей различные композитные материалы, разработанные, например, на основе углепластиков.

На стадии проектирования судна следует наряду с улучшением обводов судна для повышения его ходкости целесообразно оснащать его низкооборотной главной энергетической установкой, позволяющей увеличить диаметр ГВ, ограничивая ее мощность значением, определяемым равенством (15).

ЛИТЕРАТУРА

1. Басин А.М., Минювич И.Я. Теория и расчет гребных винтов. – Л.: Судпромгиз, 1963.
2. Вишневский Л.И., Тогуняц А.Р. Корабельные лопастные движители, новые технические решения, результаты исследования. – СПб.: Судостроение, 2012.
3. Бискуп Б.А., Бушковский В.А. Оценка прочности гребных винтов с откидкой контура лопасти на режимах реверса // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 1998. – Вып. 8(292). – С. 60 – 67.
4. Яковлев А.Ю., Васильев Ю.М. Метод расчета экстренного торможения судна с помощью нескольких движителей различных типов // Труды «Крыловского государственного научного центра». – 2015. – Вып. 90 (374). – С. 27 – 38.
5. Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Наука, 1964. ■

В соответствии с существующей [1] концепцией информационного обеспечения ракетного оружия (РО) надводных кораблей наблюдение за надводной обстановкой в зоне возможного военного конфликта должно быть непрерывным. Большая роль в решении данной задачи отводится внешним (по отношению к носителю РО) источникам информации (ИИ), которые могут быть наземными, авиационными и космическими.

Многие внешние ИИ оснащены комплексами радиотехнической разведки. От таких источников в корабельные комплексы приема информации и освещения надводной обстановки передаются формуляры излучающих морских целей. В состав этих формуляров входит как координатная (координаты целей и параметры эллипсов ошибок), так и некоординатная (сигнальная) информация – типы установленных на целях источников радиоизлучения (ИР) и режимы их работы.

Если заданная цель находится за пределами зоны действия корабельного радиопеленгатора (РП), то непосредственно захватить эту цель на сопровождение становится невозможно. Необходимо время для сближения носителя РП с целью на требуемую дистанцию, что дополнительно увеличивает размеры области неопределенности – области возможного положения цели (ОВПЦ), и РП требуется некоторое время работать в режиме поиска по угловой координате (сканирования по азимуту) с обзором площади морской поверхности, ограниченной ОВПЦ.

Поиск цели требует [2] определенных энергетических и временных затрат и может быть выполнен различными способами, отличающимися продолжительностью и объемом затраченных ресурсов. Выбор оптимальной стратегии поиска должен проводиться [3] на основе вполне конкретного критерия эффективности поисковых действий.

Цель статьи – разработка оптимальной стратегии поиска корабельным РП излучающей морской цели по данным от внешнего ИИ. Оптимальность понимается в смысле максимума вероятности обнаружения цели к заданному сроку (за выделенный на поиск цели интервал времени).

ВАРИАНТЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТИ ВОЗМОЖНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕЛИ

Конфигурация ОВПЦ как множество точек, в которых может находиться цель, определяется двумя факторами. Во-первых, размеры и форма ОВПЦ зависят от состава данных внешнего ИИ и, во-вторых, от времени устаревания этих данных, под которым в рассматриваемой задаче будем понимать интервал времени от момента их получения до момента начала поиска цели. В общем случае время устаревания данных отлочно от нуля и в случае, когда дальность до цели превышает дальность действия корабельного РП, будет равно времени, необходимому для сближения носителя РП с целью на требуемую дистанцию.

Рассмотрим наиболее типичные варианты представления данных от внешнего ИИ и построения ОВПЦ в виде эллипса с полудиаметрами $a_{цy}$, $b_{цy}$ и центром в начале прямоугольной декартовой системы координат xOy с осями Ox и Oy , направленными соответственно на «восток» и на «север». Начало системы координат совпадает с предполагаемым местоположением цели. Координата y определяет отклонение цели «по дальности», а координата x – «по боковому направлению», перпендикулярному отклонению цели «по дальности».

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОИСКА ИЗЛУЧАЮЩЕЙ МОРСКОЙ ЦЕЛИ КОРАБЕЛЬНЫМ РАДИОПЕЛЕНГАТОРОМ ПО ДАННЫМ ОТ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА ИНФОРМАЦИИ

Г.А. Коржавин, д-р техн. наук, проф., ген. директор,

Ю.Ф. Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, первый зам. ген. директора,

О.Г. Мальцев, д-р техн. наук, начальник НИЛ,

АО «Концерн «Гранит-Электрон»,

контакт. тел. (812) 271 4585, 271 6774

Вариант 1. Заданы полудиаметры единичного эллипса ошибок (закон распределения местоположения цели – двумерный нормальный) и угол $\alpha_{цy}$ наклона большой полуоси эллипса к оси Ox ; время устаревания данных $T_y = 0$ (сближение носителя РП с целью не требуется).

Известно, что в общем случае, когда случайные величины (ошибки) x и y коррелированы, существует система координат $\zeta O\eta$, получаемая поворотом системы координат xOy на угол $\alpha_{цy}$, в которой корреляция случайных величин отсутствует.

Вероятность того, что двумерный вектор измерений координат местоположения цели попадает внутрь эллипса ошибок $\frac{\zeta^2}{\sigma_\zeta^2} + \frac{\eta^2}{\sigma_\eta^2} = l^2$, размеры которого определяются константой l , равна

$$P(l) = 1 - \exp(-l^2 / 2).$$

Здесь σ_ζ , σ_η – полудиаметры единичного, т. е. при $l = 1$, эллипса ошибок.

Задав вероятность $P(l)$, можно вычислить $l = \sqrt{-2 \ln[1 - P(l)]}$ и, следовательно, определить его размеры.

Выберем вероятность $P(l) = 0,994$, тогда $l = 3,2$ и размеры эллипса ошибок (ОВПЦ) должны быть $a_{цy} = 3,2\sigma_\zeta$, $b_{цy} = 3,2\sigma_\eta$.

Вариант 2. Заданы закон распределения ошибок определения места внешнего ИИ – нормальный круговой со средним квадратическим отклонением (радиусом единичного круга) R_n ; среднеквадратические ошибки (СКО) определения внешним ИИ дальности D_n и углового отклонения цели составляют соответственно $100 \times k\%$ от дальности и ϵ радиан; время устаревания данных $T_y = 0$ (сближение носителя РП с целью не требуется).

Композиция нормальных законов распределения, лежащих в одной плоскости и заданных векториальными отклонениями \vec{a}_i , $i = 1, 2, \dots, k$, эквивалентна композиции векториальных отклонений и осуществляется [4] по следующим правилам:

1) координаты \bar{x} , \bar{y} центра суммарного закона распределения определяются по формулам

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k \bar{x}_i; \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^k \bar{y}_i,$$

где \bar{x}_i , \bar{y}_i – координаты начала векториального отклонения \vec{a}_i ;

2) элементы k_{ij} корреляционной матрицы суммарного закона распределения определяются формулами

$$k_{11} = \frac{1}{2\rho^2} \sum_{i=1}^k a_{ix}^2; \quad k_{22} = \frac{1}{2\rho^2} \sum_{i=1}^k a_{iy}^2; \quad k_{12} = \frac{1}{2\rho^2} \sum_{i=1}^k a_{ix} a_{iy}, \quad (1)$$

где a_{ix} , a_{iy} – проекции векториального отклонения \vec{a}_i на оси системы координат xOy ; $\rho \approx 0,4769$;

3) главные направления ζ , η суммарного закона распределения, соответствующие им дисперсии σ_ζ^2 , σ_η^2 и угол $\alpha_{цy}$ наклона оси $O\zeta$ к оси Ox определяются формулами

$$\sigma_{\zeta}^2 = k_{11} \cos^2 \alpha_{цв} + k_{12} \sin 2\alpha_{цв} + k_{22} \sin^2 \alpha_{цв} = \rho^2 \left[k_{11} + k_{22} + \sqrt{(k_{11} - k_{22})^2 + 4k_{12}^2} \right]; \quad (2)$$

$$\sigma_{\eta}^2 = k_{11} \sin^2 \alpha_{цв} - k_{12} \sin 2\alpha_{цв} + k_{22} \cos^2 \alpha_{цв} = \rho^2 \left[k_{11} + k_{22} - \sqrt{(k_{11} - k_{22})^2 + 4k_{12}^2} \right]; \quad (3)$$

$$\alpha_{цв} = 0,5 \arctg[2k_{12} / (k_{11} - k_{22})]. \quad (4)$$

Для заданных исходных параметров можно полагать, что по направлению «положение внешнего ИИ – положение цели» действуют независимые векториальные отклонения $kD_{ц}$ и $R_{ц}$, а в перпендикулярном направлении – независимые векториальные отклонения $\varepsilon D_{ц}$ и $R_{ц}$. Тогда суммарный закон распределения, характеризующий ошибку положения цели, определяется единичным эллипсом с полу диаметрами $\sigma_{\zeta} = \sqrt{k^2 D_{ц}^2 + R_{ц}^2}$ и $\sigma_{\eta} = \sqrt{\varepsilon^2 D_{ц}^2 + R_{ц}^2}$. Главная полуось $O\zeta$ эллипса расположена вдоль углового положения цели. Как и в предыдущем варианте, размеры эллипса ошибок должны быть $a_{цв} = 3,2\sigma_{\zeta}$, $b_{цв} = 3,2\sigma_{\eta}$.

Вариант 3. Заданы полу диаметры $\sigma_{\zeta 1}$, $\sigma_{\eta 1}$ единичного эллипса ошибок (закон распределения местоположения цели – двумерный нормальный) и угол α_1 наклона большой полуоси эллипса к оси Ox ; скорость $V_{ц}$ и курс $K_{ц}$ цели (движение цели предполагается равномерным и прямолинейным); СКО $\sigma_{V_{ц}}$, $\sigma_{K_{ц}}$ определения скорости и курса цели; время T_y устаревания данных (требуется сближение носителя РП с целью).

Для определенности здесь и далее ограничимся рассмотрением случая, когда курс цели лежит в первом квадранте системы координат xOy , а большая полуось эллипса ошибок повернута относительно оси Ox против часовой стрелки на острый угол.

В данном варианте эллипс суммарных ошибок определения координат цели является композицией двух эллипсов: первого с параметрами $\sigma_{\zeta 1}$, $\sigma_{\eta 1}$, α_1 и второго, образованного из-за ошибок курса и скорости цели на интервале времени T_y , с полу диаметрами $\sigma_{\zeta 2} = T_y \sigma_{V_{ц}}$, $\sigma_{\eta 2} = T_y \sigma_{K_{ц}}$, где $\sigma_{K_{ц}}$ выражена в радианах, а главная полуось $O\zeta_2$ эллипса расположена вдоль курса $K_{ц}$ цели, и тогда $\alpha_2 = \pi/2 - K_{ц}$.

Используя формулы (1), получим следующие выражения для элементов k_{ij} корреляционной матрицы суммарного закона распределения:

$$k_{11} = \frac{1}{2\rho^2} (\sigma_{\zeta 1}^2 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_{\eta 1}^2 \sin^2 \alpha_1 + T_y^2 \sigma_{V_{ц}}^2 \sin^2 K_{ц} + T_y^2 V_{ц}^2 \sigma_{K_{ц}}^2 \cos^2 K_{ц});$$

$$k_{22} = \frac{1}{2\rho^2} (\sigma_{\zeta 1}^2 \sin^2 \alpha_1 + \sigma_{\eta 1}^2 \cos^2 \alpha_1 + T_y^2 \sigma_{V_{ц}}^2 \cos^2 K_{ц} + T_y^2 V_{ц}^2 \sigma_{K_{ц}}^2 \sin^2 K_{ц});$$

$$k_{12} = \frac{1}{2\rho^2} [(\sigma_{\zeta 1}^2 - \sigma_{\eta 1}^2) \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 + T_y^2 (\sigma_{V_{ц}}^2 - V_{ц}^2 \sigma_{K_{ц}}^2) \sin K_{ц} \cos K_{ц}].$$

Параметры единичного эллипса суммарных ошибок определения координат цели рассчитываются по формулам (2) – (4). Как и в двух предыдущих вариантах, размеры эллипса суммарных ошибок выбирают равными $a_{цв} = 3,2\sigma_{\zeta}$, $b_{цв} = 3,2\sigma_{\eta}$.

РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТЕЙ НАХОЖДЕНИЯ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ НАДВОДНОЙ ЦЕЛИ В РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТНЫХ СЕКТОРАХ ОБЗОРА ОВПЦ

Система двух непрерывных случайных величин может интерпретироваться как случайная точка на плоскости. Вероятность попадания случайной точки в заданную область равна интегралу от плотности вероятности двух случайных величин по этой области.

Рассматривается режим обзора ОВПЦ с различными (изменяемыми в процессе работы) секторами сканирования антенны РП, биссектрисы которых совпадают с направлением на центр ОВПЦ.

Найдем размер сектора $\beta_{обс}$ обзора ОВПЦ – эллипса ошибок с параметрами $a_{цв}$, $b_{цв}$, $\alpha_{цв}$. Поскольку биссектриса сектора $\beta_{обс}$ направлена на центр ОВПЦ, то зададим $\beta_{обс}$ по следующему правилу: $\beta_{обс} = 2\beta_1$, если $\beta_1 \geq \beta_2$; $\beta_{обс} = 2\beta_2$ в противном случае. Углы β_1 и β_2 (рис. 1) ограничены соответственно касательными I и II к эллипсу, проведенными из точки $(x_{н}, y_{н})$ местоположения носителя РП, и лучом, проходящим через центр ОВПЦ.

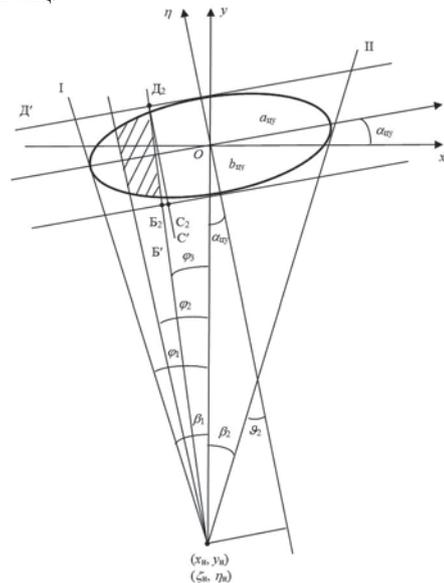


Рис. 1. Геометрия задачи расчета вероятностей нахождения цели в частных секторах обзора ОВПЦ

Уравнения касательных к эллипсу, проходящих через точку (ζ_n, η_n) , где $\zeta_n = y_n \sin \alpha_{цв}$, $\eta_n = y_n \cos \alpha_{цв}$, в системе координат $\zeta O\eta$ имеют [5] вид

$$\frac{\eta - \eta_n}{\zeta - \zeta_n} = \frac{-\zeta_n \eta_n \pm \sqrt{b_{цв}^2 \zeta_n^2 + a_{цв}^2 \eta_n^2 - a_{цв}^2 b_{цв}^2}}{a_{цв}^2 - \zeta_n^2},$$

причем знак «минус» соответствует касательной I, знак «плюс» – касательной II.

Из геометрических построений рис. 1 следует, что

$$\beta_1 = \alpha_{цв} \pm \theta_1 = \alpha_{цв} \pm \arctg \left| \frac{\zeta_{\eta=0}^{(I)}}{\eta_{\zeta=0}^{(I)}} \right|, \quad (5)$$

где $\zeta_{\eta=0}^{(I)}$, $\eta_{\zeta=0}^{(I)}$ – координаты точек, принадлежащих касательной I, со второй координатой соответственно $\eta = 0$ и $\zeta = 0$; θ_1 – острый угол, образованный касательной I и осью $O\eta$ (на рис. 1 не показан).

В выражении (5) знак «плюс» соответствует случаю, когда $\eta_{\zeta=0}^{(I)} < 0$ (касательная I пересекает полуось отрицательных η), знак «минус» – когда $\eta_{\zeta=0}^{(I)} > 0$ (касательная I пересекает полуось положительных η).

Аналогично можно записать

$$\beta_2 = \theta_2 - \alpha_{цв} = \arctg \left(\frac{\zeta_{\eta=0}^{(II)}}{|\eta_{\zeta=0}^{(II)}|} \right) - \alpha_{цв},$$

где $\zeta_{\eta=0}^{(II)}$, $\eta_{\zeta=0}^{(II)}$ – координаты точек, принадлежащих касательной II, со второй координатой соответственно $\eta = 0$ и $\zeta = 0$; θ_2 – острый угол, образованный касательной II и осью $O\eta$.

Разобьем сектор $\beta_{обс}$ на частные секторы $\Delta\varphi_j$, $j = 1, 2, \dots, s$, количество s и размеры которых связаны с количеством $s_{ск}$ и размерами секторов $\varphi_{скk}$, $k = 1, 2, \dots, s_{ск}$, сканирования следующими соотношениями:

$$s = 2s_{ск};$$

$$\Delta\varphi_j = \begin{cases} \varphi_j - \varphi_{j+1}, & j = 1, 2, \dots, s_{ск} - 1; \\ \varphi_j, & j = s_{ск}; \\ \Delta\varphi_{s+1-j}, & j = s_{ск} + 1, s_{ск} + 2, \dots, s; \end{cases}$$

$$\varphi_k = 0,5\varphi_{\text{ск}k}, k = 1, 2, \dots, s_{\text{ск}}; \varphi_1 = 0,5\beta_{\text{обс}}$$

Вероятность $P_j, j = 1, 2, \dots, s$, нахождения цели в j -м частном секторе вычисляется для двумерного закона распределения ошибок интегрированием по заданной области R_j (на рис. 1 область R_2 для вычисления вероятности P_2 заштрихована) по формуле

$$P_j \equiv P\{(\zeta, \eta) \in R_j\} = \iint_{R_j} p(\zeta, \eta) d\zeta d\eta; \quad j = 1, 2, \dots, s,$$

где $p(\zeta, \eta)$ – плотность двумерного нормального распределения (нормального закона на плоскости).

В качестве примера приведем расчет вероятности P_2 . Найдем координаты двух точек D_2 и B_2 пересечения луча, который разделяет второй и третий частные сектора, с прямыми $\eta = +b_{\text{ц}y}$ и $\eta = -b_{\text{ц}y}$ и точки C_2 пересечения прямой, проходящей через точку D_2 параллельно оси $O\eta$, с прямой $\eta = -b_{\text{ц}y}$. Напомним, что эллипс ошибок имеет полу диаметры $a_{\text{ц}y} = 3,2\sigma_{\zeta}, b_{\text{ц}y} = 3,2\sigma_{\eta}$, что обеспечивает попадание вектора измерений координат местоположения цели внутрь эллипса с вероятностью 0,994.

Запишем уравнение упомянутого луча в нормальном виде в системе координат xOy :

$$x \cos \varepsilon_2 + y \sin \varepsilon_2 - r_2 = 0,$$

где $\varepsilon_2 = \pi + \varphi_3$ – угол между осью Ox и перпендикуляром, проведенным из начала координат, к лучу; $r_2 = L_{\text{ц}y} \sin \varphi_3$ – длина этого перпендикуляра; $L_{\text{ц}y} = |y_{\text{ц}}|$.

Далее запишем уравнение этого же луча в нормальном виде, но в системе координат $\zeta O\eta$:

$$\zeta \cos \varepsilon'_2 + \eta \sin \varepsilon'_2 - r_2 = 0,$$

где $\varepsilon'_2 = \varepsilon_2 - \alpha_{\text{ц}y}$.

Тогда

$$\begin{aligned} \zeta_{D_2} &= r_2 \sec \varepsilon'_2 - b_{\text{ц}y} \operatorname{tg} \varepsilon'_2, \quad \eta_{D_2} = b_{\text{ц}y}; \\ \zeta_{B_2} &= r_2 \sec \varepsilon'_2 + b_{\text{ц}y} \operatorname{tg} \varepsilon'_2, \quad \eta_{B_2} = -b_{\text{ц}y}; \\ \zeta_{C_2} &= r_2 \sec \varepsilon'_2 - b_{\text{ц}y} \operatorname{tg} \varepsilon'_2, \quad \eta_{C_2} = -b_{\text{ц}y}. \end{aligned}$$

Исходя из геометрических соображений, вероятность нахождения цели во втором частном секторе может быть вычислена как $P_2 = P_{c_2} - P_{c_1} = P_{c_2} - P_1$, где P_1 – вероятность нахождения цели в первом частном секторе.

Вероятность P_{c_2} получается интегрированием плотности $p(\zeta, \eta)$ вероятности по области, лежащей слева от границы $D'C_2B'$ (аналогично вычисляется и вероятность P_{c_1}).

Представим эту область интегрирования в виде разности двух участков: квадранта $D'D_2C'$ и сектора $B'D_2C'$. Тогда

$$P_2 = \Phi^*(\zeta_{D_2} / \sigma_{\zeta}) \Phi^*(\eta_{D_2} / \sigma_{\eta}) - P_{\Delta 2} - P_1,$$

где $P_{\Delta 2}$ – вероятность попадания в треугольник с вершинами в точках C_2, B_2 и D_2 ; $\Phi^*(z)$ – функция нормального распределения.

Вероятность $P_{\Delta 2}$ может быть вычислена [6] с помощью табличного T -интеграла как

$$P_{\Delta 2} = \sum_{i=1}^3 [T(h_i, q_i) - T(h_i, p_i)],$$

где $h_i = \frac{|\zeta'_i \eta'_{i+1} - \zeta'_{i+1} \eta'_i|}{\sqrt{(\zeta'_{i+1} - \zeta'_i)^2 + (\eta'_{i+1} - \eta'_i)^2}}$; $p_i = \frac{\zeta'_i (\zeta'_{i+1} - \zeta'_i) + \eta'_i (\eta'_{i+1} - \eta'_i)}{|\zeta'_i \eta'_{i+1} - \zeta'_{i+1} \eta'_i|}$;

$q_i = \frac{\zeta'_{i+1} (\zeta'_{i+1} - \zeta'_i) + \eta'_{i+1} (\eta'_{i+1} - \eta'_i)}{|\zeta'_i \eta'_{i+1} - \zeta'_{i+1} \eta'_i|}$; $\zeta'_{i(i+1)} = \zeta_{i(i+1)} / \sigma_{\zeta}$; $\eta'_{i(i+1)} = \eta_{i(i+1)} / \sigma_{\eta}$.

Причем для 1-го слагаемого: $\zeta_i \equiv \zeta_{C_2}$; $\eta_i \equiv \eta_{C_2}$; $\zeta_{i+1} \equiv \zeta_{B_2}$; $\eta_{i+1} \equiv \eta_{B_2}$; для 2-го слагаемого: $\zeta_i \equiv \zeta_{B_2}$; $\eta_i \equiv \eta_{B_2}$; $\zeta_{i+1} \equiv \zeta_{D_2}$; $\eta_{i+1} \equiv \eta_{D_2}$; для 3-го слагаемого: $\zeta_i \equiv \zeta_{D_2}$; $\eta_i \equiv \eta_{D_2}$; $\zeta_{i+1} \equiv \zeta_{C_2}$; $\eta_{i+1} \equiv \eta_{C_2}$.

В общем виде для j -го частного сектора

$$P_j = \Phi^*(\zeta_{D_j} / \sigma_{\zeta}) \Phi^*(\eta_{D_j} / \sigma_{\eta}) \pm P_{\Delta j} - \sum_{i=1}^{j-1} P_i, \quad j = 1, 2, \dots, s, \quad (6)$$

где знаки выбираются по следующему правилу: «плюс» – если $\zeta_{B_j} \geq \zeta_{C_j}$; «минус» – если $\zeta_{B_j} < \zeta_{C_j}$.

Постановка задачи. Задача оптимизации стратегии поиска цели в ОВПЦ состоит в оптимальном (в смысле обнаружения цели с максимально возможной вероятностью) распределении выделенного объема поисковых усилий (ПУ) по частным секторам обзора.

С учетом того, что рассматривается обзор ОВПЦ с различными секторами сканирования, биссектрисы которых совпадают с направлением на центр ОВПЦ, при разбиении сектора $\beta_{\text{обс}}$ обзора ОВПЦ на равные частные сектора ($\Delta\varphi_j = \Delta\varphi, \forall j$) и постоянной скорости сканирования антенны РП под «поисковыми усилиями» в j -м частном секторе будем понимать выделенное количество n_j просмотров этого сектора. При указанных условиях

$$n_j = \begin{cases} \sum_{i=1}^j n_{\text{ск}i}, & j = 1, 2, \dots, s_{\text{ск}}; \\ n_{s+1-j}, & j = s_{\text{ск}} + 1, s_{\text{ск}} + 2, \dots, s; \quad s = 2s_{\text{ск}}, \end{cases}$$

где $n_{\text{ск}j}$ – количества сканирований в «широком» (при $j = 1$), «узком» (при $j = s_{\text{ск}}$) секторах и соответственно в первом, втором, ..., $(s_{\text{ск}} - 2)$ -м «промежуточных» секторах (при $j = 2, 3, \dots, s_{\text{ск}} - 1$).

Если задан интервал $T_{\text{п}}$ времени, отведенный на поиск цели в ОВПЦ, то общее количество просмотров всех частных секторов (общее количество распределяемых ПУ) будет равно $n = 2 \lceil T_{\text{п}} / (2 \cdot \Delta t) \rceil$, где Δt – время, затрачиваемое на однократный просмотр одного частного сектора. При этом количество частных секторов равно $s = 2 \lceil \beta_{\text{обс}} / (2 \cdot \Delta\varphi) \rceil$. В приведенных выражениях $\lceil \gamma \rceil$ означает потолок от γ , т. е. наименьшее целое число, большее или равное γ . Согласно результатам предыдущего раздела определены вероятности P_j нахождения цели во всех частных секторах.

Радиолокационный поиск с целыми интенсивностями требует проведения за заданное время $T_{\text{п}}$ поиска ровно n выборочных просмотров частных секторов $\Delta\varphi_1, \Delta\varphi_2, \dots, \Delta\varphi_s$ (требует n ПУ для просмотра этих секторов).

Вероятность обнаружения цели в j -м частном секторе при условии, что она в действительности находится в этом секторе, за n_j проведенных просмотров (за n_j выделенных ПУ) можно представить в виде

$$W(j, n_j) = \sum_{i=1}^{n_j} p(1-p)^{i-1} = 1 - (1-p)^{n_j},$$

где p – вероятность обнаружения цели в частном секторе за один просмотр.

Тогда вероятность обнаружения цели в ОВПЦ за n выделенных ПУ будет равна

$$P_{\text{обн}}(\bar{n}) = \sum_{j=1}^s P_j [1 - (1-p)^{n_j}], \quad (7)$$

где $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_j, \dots, n_s)$ – вектор, j -й компонент n_j которого представляет собой ПУ, выделяемые в j -й частный сектор;

$\sum_{j=1}^s n_j = n, n_j \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$.

В силу симметрии относительно биссектрисы секторов сканирования выражение (7) можно преобразовать к виду

$$P_{\text{обн}}(\bar{n}) = \sum_{j=1}^{s_{\text{ск}}} (P_j + P_{s+1-j}) [1 - (1-p)^{n_j}], \quad (8)$$

где $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_j, \dots, n_{s_{\text{ск}}})$.

Вероятность обнаружения цели, определенная выражением (8), должна быть максимизирована по \bar{n} при учете ограничения $\sum_{j=1}^{s_{\text{ск}}} n_j = m = n/2$, т. е. задача оптимизации состоит в нахождении таких $n_j = n_{s+1-j}, j = 1, 2, \dots, s_{\text{ск}}$, при $n_1 + n_2 + \dots + n_{s_{\text{ск}}} = m$, чтобы при выделении n_j ПУ в j -й и $(s+1-j)$ -й частные сектора вероятность обнаружения цели в ОВПЦ была максимально возможной.

Отметим, что ограничение на количество выделенных ПУ полностью соответствует критерию максимизации вероятности обнаружения цели за отведенное время поиска.

Приведем основные соотношения вероятностной модели обнаружения излучающей морской цели. Вероятность p обнаружения цели в частном секторе за один просмотр может быть представлена произведением $p = p_k d$, в котором p_k есть вероятность возникновения радиоконтакта с ИР (с длительностью не менее ширины T_o временного «окна», в котором осуществляется обнаружение ИР) при однократном прохождении главным лепестком диаграммы направленности (ДН) антенны РП направления на ИР, а d – вероятность обнаружения ИР при указанных выше условиях (условная вероятность обнаружения).

Чтобы получить выражение для расчета вероятности p_k , рассмотрим процесс «зацеплений» главных лепестков ДН антенн ИР и РП как случайный процесс совпадения во времени двух импульсных потоков [7]. Первый поток импульсов соответствует периоду и продолжительности облучения ИР точечной цели (носителя РП), а второй – периоду и продолжительности нахождения ИР в зоне «видимости» антенны РП.

Периоды следования $T_{ир}$, $T_{рп}$ и длительности $\tau_{ир}$, $\tau_{рп}$ импульсов соответственно первого и второго потоков равны

$$T_{ир} = T_{обз,ир} = 2\pi/\omega_{ир}; T_{рп} = T_{обз,рп} = 2\pi/\omega_{рп};$$

$$\tau_{ир} = \psi_{ир}/\omega_{ир} = \psi_{ир} T_{обз,ир}/(2\pi); \tau_{рп} = \psi_{рп}/\omega_{рп} = \psi_{рп} T_{обз,рп}/(2\pi),$$

где $T_{обз,ир}$, $\omega_{ир}$, $\psi_{ир}$ – период обзора, угловая скорость вращения/сканирования и ширина главного лепестка ДН антенны ИР соответственно; $T_{обз,рп}$, $\omega_{рп}$, $\psi_{рп}$ – соответствующие параметры РП.

Если параметры $\psi_{рп}$ и $\omega_{рп}$ РП выбраны таким образом, что для периодов следования и длительностей импульсов исследуемых потоков выполняются условия $T_{рп} > T_{ир}$ и $\tau_{рп} < \tau_{ир} < T_{рп}$, то вероятность совпадения за время $T_{рп}$ импульсов двух потоков при условии, что длительность импульсов потока совпадений будет не менее чем заданная величина δ , равна [7]

$$p_k = (\tau_{ир} + \tau_{рп} - 2\delta)/T_{рп},$$

где $\delta \leq \tau_{ир}$, $\tau_{ир} = \min(\tau_{ир}, \tau_{рп})$.

Чтобы обеспечить высокую вероятность d , необходимо аккумулировать во временном «окне» максимально возможную энергию сигналов главного лепестка ДН антенны ИР. Это достигается при выборе ширины «окна» $T_o = \tau_{ир}$. В этом случае $\delta = T_o = \tau_{ир}$ и

$$p_k = (\tau_{рп} - \tau_{ир})/T_{рп}.$$

Оптимизация. Выражение (8) определяет вероятность обнаружения цели и является целевой функцией аддитивного вида. Функция, стоящая в правой части этого выражения, является функцией $s_{ск}$ переменных $n_1, n_2, \dots, n_{s_{ск}}$. Обозначим ее через $R(n_1, n_2, \dots, n_{s_{ск}})$.

Введем функцию

$$f_{s_{ск}}(m) = \max_{n_1+n_2+\dots+n_{s_{ск}}=m} R(n_1, n_2, \dots, n_{s_{ск}}), \quad (9)$$

представляющую собой максимальную вероятность обнаружения цели при оптимальном распределении m ПУ между $s_{ск}$ частными секторами обзора.

Функцию (9) можно вычислять рекуррентно, а именно:

$$\begin{cases} f_j(l) = \max_{n_1+n_2+\dots+n_j=l} \{P_j[1-(1-p)^{n_j}] + f_{j-1}(l-n_j)\}; \\ f_0(l) \equiv 0, \quad j = 1, 2, \dots, s_{ск}; \quad l = 0, 1, 2, \dots, m. \end{cases} \quad (10)$$

Рекуррентное представление максимальной вероятности обнаружения цели в виде (10) позволяет применить [8] при решении данной оптимизационной задачи метод, основанный на целочисленном динамическом программировании.

Формализованной записью принципа оптимальности, лежащего в основе решения всех задач динамического программирования, является функциональное уравнение, которое в данном случае имеет вид

$$f_j(l) = \max_{n_1+n_2+\dots+n_j=l} \{g_j(n_j) + f_{j-1}(l-n_j)\},$$

где $g_j(n_j) \equiv P_j[1-(1-p)^{n_j}]$ – вероятность обнаружения цели в j -м частном секторе, если на ее поиск выделено n_j ПУ; $f_{j-1}(l-n_j)$ – максимальная вероятность обнаружения цели при ее поиске в $(j-1)$ первых частных секторах с использованием выделенных $(l-n_j)$ ПУ, оптимально распределенных между этими секторами.

Таким образом, нахождение вектора оптимального распределения ПУ по частным секторам представляет собой многошаговый процесс, который в соответствии с методом динамического программирования, проходит дважды. На первом проходе вычисляются все числа $f_j(l)$, $j = 1, 2, \dots, s_{ск}$; $l = 0, 1, 2, \dots, m$, и запоминаются все числа n_j (обозначим их $n_{j,l}$), при которых достигается максимум $f_j(l)$. На втором проходе оптимальные компоненты n_j^* , $j = 1, 2, \dots, s_{ск}$, определяются следующим образом:

$$n_{s_{ск}}^* = n_{s_{ск},m}, \quad n_{s_{ск}-1}^* = n_{s_{ск}-1,m-n_{s_{ск}}^*}, \dots, \quad n_1^* = n_{1,m-n_{s_{ск}}^*-n_{s_{ск}-1}^*-\dots-n_2^*}.$$

Переход от найденного оптимального распределения ПУ по частным секторам к оптимальным количествам сканирования в заданных секторах выполняется таким образом:

$$n_{ск1}^* = n_1^*, \quad n_{ск2}^* = n_2^* - n_1^*, \dots, \quad n_{скs_{ск}}^* = n_{s_{ск}}^* - n_{ск1}^*.$$

Согласно принятому критерию оптимальности необходимо также установить порядок проведения просмотра частных секторов. Для нахождения этого порядка в работе [3] рекомендуют использовать правило Блекуэла–Блэка–Кадана (ББК).

В частном случае выполнения условия монотонности $p > p(1-p)$, относящемся к рассматриваемой задаче, правило ББК заключается в следующем:

- вычисляются величины $\kappa_j = P_j p(1-p)^{l-1}$, $l = 1, 2, \dots, n_j^*$, $j = 1, 2, \dots, s$;
- величины $\{\kappa_j\}$ упорядочиваются по убыванию, и просмотр частных секторов выполняется в том же порядке.

С учетом особенностей радиолокационного поиска цели РП – многократного сканирования частных секторов и накопления результатов ПУ в каждом из секторов – скорректированное правило ББК имеет вид:

- вычисляются величины $\kappa_j = P_j$, $j = 1, 2, \dots, s_{ск}$;
- величины $\{\kappa_j\}$ упорядочиваются по убыванию и в том же порядке рассматриваются частные секторы с последовательным проведением всех $n_{скj}^*$ сканирований.

Поскольку закон распределения местоположения цели в ОВПЦ является двумерным нормальным, то $P_{s_{ск}} > P_{s_{ск}-1} > \dots > P_1$. Поэтому поиск цели следует выполнять, начиная со сканирования в «узком» секторе и заканчивая сканированием в «широком» секторе.

Для иллюстрации результатов проведенных теоретических исследований дадим сравнительную оценку двух стратегий поиска цели – разработанной стратегии, заключающейся в оптимальном распределении ПУ по частным секторам обзора, и стратегии поиска цели при равномерном распределении ПУ по всей зоне поиска.

ЧИСЛОВЫЕ ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ИЗЛУЧАЮЩЕЙ НАДВОДНОЙ ЦЕЛИ

Решим оптимизационную задачу для трех вариантов разбиения сектора обзора ОВПЦ на частные секторы:

- вариант А – количество частных секторов $s = 4$ (сканирование в «узком» $\varphi_{ск2}$ и «широком» $\varphi_{ск1}$ секторах, $\varphi_{ск1} = 2\varphi_{ск2}$);
- вариант Б – количество частных секторов $s = 6$ (сканирование в «узком» $\varphi_{ск3}$, «промежуточном» $\varphi_{ск2}$ и «широком» $\varphi_{ск1}$ секторах, $\varphi_{ск1} = 3\varphi_{ск3}$, $\varphi_{ск2} = 2\varphi_{ск3}$);
- вариант В – количество частных секторов $s = 8$ (сканирование в «узком» $\varphi_{ск4}$, двух «промежуточных» $\varphi_{ск2}$ и $\varphi_{ск3}$ и «широком» $\varphi_{ск1}$ секторах, $\varphi_{ск1} = 4\varphi_{ск4}$, $\varphi_{ск2} = 3\varphi_{ск4}$, $\varphi_{ск3} = 2\varphi_{ск4}$).

Исходные данные для расчетов приняты следующие: ширина главного лепестка ДН и угловая скорость вращения антенны излучающей РЛС – $\psi_{рп} = 1,5^\circ$ и $\omega_{рп} = 7,5$ об/мин соответственно;

ширина главного лепестка ДН и скорость при секторном сканировании антенны РП – $\psi_{\text{пр}} = 1,5^\circ$ и $\omega_{\text{пр}} = 1/12$ об/мин соответственно; параметры ОВПЦ (эллипса ошибок): $a_{\text{цв}} = 3,2\sigma_c = 28,8$ км, $b_{\text{цв}} = 3,2\sigma_n = 22,4$ км, $\alpha_{\text{цв}} = 20^\circ$; сектор обзора ОВПЦ $\beta_{\text{обс}} = 30^\circ$.

С использованием формулы (6) для рассматриваемых вариантов определены вероятностные массивы

$$\{P_j = P_{s+1-j}\}, j = 1, 2, \dots, s_{\text{ск}}.$$

Результаты решения оптимизационной задачи (8) – распределение ПУ по частным секторам, обеспечивающее максимальную вероятность обнаружения цели, – соответствуют интуитивному представлению о том, что основные поисковые усилия необходимо сосредоточивать в частных секторах, в которых нахождение цели наиболее вероятно.

На рис. 2 для варианта А (использование при обзоре ОВПЦ двух секторов сканирования – «узкого» и «широкого») представлены зависимости вероятности $P_{\text{обн}}$ обнаружения цели от времени $T_{\text{п}}$ поиска для стратегии ОРПУ (оптимального распределения ПУ по частным секторам обзора) – сплошные линии и для стратегии РРПУ (равномерного распределения ПУ по всей зоне поиска) – пунктирные линии при $p = 0,35$ (кривые 1) и $p = 0,2$ (кривые 2). Аналогичные расчеты для вариантов Б и В показали, что использование при обзоре ОВПЦ дополнительных («промежуточных») секторов сканирования не приводит к заметному увеличению вероятности обнаружения цели. Поэтому кривые, соответствующие этим вариантам, на рис. 2 не приведены.

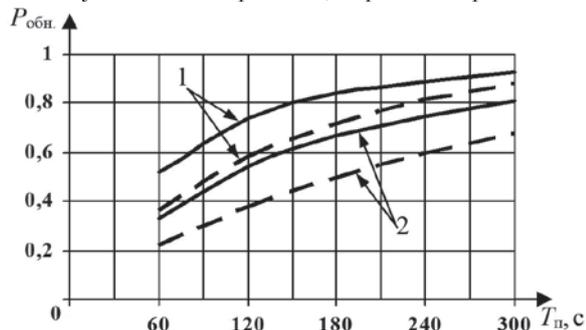


Рис. 2. Зависимость вероятности обнаружения цели от времени поиска

Анализ графиков, приведенных на рис. 2, показывает, что оптимальная стратегия поиска (стратегия ОРПУ) имеет пре-

имущество перед стратегией равномерного просмотра ОВПЦ (стратегией РРПУ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для повышения вероятности обнаружения и уменьшения времени поиска излучающей надводной цели в радиопеленгаторе должны быть реализованы различные режимы работы с возможностью изменения размера сектора и скорости сканирования зоны поиска.

2. Показано, что нахождение оптимального распределения поисковых усилий по частным секторам зоны поиска сводится к целочисленной оптимизационной задаче, решение которой может быть получено с использованием метода динамического программирования.

3. В рассмотренных условиях распределения местоположения цели по двумерному нормальному закону использование оптимальной стратегии поиска взамен стратегии равномерного просмотра области возможного положения цели дает относительный прирост вероятности обнаружения цели на 8...73% (прирост растет с уменьшением времени, отведенного на поиск цели, и снижается при увеличении вероятности возникновения радиоконтакта с целью).

ЛИТЕРАТУРА

1. Коржавин Г.А., Подоплёкин Ю.Ф. Проблемы информационного обеспечения современных и перспективных ПКР // Морская радиоэлектроника. – 2011. – Вып. № 2 (36). – С. 2 – 4.
2. Абчук А.В., Суздаль В.Г. Поиск объектов. – М.: Сов. радио, 1977.
3. Хеллман О. Введение в теорию оптимального поиска. – М.: Наука, 1985.
4. Володин Б.Г., Ганин М.П., Динер И.Я., Комаров Л.Б., Свешников А.А., Старобин К.Б. Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций / Под общей ред. д-ра техн. наук проф. А.А. Свешникова. – М.: Наука, 1965.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Пер. с англ. под общей ред. И.Г. Арамановича. – М.: Наука, 1978.
6. Смирнов Н.В., Большев Л.Н. Таблицы для вычисления функции двумерного нормального распределения. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
7. Седакин Н.М. Элементы теории случайных импульсных потоков. – М.: Сов. радио, 1965.
8. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования / Пер. с англ. под ред. А.А. Первозванского. – М.: Наука, 1965. ■

Проектирование приводов как промышленных роботов, так и исполнительных механизмов различных элементов перспективных систем вооружений, предусматривает максимальное быстродействие привода перемещения звена при минимальном перерегулировании или полном отсутствии его. Именно это позволяет обеспечить точность движения объектов управления по заданной траектории.

В гидравлических приводах с электроуправлением указанное требование реализуется при использовании различных тормозных устройств и схем торможения гидропривода.

Наиболее привлекателен способ торможения потока жидкости с применением специальных схем с двухпозиционным распределением, обеспечивающий быстродействие. При таком варианте скорость движения звена остается постоянной и номинальной практически

МЕТОДИКА СИНТЕЗА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РУЛЕВОГО ПРИВОДА АВТОНОМНЫХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Анисимов, канд. техн. наук, доцент
ФБГОУ «ЮРПУ (НИИ) им. М.И. Платова», г. Новочеркасск,
А.Г. Юрескул, канд. техн. наук, начальник НИЛ,
А.Н. Попадьян, канд. техн. наук, начальник НИЛ,
Т.А. Спасова, инженер, АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. (812) (812) 445 0829

во всем диапазоне перемещений, так как управляющий потоком жидкости электрогидрораспределитель работает в релейном режиме: полностью закрыт или открыт, а торможение происходит только на конечном пути, причем учас-

ток торможения зависит от характера нагружения звена исполнительного механизма.

Для прогнозирования работы исполнительного механизма и отработки алгоритмов объекта управления необходима

Современные тенденции по освоению Мирового океана, а также развития отечественных и зарубежных сил и средств вооруженной борьбы на море требуют разработки новых образцов военной техники в кратчайшие сроки. Традиционный порядок и сроки проектирования и строительства формировались десятилетиями. За это время выявлены возможности, отлажены организационные, технические и логистические связи, выстроена кооперация среди предприятий-разработчиков различных систем и комплексов, которая позволяет принимать участие в создании современных автоматизированных комплексов в соответствии с Федеральным законом № 223.

Развитие средств автоматизации управления ПЛ ВМФ, их оружием, вооружением и техническими средствами осуществляется в течение уже более чем пятидесяти лет. Накоплены значительный опыт и знания как в разработке систем боевого управления, комплексных систем управления техническими средствами и радиоэлектронного вооружения, так и в их эксплуатации и подготовки личного состава.

Функции боевых систем управления ограничивались обработкой информации об обстановке и применением оружия; корабельные радиоэлектронные системы и комплексы сохраняют свою традиционную структуру и в состав общекорабельных средств автоматизации не входят; управление энергетической установкой (ЭУ), общекорабельными системами (ОКС) и электроэнергетической системой (ЭЭС) корабля осуществляется отдельными системами управления.

Первым шагом на пути к созданию единой интегрированной системы управления (ИСУ) стала разработка комплекса агрегатированных средств (КАС) «Литий», где в дополнение к боевой интегрированной системе управления (БИУС) были интегрированы в единое целое системы управления торпедными аппаратами, оружием, маневрированием и техническими средствами ПЛ (ОКС, ГЭУ и ЭЭС). Вне общей интеграции до последнего времени оставались комплексы и системы РЭВ ПЛ (ГАК, РЛК, НК, КС и перископный комплекс). На пути к созданию единой интегрированной боевой системы (БС) сделан следующий, очень важный логический шаг: осуществлена интеграция с гидроакустическим комплексом (ГАК), радиолокационным комплексом (РЛК), навигационным комплексом (НК), корабельной связью (КС) и перископным комплексом, что привело как к существенному повышению оперативности обработки информации, так и к исключению дублирования при обработке информации, в первую очередь в БИУС и ГАК [1].

ПРОБЛЕМАТИКА ИНТЕГРАЦИИ КОМПЛЕКСОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК МАЛОГО ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ

И.И. Зайцев, начальник сектора,

Д.В. Шамановский, инженер-конструктор 2-й категории,

Е.В. Бутер, инженер,

АО «СПМБМ «Малахит»,

контакт. тел. +7 (921) 440 5285, +7 (921) 449 9934, +7 (911) 016 7090

Стоит отметить тот факт, что ни одна из принятых на вооружение систем управления не была предназначена непосредственно для ПЛ малого водоизмещения (ПЛ с ракетно-торпедным вооружением водоизмещением от 500 до 1200 т).

Основные *особенности* ПЛ малого водоизмещения как объекта автоматизации управления [1]:

- 1) ограниченное водоизмещение, ее незначительный внутренний объем требуют минимизации массогабаритных характеристик аппаратных средств систем управления ПЛ. При этом ограничения накладываются как на характеристики отдельных пультов и приборов, так и на всю систему, включая кабельные связи;
- 2) ограничения по количеству личного состава требуют тщательной проработки состава оборудования, назначения и функций пультов управления отдельных подсистем, а также в целом структуры главного командного пункта (ГКП), его организации при различных видах боевой и повседневной деятельности ПЛ;
- 3) малая численность экипажа исключает возможность иметь в его составе узких специалистов по боевому и техническому обслуживанию отдельных подсистем (все члены экипажа являются прежде всего операторами тех или иных пультов управления);
- 4) энергопотребление приборов систем управления с учетом обеспечения их электропитания от локальной системы управления (ЛСУ) энергетической установки (ЭУ) должно быть минимально возможным. Особенно жесткие ограничения накладываются на суммарное энергопотребление приборов системы, постоянно включенных по боевой готовности № 2 (БГ № 2).

Сформулируем основные *требования*, предъявляемые к перспективной интегрированной системе боевого управления ПЛ малого водоизмещения [1]:

1. Создание интегрированной систе-

мы с открытой архитектурой построения должно базироваться на основе функциональной, организационной, технической и программной интеграции всех имеющихся до этого отдельных систем управления и их аппаратных средств.

2. Функциональная интеграция должна достигаться путем оптимального распределения задач, решаемых интегрируемыми отдельными системами управления в интересах эффективного выполнения ими своих основных функций и исключения дублирования решаемых ими задач.

3. Техническая и программная интеграция должна реализовываться на базе интегрируемых систем на единой аппаратно-программной платформе, как минимум, на уровне базового пульта управления с сохранением существующих технических и программных решений незначительного количества отдельных систем управления, разрабатываемых различными организациями-разработчиками; как максимум – полного соответствия всех интегрируемых систем этому требованию, что позволит:

- сократить массогабаритные характеристики систем управления;
- обеспечить конструктивную унификацию их приборной части за счет использования однотипных конструктивов, модулей, блоков;
- применять одинаковое общее программное обеспечение, общие ресурсы памяти;
- уменьшать количество имеющейся запасной части ЗИП по массе, объему и номенклатуре.

4. Организационная интеграция должна обеспечиваться за счет наличия информационных связей, позволяющих осуществлять прием и передачу информации без участия или с участием одного оператора в цепочке передачи данных от источника информации к ее получателю в различных системах управления при соответствующем праве доступа к получаемой информации. Организационная интеграция в дополнение к функциональной и информационной позволит

упростить и усовершенствовать структуру управления ПЛ, исключить избыточные передаточные звенья и существенно сократить численность экипажа ПЛ.

Таким образом, перечисленные требования позволяют сформулировать концепцию построения и принципы проектирования единой интегрированной системы (включая подсистемы), а реализация принятых технических решений оптимизировать состав БС, массогабаритные характеристики и энергопотребление. Выполняется условие унификации основной части вычислительных комплексов, средств управления и отображения, а также программного обеспечения. Рационально распределяется информация по пультам управления в ГКП в целях оптимизации загрузки операторов и командира/вахтенного офицера по различным видам боевой готовности в подводном/перископном и надводном положении ПЛ [1].

ПРОБЛЕМАТИКА СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

На сегодняшний день в судостроении работает традиционная сложившаяся схема проектирования и производства отдельных корабельных систем для ПЛ, таких как ИСБУ, КСУ ТС, ГАК, РЛК, НК, КС и т. д. различными организациями, имеющими продолжительный опыт их создания. Существуют четко выработанные и отлаженные кооперационные связи между соисполнителями, используются задел и наработки, испытательные стенды и производство, которое позволяет разрабатывать аппаратуру в кратчайшие сроки.

Рассмотрим основные варианты создания единой БИУС для ПЛ малого водоизмещения:

1. Разработка на базе уже имеющихся отдельных автоматизированных комплексов, разрабатываемых различными организациями, состоит в объединении и управлении систем через индивидуальные сети управления каждой конкретной подсистемы (сети управления нижнего уровня) с пультов управления отдельных подсистем, связанных между собой сетью управления верхнего уровня – сетью обмена данными (СОД), необходима максимально возможная унификация всех входящих в БС подсистем управления. Данный вариант пригоден для применения при модернизации заказов, как правило, это выстроенная кооперация организаций разработчиков и соисполнителей, где можно четко разделить работы по созданию и проведению испытаний между участниками.

2. Разработка абсолютно новой системы, создаваемой на единой аппаратно-программной платформе с использованием однотипных конструктивов, модулей, блоков, аппаратной и программной части. Данный вариант целесообразно

рассматривать при выполнении новых опытно-конструкторских работ. Поскольку разработка и последующие испытания полностью интегрированной БС и составляющих ее подсистем предполагают совместное участие в этом процессе целого ряда предприятий и организаций, что является более сложными, чем при традиционном подходе, когда абсолютно новую автоматизированную систему управления ПЛ разрабатывает одно предприятие. Однако совершенно очевидные преимущества БС как на этапе разработки, так и в период ее последующей эксплуатации на сегодняшний день не определяют однозначность выбора в пользу создания единой БС [2].

Переход от традиционного подхода, где имеет место параллельное создание комплексов отдельными соисполнителями, к работе через единого головного предприятия-интегратора несет ряд недостатков и рисков:

- увеличение сроков заключения договоров/контрактов, так как процесс закупок становится последовательным от головного исполнителя до самого нижнего уровня исполнителя составной части;
- проблемы интеграции программной и аппаратной интеграции, поскольку разработчики имеют различное программное обеспечение и технологии изготовления аппаратуры;
- проблемы интеграции аппаратной части в едином конструктиве прибора (пульта), так как соисполнителей аппаратной и модульной части несколько, а разработчик конструктива единого пульта должен быть один;

- удаленность предприятий, дополнительные расходы и потери времени на логистику;
- необходимость учета увеличения объемов и сроков проведения ПИ и МВИ, комплексные МВИ могут сильно затянуться, в связи со сложной иерархической цепочкой систем и подсистем, входящих в состав, при моделировании и отработке всех режимов;
- разработка дорогостоящего интегрированного стенда.

С учетом изложенных причин и рисков на пути к интеграции предприятий процесс перехода к созданию единой интегрированной БС одним головным предприятием имеет сомнительную перспективу при требуемых сроках разработки и поставки подобных систем (пять лет).

На сегодняшний день предлагается использовать принцип умеренной частичной интеграции систем, т. е. интегрирование отдельно ИСБУ, отдельно КСУ ТС, вести проектирование и изготовление автоматизированных систем параллельно, по отдельным ТЗ с едиными унифицированными требованиями (к аппаратной, программной, конструктивной составляющими), что позволит сократить время проектирования и изготовления.

Учитывая особенности ПЛ малого водоизмещения, а также предложенный принцип умеренной частичной интеграции отдельных систем, рассмотрим основные подходы к разработке систем и комплексов автоматизации:

1) при создании ИСБУ предлагается реализовать комплексную интеграцию всех систем управления оружием, вооружением, техническими средства-



Рис. 1. Структура ИСБУ перспективной ПЛ малого водоизмещения

ми и комплексов автоматизированных систем в части движения ПЛ, а также интеграцию с комплексами РЭВ для управления ПЛ как единым объектом управления (рис. 1);

2) при создании КСУ ТС предлагается взять курс на дальнейшее углубление и интеграцию с комплексами навигации, гидроакустики, телевидения и оптических средств информации. С этой целью перспективные системы автоматики должны быть интегрированными. Интеграция систем управления должна повысить эффективность использования РЭВ и ТС заказа во всех режимах его работы, обеспечить безопасность эксплуатации оборудования, способствовать уменьшению нагрузки на операторов заказа во время несения вахты.

В состав перспективной КСУ ТС для ПЛ малого водоизмещения должны входить следующие системы (рис. 2):

- управления и контроля ЭУ и ЭЭС;
- информационного обмена, регистрации параметров заказа и его ТС, инф измерения и контроля параметров АБ;
- централизованного электропитания.

3) для реализации требований, обеспечивающих выполнение боевых задач малой численностью экипажа, необходимо:

- эффективная система поиска и устранения неисправностей;
- система информационной поддержки оператора для повышения эффективности действий экипажа в аварийных ситуациях и борьбе за живучесть корабля;
- обеспечение аварийного и резервного управления в нештатных ситуациях;
- унификация и сокращение ЗИП по массе, объему и номенклатуре, что позволяет упростить техническое обслуживание и подготовку личного состава различных специальностей;
- использование в подсистемах базового пульта управления, который позволяет в определенных ситуациях взаимозаменяемость пультовых стоек (рис. 3) [2].

При выполнении научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР) при создании новых объектов морской техники и ПЛ малого водоизмещения, а также выполнении составной части (СЧ) ОКР на разработку современных систем управления, которые образуют в конечном итоге центральный пост управления необходимо на ранних этапах предусматривать несколько концептов обликов ЦП.

Под обликом ЦП следует понимать взаимное размещение пультов управления различных комплексов и систем, а также другого оборудования на заказе с целью выполнения экипажем функций по прямому назначению ПЛ.



Рис. 2. Структура КСУ ТС перспективной ПЛ малого водоизмещения



Рис. 3. Унифицированный базовый пульт управления [2]

На стадии *технического предложения и начальных этапах эскизного проекта* основная задача состоит в формировании архитектурно-конструктивного облика ПЛ (включая ЦП управления), уточнении состава технических средств, определение основных кораблестроительных элементов [3]. Для формирования оптимального облика ЦП необходимо на этапе эскизного проектирования рассмотреть возможные варианты размещения комплексов (пультов управления и оборудования), определить наилучший из них для удобства несения вахты и обслуживания систем.

На этапе *технического проекта* совместно следует выполнить детализацию, разделение единого облика на составные элементы по функциональному назна-

чению систем, определить возможность применения унифицированных блоков и модулей, технологию изготовления, способы стыковки и крепления с фундаментами заказа, выбрать оптимальный по массогабаритным параметрам и остальным требованиям ТЗ на создание автоматизированных систем управления. На данном и последующих этапах проектирования и изготовления придется уточнять конструктивные требования с проведением эргономических экспертиз.

При проектировании и создании ПЛ малого водоизмещения, предлагается предприятиям, участвующими в разработке и изготовлении систем КСУ ТС, ГАК, ТВК, образующих ЦП управления ПЛ, предусматривать единые требования

Этапы создания КСУ ТС

и подходы к формированию облика ЦПУ, а именно:

- единого (однотипного) конструктива пультовых секций для систем КСУ ТС, ГАК и ТВК;
- сенсорного интерфейса управления;
- средств отображения информации (мониторов и панельных станций) с единой диагональю экрана (не менее 20 дюймов);
- единых подходов к разработке элементов отображения информации и органов управления для каждой пультовой секции/монитора;
- единых подходов к разработке органов управления (клавиатура, рукоятка, трекбол) для каждой пультовой секции;
- единой аппаратной и программной составляющих.

Исходя из функциональных требований к системе управления движением (ДУ) и техническими средствами ПЛ (ОКС, ЭУ и ЭЭС), а также требований к ограничению численности экипажа, предлагается реализовать эти функции в общей организационно интегрированной подсистеме (ДУ, ОКС, ЭУ и ЭЭС) – односекционного пульта ДУ и двухсекционного пульта управления ОКС, ЭУ и ЭЭС.

По боевой готовности № 2 управление с этого организационно объединенного пульта может производиться одним оператором; по БГ № 1 – двумя операторами, один из которых выполняет задачи пространственного маневрирования ПЛ, а второй обеспечивает управление техническими средствами ОКС, ЭУ и ЭЭС ПЛ.

Поэтому считаем целесообразным на сегодняшний день использовать интеграцию отдельных комплексов и систем с сохранением традиционной схемы работы: заказчик – проектант – головной исполнитель – исполнитель составной части.

Возможные этапы создания автоматизированных систем управления на примере разработки КСУ ТС представлены в табл. 1.

На этапе 1 головная организация-разработчик должен согласовать конструкторскую документацию (КД) на единый конструктив ЦПУ с бюро-проектантом для размещения и сопряжения ЦПУ на заказе. Также головной организации необходимо согласовать КД на конструктивы отдельных секций ПУ для возможности встраивания отдельных блоков аппаратуры и панельных станций с разработчиками ГАК, ТВК, НК, КС и др.

Головной исполнитель работ, например единого конструктива пульта управления, взаимодействует с несколькими изготовителями и поставщиками аппаратуры, разработанной по отдельным техническим заданиям (ТЗ). В ТЗ для исполнителей СЧ ОКР должны быть изложены единые унифицированные конструктив-

Этап	Содержание
Этап 1	Разработка технического проекта систем опытно-поставочного образца КСУ ТС. Разработка КД единого конструктива центрального поста, включающего секции пультов управления и приборов входящих в КСУ ТС.
Этап 2	Разработка РКД ЭМК и РКД ПЧ систем опытно-поставочного образца КСУ ТС. Создание элементов системы защиты информации для систем опытно-поставочного образца КСУ ТС.
Этап 3	Разработка и автономная отладка ПД (ПО) систем опытно-поставочного образца КСУ ТС. Разработка ЭД систем КСУ ТС.
Этап 4	Изготовление, проведение предварительных испытаний, корректировка КД, присвоение литеры «О». Проведение материально-технической приёмки систем опытно-поставочного образца КСУ ТС.
Этап 5	Изготовление ПЧ систем КСУ ТС. Комплексная отладка ПО (ПД), в том числе отладка ФПО и ОПО, систем опытно-поставочного образца КСУ ТС с внедрёнными элементами защиты информации.
Этап 6	Проведение МВИ систем опытно-поставочного образца КСУ ТС. Корректировка КД, ЭД, ПО (ПД) и доработка КСУ ТС по результатам МВИ. Проведение сертификационных испытаний систем опытно-поставочного образца КСУ ТС по требованиям защиты информации в системе сертификации МО РФ. Проведение совместных испытаний КСУ ТС. Корректировка КД, ЭД, ПО (ПД) и доработка КСУ ТС по результатам совместных испытаний. Поставка ПЧ систем КСУ ТС на завод-строитель с литерой «О» после проведения МВИ, сертификационных испытаний по требованиям защиты информации в системе сертификации МО РФ и совместных испытаний КСУ ТС.
Этап 7	Участие в ШИ (КШИ) заказа при работе систем опытно-поставочного образца КСУ ТС по прямому назначению. Корректировка КД, ЭД, доработка ПО (ПД), ПЧ систем опытно-поставочного образца КСУ ТС по результатам ШИ (КШИ) заказа. Участие в ПСИ заказа при работе систем КСУ ТС по прямому назначению. Корректировка КД, ЭД, доработка ПО (ПД), ПЧ систем опытно-поставочного образца КСУ ТС. Ревизия аппаратуры систем КСУ ТС. Присвоение РКД систем опытно-поставочного образца КСУ ТС литеры «О1». Поставка отчётной ЭД по системам КСУ ТС.
Этап 8	Проведение инспекционного контроля РКД систем опытно-поставочного образца КСУ ТС по требованиям защиты информации в системе сертификации МО РФ.

Таблица 2

Шаги разработки единого конструктива ЦПУ

№	Сторона 1	Объект взаимодействия	Сторона 2
1 шаг	Заказчик	ТТЗ на ПЛ	Проектант
2 шаг	Проектант	ТЗ на СЧ Комплекса/системы(Требования к облику ЦП геометрия и размеры)	Головной исполнитель конструктива ЦПУ
3 шаг	Головной исполнитель ЦПУ	РКД на отдельные конструктивы ПУ (для встраивания собственных модулей и аппаратуры в ЦПУ)	Разработчик СЧ (ИСБУ) Разработчик СЧ (КСУ ТС) Разработчик СЧ (НК) Разработчик СЧ (ТВК) Разработчик СЧ (ТВК) Разработчик СЧ (ГАК) Разработчик СЧ.
4 шаг	Головной исполнитель ЦПУ	РКД на единый конструктив ЦПУ	Проектант
5 шаг	Проектант	РКД на единый фундамент для конструктива ЦПУ	Завод-строитель
6 шаг	Головной исполнитель ЦПУ	Поставка изделия (единого ЦПУ)	Завод-строитель
7 шаг	Разработчик СЧ	Поставка встраиваемых в ЦПУ модулей	Завод-строитель

ные требования к пульту управления. По результатам разработки и испытаний вся аппаратная (модульная) часть передается головному разработчику от разра-

ботчиков СЧ ОКР. В табл. 2 укрупненно представлены шаги по порядку разработки единого интегрированного конструктива ЦПУ и не учитывается проведение

испытаний (ПИ, МВИ), изготовление головного исполнителя ЦПУ и отдельных разработчиков СЧ ОКР.

ТЗ на системы и комплексы разрабатываются на основании тактико-технического задания (ТТЗ), содержащего требования к единому облику центрального поста управления, включающего все системы и комплексы. Облик ЦП определяет бюро-проектант при выполнении НИР или ОКР с привлечением контрагентской организации. Таким образом, при выполнении НИР появляется возможность проработать вариативность и оценить характеристики облика, обеспечить хорошие условия несения вахты в ограниченных объемах помещений, решить вопросы компоновки и обслуживания обо-

дования в помещениях с стесненными условиями и особенностями конфигурации помещений ЦП. НИР следует выполнять с учетом современных и перспективных технических достижений и возможностей предприятий разработчиков автоматизированных комплексов.

Проектирование и изготовление предлагается реализовывать по схеме от предполагаемого облика ЦП к системам и подсистемам, что позволит улучшить качество управления заказом, обитаемость, эргономику, повысить живучесть, а также позволит сократить время на проектирование и разработку РКД и затраты при выполнении ремонта/модернизации на заводах-строителях.

ВВЕДЕНИЕ

Робототехника галолирующими темпами входит в нашу жизнь. По всему миру создаются роботизированные автомобили, роботы-консультанты, поисковые системы на основе летающих дронов и многое другое. Это неудивительно, так как решать рутинные и монотонные задачи с помощью большой группы людей накладно и чревато влиянием человеческого фактора. Достижения в робототехнике постепенно, начиная с авиации и космонавтики, спустились на землю, и уже сейчас активно применяются под водой.

Среди моделей использования, выполняемых подводными автономными необитаемыми аппаратами (далее – АНПА), наиболее актуальными являются следующие:

- обследование подводных площадок для установки добычного оборудования на шельфе, в перспективе – и для глубоководных добычных комплексов;
- планирование трасс прокладки трубопроводов и кабелей;
- обследование мест кораблекрушения для организации подъема судов;
- картографирование морского дна подо льдом;
- поисковые работы.

Преимущества использования АНПА – это быстрая готовность к применению, возможность автоматизации работ, отсутствие риска для людей.

Особый интерес в подводных роботизированных системах представляет возможность совместной работы групп АНПА с наилучшей производительностью и скоростью [1].

Поэтому актуальной становится задача управления движением и обеспечения навигационной информацией такой группы АНПА с помощью донной инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андреев А. Б., Воробьев М. Н. и др.* Боевая система для подводной лодки ограниченного водоизмещения. – Система управления и обработки информации: Научно-технический сборник /АО «Концерн «НПО «Аврора». – СПб., 2007.
2. *Волбуев В. Н., Дымент А. Б. и др.* Основные направления создания и развития интегрированных систем боевого управления (ИСБУ) для перспективных проектов неатомных подводных лодок (НАПЛ). – В сб. Система управления и обработки информации /АО «Концерн «НПО «Аврора». – СПб., 2018.
3. *Кормилицын Ю. Н., Хализев О. А.* Проектирование подводных лодок: Учебник. – СПб.: Элмор, 2004. ■

СИСТЕМА НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ

Д.С. Бабкин, начальник отдела гидроакустики АО «Морские навигационные системы»,

И.В. Капустин, д-р. техн. наук, начальник 4-го Управления ГУГИ МО РФ, А.В. Кирьянов, канд. техн. наук., гл. конструктор специализации средств РЭВ и ЭЭС АО «СПМБМ «Малахит»,

К.А. Смирнов, канд. техн. наук, ген. директор,

П.Г. Федоров, канд. техн. наук, зам. ген. директора, АО «Морские навигационные системы»,

Р.Е. Хан, зам. начальника отдела АО «СПМБМ «Малахит», контакт. тел. (812) 242 1570, (812) 320 3840

ПОИСКОВОЕ ОБЗОРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОЛИГОНА

Рассмотрим одну из задач, которую можно решить с помощью подводных роботов. Предположим, имеются полигон большой площадью и надводный корабль, оснащенный многолучевым эхолотом. Необходимо выполнить съемку полигона с целью поиска под водой различных объектов. Конечно, надводный корабль может решить эту задачу с определенным качеством, маневрируя галсами в районе. Но качество решения задачи будет неукоснительно падать с ростом глубины места в районе. Для повышения точности съемки поиска на больших глубинах следует установить многолучевой эхолот на борт обитаемого или необитаемого подводного аппарата.

Обитаемый подводный аппарат, конечно, имеет больше возможностей по поиску, нежели подводный робот, но при монотонной съемке морского дна его применение очень затратно. Высокотехнологичный аппарат при транспортировке эхолота на глубину должен быть оснащен множеством средств безопасности и жизнеобеспечения для высококвалифицированного экипажа

гидронавтов, который готовится далеко не один год. Более того, при выполнении любых подводных работ главная задача – обеспечение безопасности, из-за чего судно-носитель всегда находится в непосредственной близости от обитаемого аппарата, готовое к проведению при необходимости спасательной операции. Таким образом, при решении задачи с обитаемого подводного аппарата судно обеспечения также постоянно задействовано.

Требования к обеспечению безопасности в работах необитаемого подводного аппарата существенно ниже, кроме того, отсутствует обитаемый корпус с системой жизнеобеспечения, зачастую определяющий размер аппарата и время его автономной работы.

Но использование одиночного робота все равно не позволяет эффективно задействовать носитель. За роботом нужно наблюдать, при необходимости вводить корректировки и обеспечивать его работу.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ

Ключевые вопросы взаимодействия робота и носителя схожи с вопросами взаимодействия с обитаемым подводным

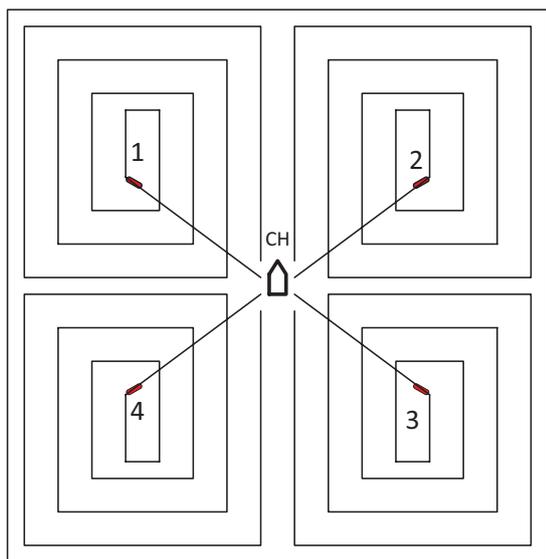


Рис. 1. Маневрирование группы АНПА в полигоне

аппаратом и заключаются в следующем:

1. Подводный аппарат должен знать свое географическое местоположение. Позиционирование по сигналам спутниковой навигационной системы из-под воды невозможно. Использование методов инерциальной навигации в глубоком море осложнено ограниченной допустимой глубиной гидроакустического лага, и аппарат, спускаясь на глубину, накопит недопустимую для картографирования ошибку местоположения.

2. С аппаратом должна быть устойчивая гидроакустическая связь. Высокоскоростные системы передачи информации, подобные беспроводному интернету сетей 3G, 4G и 5G под водой не работают, время распространения сигналов на пять порядков ниже, а неоднородность скорости звука по вертикали создает различные зоны акустической тени.

3. Подводный аппарат ввиду ограниченного набора вычислительных ресурсов хорошо подходит для сбора данных, но обработка этих данных проводится на носителе. Нужно выполнить «склею» собранных эхолотом данных, наложить их на карту, при необходимости совместить данные, собранные в различные временные интервалы.

Таким образом, при использовании одиночного подводного робота сложно получить существенный прирост эффективности. Ведущие мировые производители роботов уже исследуют технологии использования групп подводных роботов. Внедрение технологии использования групп роботов позволит значительно увеличить площадь обследования при снижении времени на проведение обследования.

ПРИМЕНЕНИЕ ГРУППЫ РОБОТОВ

Рассмотрим задачу обследования полигона с помощью группы роботов.

Предположим, имеется судно-носитель с четырьмя подводными роботами на борту. Носитель занимает место в центре обследуемого полигона. Полигон делится на равные по площади секторы для поисковой обследовательской миссии подводного робота. Примерные траектории движения роботов при обследовании полигона приведены на рис. 1.

Еще к одной немаловажной задаче, решаемой группой роботов, можно отнести поиск затонувших объектов. При этом схема маневрирования аппаратов и судна-носителя будет иной. Прежде всего судно-носитель тоже находится в движении. При этом количество аппаратов зависит от технических возможностей управления группой, а также площади охвата. Кроме того, исходя из специфики задачи, обмен данными между аппаратами и судном-носителем должен быть непрерывным.

Построение группы из n -аппаратов и судна-носителя будет иметь вид, представленный на рис. 2.

Очевидно, что при выполнении данных миссий придется решать ряд задач.

1. Позиционирование подводных роботов. Необходимо отслеживать местоположение робота. Для этого на нем, как правило, установлен гидроакустический маяк-ответчик, который опрашивается системой позиционирования. При этом на разных роботах должен идентифицироваться как групповой сигнал, когда выполняется запрос один раз и все роботы «хором» ответили, так и индивидуальный сигнал, когда может быть уточнено положение конкретного аппарата. Дистанция определяется по времени распространения, а пеленги получают, зная курс распределенной антенной решетки и углы прихода на нее ответных сигналов.

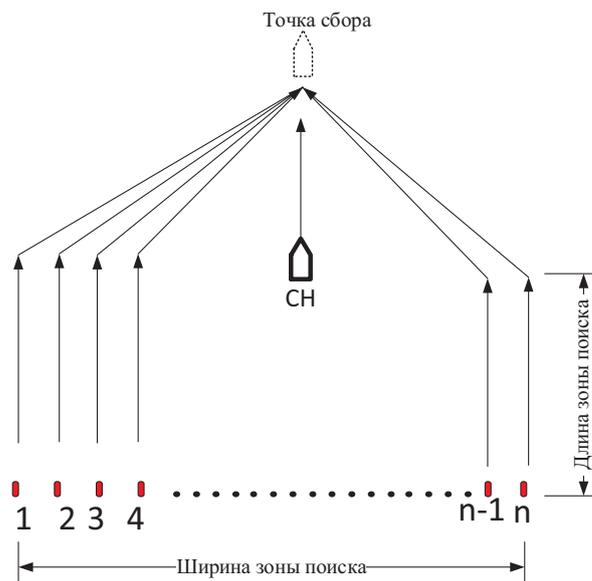


Рис. 2. Построение группы из n -аппаратов и судна-носителя

Альтернативным способом определения местоположения робота является синхронизация его активности методом «единого времени», для чего робот должен быть оборудован высокоточными часами, синхронизированными с всемирным временем при подготовке миссии, тогда запрос излучать не нужно, ответы роботы излучают в строго определенное время. По времени фактического прихода сигнала на приемной стороне следует рассчитать время его распространения.

2. Корректировка местоположения подводного робота. В ходе выполнения миссии, даже при наличии инерциальной навигации, робот будет накапливать ошибку местоположения, вследствие чего аппарат может отклониться от заданного маршрута, и съемка эхолота будет впоследствии отбракована. Для преодоления накопления ошибок навигационного комплекса необходимо использовать коррекцию по маяку-ответчику.

В большинстве систем прошлого века применяли позиционирование по длинной базе, когда в полигоне устанавливали три или четыре маяка-ответчика, точно определяли их координаты и использовали в программе робота как заранее известные. При этом местоположение робота рассчитывал, выполняя активный запрос и обнаруживая ответы от маяков по временным задержкам. Такой метод дает относительно высокую точность, но является очень трудозатратным и применяется совместно с роботами, не оснащенными инерциальной навигацией, определяющими свое место по числению.

Более современным является позиционирование с использованием распределенной антенной решетки, тогда достаточно знать координаты одного единственного маяка, и робот по нему

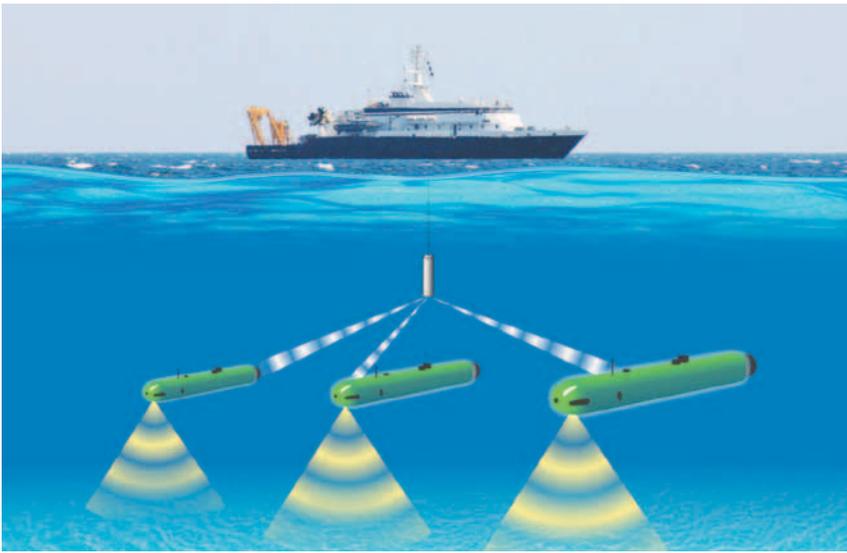


Рис. 3. Схема организации связи АНПА с судном-носителем

может определить свое местоположение. Частный вариант данного метода – позиционирование по носителю. При этом роботу нужно сообщить положение излучателя на носителе в момент передачи [2].

Альтернативный способ определения дистанции – определение ее методом «единого» времени, когда ответный сигнал носителем излучается в строго отведенный момент времени [4].

Для дрейфующего маяка подобный способ также приемлем, а вот с донным маяком дела обстоят несколько сложнее. При отсутствии сигналов спутниковой навигационной системы устанавливать высокоточный хронометр в маяк очень затратно. Время работы хранителя времени для донного маяка ограничено. Впрочем, если маяк всплывающий, то недостатком будет только погрешность определения места установки такого маяка [3].

В то же время перспективными для групповой работы являются системы донных маяков-ответчиков с ведущим и ведомыми маяками. Ведущий маяк излучает с заданным интервалом сигнал запроса, являющийся запросным для всех ведомых маяков. Последние отвечают с использованием индивидуальных кодов. Аппарат, обнаруживая сигналы маяков и зная их местоположение в пространстве, определяет собственные координаты. Преимуществом этой системы является сохранение точности длинной базы при использовании беззапросного метода определения местоположения в случае отсутствия требований к системе единого времени. Однако следует учитывать, что ресурс беззапросной системы существенно ниже, чем у запросной вследствие периодической активной работы донной базы и оправдывает себя только при наличии нескольких абонентов, работающих одновременно в одной акватории.

3. Связь с подводным роботом. Местоположение робота знать очень важно, но это не единственный параметр, необходимый оператору на борту. Контроль исправности агрегатов робота, текущий шаг миссии, остаток заряда в батарее – вот далеко не полный перечень телеметрической информации, которые робот должен уметь передавать.

В настоящее время основным способом передачи информации под водой является гидроакустическая связь. На рис. 3 показана схема организации связи судна-носителя с группой АНПА.

В свою очередь, судно-носитель должно иметь инструменты для аварийного телеуправления роботом при возникновении нештатной ситуации, не имеющей разрешения, исходя из алгоритма миссии. Наиболее простой пример: при ухудшении погодных условий требуется резко свернуть работы, тогда

роботы должны получить указания пропустить шаги миссии, связанные с поиском, и приступить к возвращению на носитель.

Еще один немаловажный вопрос – защита информации в открытом гидроакустическом канале. Но поскольку возможный частотный диапазон «снизу» ограничен габаритами антенны, «сверху» частотными затуханиями на заданной дальности связи, а ансамбль базовых сигналов во многом предопределен требованиями по помехоустойчивости и устойчивости к многолучевым искажениям, то с развитием числа подводных объектов, передающих телеметрическую информацию и получающих команды управления, протоколы станут общедоступны. В целях безопасности объектов необходимо решить задачу защиты от несанкционированного доступа, в том числе и по каналу гидроакустического телеуправления. Тогда без шифрования данных не обойтись.

Учитывая стремительность развития роботизированных систем, следует также позаботиться об обмене информацией между роботами, для чего в системе связи должно быть реализовано кодовое разделение абонентов по адресам и предусмотрен широкополосный канал.

Постобработка данных. Как уже было отмечено, сбор данных роботами необходим, но недостаточен для решения поисковой обследовательской задачи. Требуется не только собрать данные с различных подводных роботов в общую базу, но и нанести на карту результаты работ с учетом возможных и прогнозируемых ошибок их навигационных систем.

Практика подсказывает, что система постобработки является не отдельной системой, а составной частью работо-



Рис. 4. Пультавая секция робототехнического комплекса со средствами постобработки

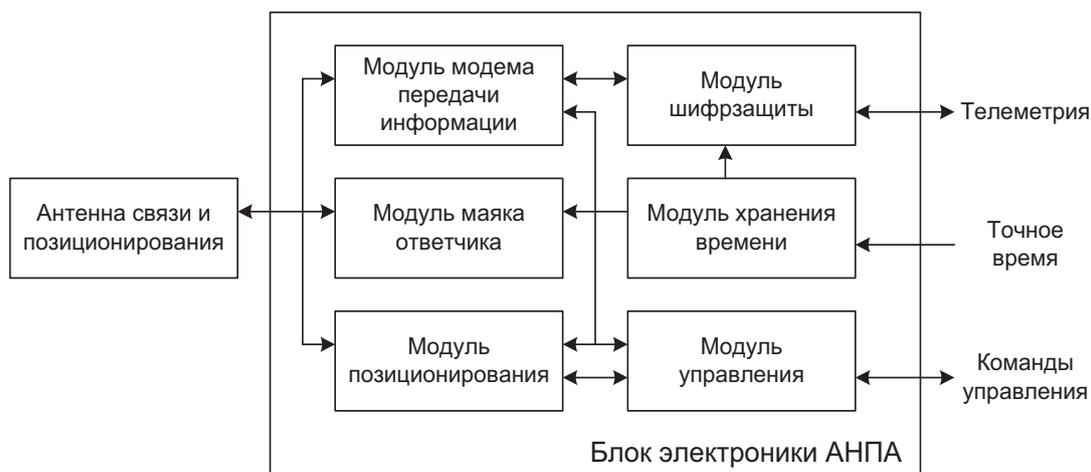


Рис. 5. Комплект оборудования АНПА

технического комплекса, поскольку без нее данные, собираемые роботом, не информативны.

На рис. 4 представлен вид типового пульта управления с картографическим цифровым навигационным планшетом. Подобные пульты могут быть частью оснащения носителя, а могут быть установлены в мобильный пост на базе морского грузового контейнера для размещения на произвольном носителе. Такие посты, как правило, имеют свое независимое навигационное обеспечение и интегрированную корабельную аппаратуру связи с опускаемой антенной или антенной на штанге.

Комплексный подход. Учитывая, что навигационное обеспечение и управление роботом решаются схожими техническими средствами, их объединение в единую интегрированную систему становится актуальным.

Структурная схема подобного комплексного технического решения приведена на рис. 5.

Носитель при этом оснащается постом управления в морском контейнере. Аппаратура опускаемого тела идентична оборудованию, установленному на АНПА. Опускаемое тело заглубляется с помощью лебедки из состава контейнера управления или монтируется на выдвижное устройство, штатно установленное на корабле-носителе. Опускаемое тело также снабжено встроенным курсоуказателем для ориентирования распределенной антенной решетки относительно сторон света.

При работе аппаратов совместно с носителем предусмотрены следующие режимы работы:

1) носитель по программе выдает сигнал для уточнения местоположения аппарата с телеметрической информацией о своем местоположении;

2) каждый аппарат в отведенное временное окно выдает телеметрический кадр, по которому носитель вычисляет местоположение аппарата;

3) носитель в отведенные временные интервалы взаимодействует с конкретным роботом.

После завершения операции работ поднимают на борт носителя и с него переписывают данные в пост управления, где и осуществляется их дальнейшая обработка.

Применение оптического канала передачи данных. Значительное повышение эффективности применения группы подводных аппаратов достигается при использовании в системе связи оптического канала передачи данных в дополнение к гидроакустическому каналу.

По оптическому каналу можно передавать большие массивы информации от сенсоров АНПА на судно-носитель в процессе выполнения миссии, что позволяет корректировать план поисковых работ с обнаружением объекта до подъема АНПА на борт, изменять режим поиска, с большей гибкостью и с сокращением времени выполнять задачи. Недостатком оптического канала является необходимость нахождения приемника и передатчика на одной оптической оси

на расстоянии не более 10 м. Кроме того, существенное влияние оказывает мутность воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Океанские глубины хранят множество секретов, и обитаемыми средствами их детальное исследование не представляется возможным. Очевидно, что будущее в изучении Мирового океана – за подводными роботами.

Комплексный подход к построению системы навигационного обеспечения, подводной связи, подготовки миссии и ее постобработки является ключом к успешному развитию отечественной робототехники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зарубежные самоходные необитаемые морские аппараты / А. В. Кирьянов, К. А. Смирнов, Р. Е. Хан и др. – СПб.: Типография АО «СПМБМ «Малахит», 2016. – 300 с.
2. Матвиенко Ю. В. Навигация подводного робота. – Саарбрюкен (Германия): Palmarium Academic Publishing, 2013. 199 с.
3. Кирьянов А. В., Бабкин Д. С., Хан Р. Е., Смирнов К. А. Перспективы создания подводной глобальной навигационной системы // Морская радиоэлектроника. – 2019. – № 2 (68). – С. 24–27.
4. Кирьянов А. В., Хан Р. Е. О некоторых способах повышения точности определения местоположения подводного аппарата без использования активных гидроакустических средств самого аппарата // Морская радиоэлектроника. – 2014. – № 1 (47). – С. 50–52. ■

ИНВАРИАНТНАЯ К ИЗМЕНЕНИЮ СКОРОСТИ СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ МПО

С.К. Воловдов, канд. техн. наук, доцент Санкт-Петербургского государственного морского технического университета,

А.В. Смольников, канд. техн. наук, доцент, начальник отдела АО «Концерн НПО «Аврора»,

Ю.В. Ясинская, канд. техн. наук, доцент Санкт-Петербургского государственного морского технического университета,

контакт. тел. (812) 643 1831, volovodovs@mail.ru, jasinская@mail.ru

Рассматривается задача синтеза системы стабилизации курса морского подвижного объекта (МПО), инвариантной по отношению к скорости движения объекта. Предлагается метод, позволяющий при изменении скорости хода МПО обеспечивать постоянный вид характеристического полинома замкнутой системы стабилизации и переходной характеристики за счет изменения параметров закона управления. Метод включает в себя синтез характеристического полинома с использованием стандартных коэффициентов и определения среднегеометрического корня из условия заданного времени переходных процессов. Основную проблему при этом составляет определение стандартных коэффициентов для передаточных функций систем, имеющих несколько нулей. Варьируя стандартные коэффициенты, можно обеспечить тождество переходных характеристик для различных скоростей МПО. Стандартные коэффициенты определяются для каждого скоростного режима, затем по ним определяются параметры законов управления.

МЕТОД РЕШЕНИЯ

1. Рассматривается замкнутая система управления (рис. 1).

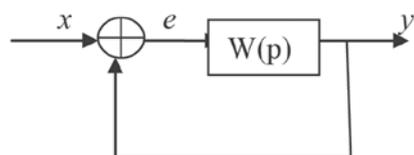


Рис. 1. Структурная схема одноконтурной системы

Операторная форма записи динамики МПО имеет вид

$$N(p)y = M(p)e,$$

т.е. передаточная функция звена в прямой цепи $W(p) = \frac{M(p)}{N(p)}$.

Передаточной функцией замкнутой системы является отношение полиномов

$$\Phi(p) = \frac{M(p)}{\Delta(p)},$$

где $\Delta(p) = M(p) + N(p)$ – характеристический полином системы, который имеет вид

$$\Delta(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n. \quad (1)$$

Характеристический полином может быть приведен к виду [1]

$$\Delta(p) = p^n + A_1 \Omega_0 p^{n-1} + \dots + A_{n-1} \Omega_0^{n-1} p + \Omega_0^n, \quad (2)$$

где $\Omega_0 = \sqrt[n]{\frac{a_n}{a_0}}$ – среднегеометрический

корень характеристического полинома (собственная частота системы), связан со временем переходных процессов приближенным соотношением $t_{\text{мин}} = 3/\Omega_0$. Коэффициенты A_i определяются соотношениями

$$A_0 = 1, \quad A_1 = \frac{a_1}{a_0 \Omega_0}, \\ A_2 = \frac{a_2}{a_0 \Omega_0^2}, \dots, \quad A_{n-1} = \frac{a_{n-1}}{a_0 \Omega_0^{n-1}} \Omega_0^n.$$

Коэффициенты A_i получили название стандартных. Их выбор существенно зависит от числа нулей передаточной функции объекта управления. Если передаточная функция не содержит нулей, то для системы, имеющей такую передаточную функцию, принимается, что все корни характеристического полинома вещественны [1]. При этом время переходного процесса будет наименьшим, если все корни кратные. В этом случае все коэффициенты A_1, A_2, \dots, A_{n-1} оказываются коэффициентами бинома Ньютона.

При наличии нуля у передаточной функции кратные корни уже не обеспечивают удовлетворительного переходного процесса. Появляется большое перерегулирование. Чтобы уменьшить выброс, вызванный влиянием нуля передаточной функции, приходится замедлять скорость нарастания переходной функции. Это можно сделать только путем разведения корней характеристического полинома по отрицательной вещественной полуоси комплексной плоскости. При наличии передаточной функции с одним нулем корни рекомендуются располагать на отрицательной полуоси по арифметической прогрессии [1]. Для передаточной функции с двумя нулями рекомендуется располагать на отрицательной полуоси по геометрической прогрессии [1]. Авторы предлагают дополнительно корректировать стандартные коэффициенты по результатам моделирования.

Рассмотрим движение МПО в горизонтальной плоскости. Однако результаты легко обобщаются на все виды движения МПО.

Уравнения движения МПО в горизонтальной плоскости в предположении постоянства скорости вдоль оси Ox , $v_x = v_0 = \text{const}$ и управлении только рулем имеют следующий вид [2]:

$$\frac{dv_z}{dt} = a_{33} v_z + a_{35} \omega_y + b_1 \delta; \\ \frac{d\omega_y}{dt} = a_{53} v_z + a_{55} \omega_y + b_2 \delta; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega_y, \quad (3)$$

где v_z – скорость движения лагом; ω_y – скорость изменения угла рыскания; φ – угол рыскания; δ – угол перекадки руля.

Передаточная функция МПО в этом случае имеет вид

$$W_{\varphi\delta}(p) = \frac{b_2 p + a_{53} b_1 - a_{33} b_2}{p[(p - a_{55})(p - a_{33}) - a_{53} a_{35}]}. \quad (4)$$

Передаточная функция с тремя полюсами и одним нулем позволяет использовать последовательный регулятор второго порядка с тремя неизвестными параметрами, например

$$W_r(p) = k_0 + k_1 p + k_2 p^2. \quad (5)$$

Передаточная функция звена в прямой цепи схемы (см. рис. 1) примет вид

$$W(p) = W_r(p) W_{\varphi\delta}(p) = \\ = \frac{b_2 p + a_{53} b_1 - a_{33} b_2 (k_0 + k_1 p + k_2 p^2)}{p[(p - a_{55})(p - a_{33}) - a_{53} a_{35}]}. \quad (6)$$

Очевидно, она имеет два полюса, что требует дополнительного исследования при определении желаемого характеристического полинома методом стандартных коэффициентов.

Характеристический полином замкнутой системы имеет вид

$$\Delta(p) = (1 + k_2 b_2) p^3 + [k_1 b_2 + k_2 (a_{53} b_1 - a_{33} b_2) - (a_{33} + a_{55})] p^2 + [k_0 b_2 + k_1 (a_{53} b_1 - a_{33} b_2) + (a_{33} a_{55} - a_{53} a_{35})] p + k_0 (a_{33} b_1 - a_{33} b_2). \quad (7)$$

Поделив на $(1 + k_2 b_2)$, получим располагаемый характеристический полином:

$$\Delta(p) = p^3 + \frac{[k_1 b_2 + k_2 (a_{53} b_1 - a_{33} b_2) - (a_{33} + a_{55})]}{(1 + k_2 b_2)} p^2 + \frac{[k_0 b_2 + k_1 (a_{53} b_1 - a_{33} b_2) + (a_{33} a_{55} - a_{53} a_{35})]}{(1 + k_2 b_2)} p + \frac{k_0 (a_{33} b_1 - a_{33} b_2)}{(1 + k_2 b_2)}. \quad (8)$$

Приравняв коэффициенты полиномов (2) и (8), получим систему уравнений для определения значений коэффициентов регулятора k_i . Для физической реализуемости и при моделировании принимаем передаточную функцию регулятора в виде

$$W_r(p) = \frac{k_0 + k_1 p + k_2 p^2}{(Tp + 1)^2},$$

где постоянная времени T достаточно мала, например $T = 0,01$.

ПРИМЕР СИНТЕЗА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ КУРСА КОРАБЛЯ, ИНВАРИАНТНОЙ К ИЗМЕНЕНИЮ ЕГО СКОРОСТИ

Рассмотрим уравнения движения пограничного судна «Выборг» [3], которые имеют вид

$$\frac{dv_z}{dt} = a_{33}v_z + a_{35}\omega_y + b_1\delta; \quad (9)$$

$$\frac{d\omega_y}{dt} = a_{53}v_z + a_{55}\omega_y + b_2\delta; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega_y,$$

где v_z – скорость движения лагом; ω_y – скорость изменения угла рыскания; φ – угол рыскания; δ – угол перекаладки руля; $a_{33} = -0,28$; $a_{35} = -0,1035v_0$; $a_{53} = -\frac{0,117}{v_0}$; $a_{55} = -0,896$; $b_1 = -0,039$; $b_2 = -0,052$.

Передающая функция МПО в этом случае имеет вид

$$W_{\text{фс}}(p) = \frac{b_2 p + a_{53} b_1 - a_{33} b_2}{p[(p - a_{55})(p - a_{33}) - a_{53} a_{35}]} = \frac{0,052 p + \left(\frac{0,058}{v_0} + 0,014\right)}{p[p^2 + 1,176 p + 0,238]} \quad (10)$$

лаемый характеристический полином имеет вид

$$\Delta_{\text{ж}}(p) = p^3 + A_1 \Omega_0 p^2 + A_2 \Omega_0^2 p + \Omega_0^3.$$

Для $A_1 = 5,77$, $A_2 = 5,86$ имеем

$$\Delta_{\text{ж}}(p) = p^3 + 1,56 p^2 + 0,44 p + 0,027. \quad (13)$$

Поделив полином (4) на $(1 + 0,052k_0)$ и приравняв полиномы (4) и (5), получим следующие уравнения относительно неизвестных коэффициентов $k_i, i = 0, 1, 2$:

$$\frac{0,02k_2 + 0,052k_1 + 1,176}{1 + 0,052k_2} = 1,56;$$

$$\frac{0,052k_0 + 0,02k_1 + 0,238}{1 + 0,052k_2} = 0,44; \quad (14)$$

$$\frac{0,02k_0}{1 + 0,052k_2} = 0,027.$$

Имеем $k_0 = 1,0$; $k_1 = 8,8$, $k_2 = 1,2$.

Структурная схема модели и результаты моделирования приведены на рис. 2, а.

Определим параметры закона управления для $v_0 = 5$ м/с и сравним процессы для $v_0 = 5$ м/с и $v_0 = 10$ м/с.

лучим следующие уравнения относительно неизвестных коэффициентов $k_i, i = 0, 1, 2$:

$$\frac{0,025k_2 + 0,052k_1 + 1,176}{1 + 0,052k_2} = 1,55;$$

$$\frac{0,052k_0 + 0,0256k_1 + 0,238}{1 + 0,052k_2} = 0,44; \quad (17)$$

$$\frac{0,025k_0}{1 + 0,052k_2} = 0,028.$$

Откуда $k_0 = 1,2$, $k_1 = 8,5$, $k_2 = 1,1$. Результаты моделирования приведены на рис. 2, б.

Как видно из результатов моделирования, приведенных на рис. 2, а и б, графики переходных процессов практически совпадают, что говорит об инвариантности системы управления к скорости движения МПО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена возможность построения законов управления МПО, инвариантных к изменению скорости его движения. На основе метода стандартных коэффициен-

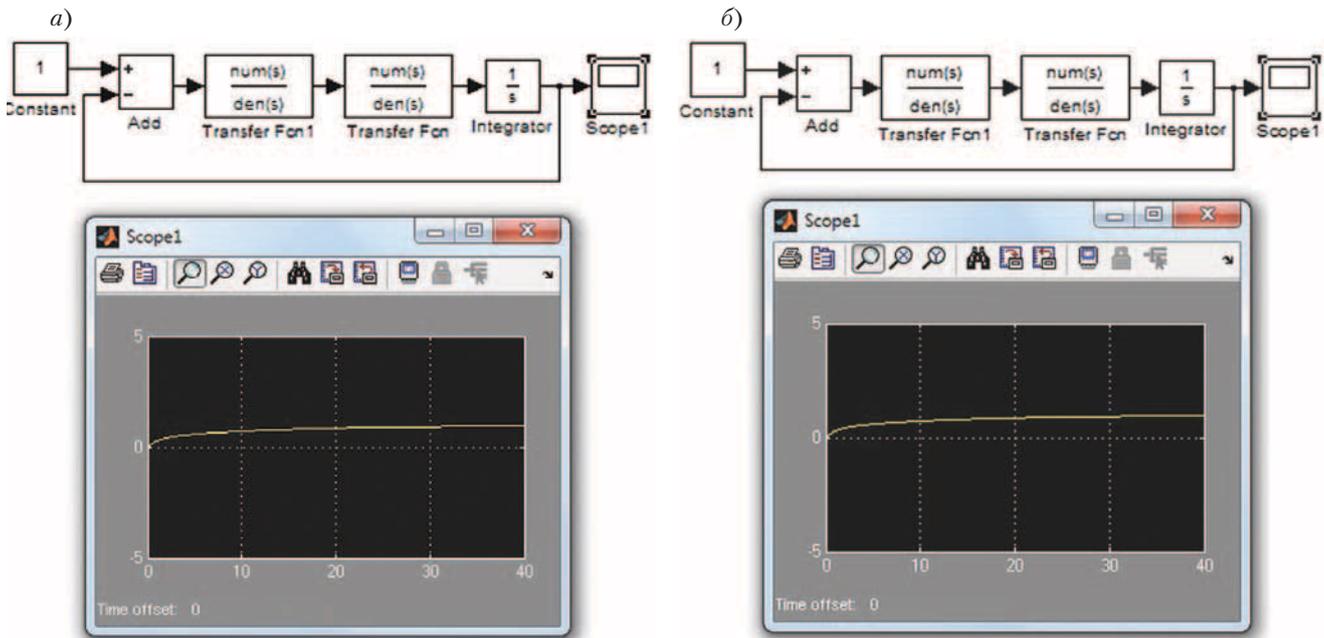


Рис. 2. Структурная схема модели и график переходного процесса: а – для $v_0 = 10$ м/с; б – для $v_0 = 5$ м/с

Для системы третьего порядка передающая функция регулятора, имеющая три неизвестных параметра и не изменяющая порядок замкнутой системы, имеет вид

$$W_r(p) = k_0 + k_1 p + k_2 p^2. \quad (11)$$

Определим параметр закона управления для $v_0 = 10$ м/с.

Характеристический полином замкнутой системы для $v_0 = 10$ м/с имеет вид

$$\Delta(p) = (1 + 0,052k_0)p^3 + (0,02k_2 + 0,052k_1 + 1,176)p^2 + (0,052k_0 + 0,02k_1 + 0,238)p + 0,02k_0. \quad (12)$$

Для заданного времени переходного процесса $t_{\text{нп}} = 10$ с и $\Omega_0 = 0,3 = \frac{3}{10}$ же-

Для $t_{\text{нп}} = 10$ с желаемый характеристический полином для $v_0 = 5$ м/с имеет вид для $\Omega_0 = 0,3$:

$$\Delta_{\text{ж}}(p) = p^3 + A_1 \Omega_0 p^2 + A_2 \Omega_0^2 p + \Omega_0^3.$$

Для $A_1 = 5,16$, $A_2 = 4,89$ имеем

$$\Delta_{\text{ж}}(p) = p^3 + 1,55 p^2 + 0,44 p + 0,027. \quad (15)$$

Характеристический полином замкнутой системы для $v_0 = 5$ м/с в этом случае

$$\Delta(p) = (1 + 0,052k_0)p^3 + (0,025k_2 + 0,052k_1 + 1,176)p^2 + (0,052k_0 + 0,025k_1 + 0,238)p + 0,025k_0. \quad (16)$$

Поделив полином (7) на $(1 + 0,052k_0)$ и приравняв полиномы (9) и (11), по-

строена система уравнений, позволяющая для любого принятого скоростного режима определять параметры закона управления, обеспечивающего одну и ту же по форме переходную характеристику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доброленский Ю.П., Иванова В.И., Поселов Г.С. Автоматика управляемых снарядов. – М.: Оборонгиз, 1963. – 548 с.
2. Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами. – Л.: Судостроение, 1988. – 272 с.
3. Дмитриев С.П., Пелевин А.Е. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2002. – 160 с. ■

Важным направлением борьбы с повышенной вибрацией на судах является исключение резонансных колебаний корпуса и корпусных конструкций [1]. Эффективное решение указанной задачи может быть получено на основе надежного расчетного прогнозирования значений собственных частот конструкции еще на стадии проектирования (конструирования), поскольку гораздо важнее предупредить повышенную вибрацию судна, чем принимать меры по ее снижению. При конструировании необходимо так распределить массы и жесткости конструктивных элементов корпуса, чтобы «отстроить» спектр собственных частот от спектра частот, «вынуждающих» внешних сил, возникающих вследствие работы судовых механизмов и гребных винтов. Для предотвращения резонанса некоторая собственная частота колебаний конструкции ω_1 должна отличаться от частоты вынуждающей силы ω_b на некоторую величину $\Delta\omega$ влево (т.е. в сторону уменьшения частоты) либо на $\Delta\omega_+$ вправо с таким расчетом, чтобы итоговый уровень колебаний конструкции не превысил заданный технический (либо санитарный) норматив. Соответствующие диапазоны отстройки частот можно представить в следующем виде:

$$\omega_1 < \omega_b - \Delta\omega; \quad \omega_1 > \omega_b + \Delta\omega_+. \quad (1)$$

Правильность их выбора зависит от точности проектного расчета вынужденной вибрации корпусной конструкции. На рис. 1 показаны отстроенные (смещенные) амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) $A(\omega)$ вибрации корпусной конструкции (кривые 2 и 3), наложенные на кривую 1 нормативных требований по уровням колебаний. Абсцисса точки пересечения указанных кривых по существу и задает границу интервала смещения $\Delta\omega$ собственной частоты конструкции ω_1 по отношению к резонансной частоте ω_b .

Можно ли быть уверенным в том, что проектная отстройка частот сохранится в течение всего периода эксплуатации судна? Одним из существенных факторов, затрудняющих ответ на заданный вопрос, является эксплуатационное коррозионное изнашивание. В процессе эксплуатации конструктивные элементы корпуса теряют жесткость и массу. При доминирующем влиянии на собственные частоты жесткости проектная отстройка собственной частоты конструкции влево (т.е. в сторону уменьшения) выглядит предпочтительнее, поскольку коррозионное изнашивание все дальше уводит конструкцию от резонанса. При отстройке вправо коррозия, наоборот, способствует увеличению амплитуд колебаний конструкции корпуса, приближая собственную частоту конструкции к резонансной (вынуждающей) частоте. В

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА СУДНА, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Г.Н. Муру, канд. техн.наук, доцент кафедры СПбГМТУ,
В.И. Сутырин, д-р техн.наук, проф. Инженерно-технического института Балтийского федерального университета имени И. Канта, доцент,
контакт. тел. +7 921 263 6156, 8(4012) 36 83 43, office@51cktis

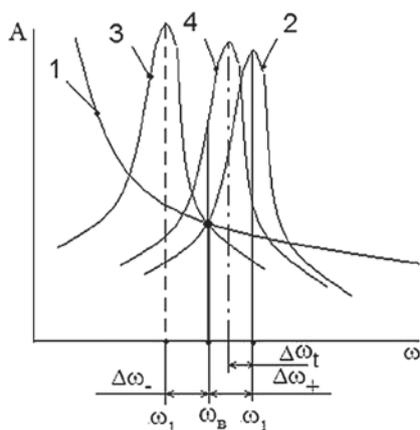


Рис. 1. Отстройка собственной частоты колебаний корпуса судна от частоты вынуждающей внешней силы ω_b , осуществляемая путем смещения АЧХ конструкции 1 – нормативный уровень колебаний; 2, 3 – АЧХ корпуса, отстроенные от резонанса вправо и влево соответственно; 4 – положение АЧХ на некотором этапе эксплуатации судна

указанной ситуации требуется дополнительная отстройка собственной частоты (1) на некоторую величину $\Delta\omega$:

$$\omega_1 > \omega_b + \Delta\omega_+ + \Delta\omega_-. \quad (2)$$

Какова степень влияния коррозии на этапах эксплуатации судна и следует ли учитывать сроки эксплуатации при выборе проектной отстройки собственных частот от возможного резонанса? Для поиска ответа на поставленный вопрос анализировалась конструктивно-подобная конечно-элементная (КЭ) расчет-

ная модель (PM) корпуса судна длиной 75 м (рис. 2). Для выполнения расчетов использовались программные комплексы ANSYS и FEMAP with NX Nastran.

Построенная КЭ модель отражает пространственную (3D) картину напряженно-деформированного состояния корпусной конструкции и учитывает продольные, изгибные, сдвиговые деформации, а также деформации кручения конструктивных элементов. В модели учтены все основные конструктивные элементы корпуса, включая обшивку, шпангоуты, карлингсы, стрингеры, флоры, пиллерсы, настилы палуб, двойного дна, платформ, продольные и поперечные переборки, комингсы люков и др. Корпус моделировался на всю высоту поперечного сечения судна, включая конструкции надстройки, расположенные над верхней палубой. Общее число степеней свободы модели конструкции 2 929 000.

Масса модели порожнем с учетом сухого балласта и оборудования составила $M = 954 \times 10^3$ кг. Расчетная частота первого тона собственных колебаний конструкции корпуса без учета присоединенной массы воды $\omega_1 = 5,42$ Гц (рис. 3).

291 000 КЭ корпуса распределялись по толщинам (типам) на 600 групп. В свою очередь, типовые группы КЭ объединялись в укрупненные группы по скоростям изнашивания связей. Остаточная толщина рассматриваемой связи корпуса, входящей в укрупненную группу, на период эксплуатации судна T оп-

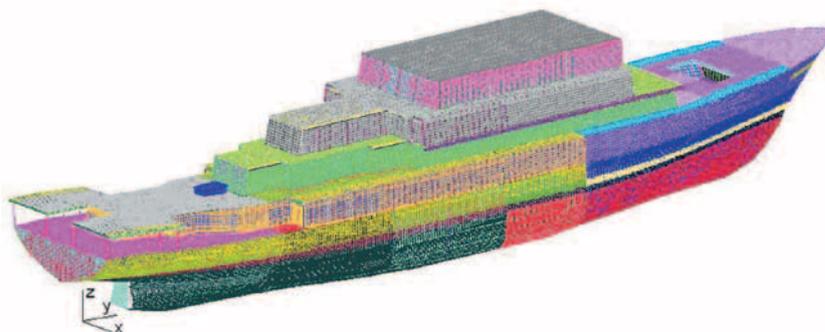


Рис. 2. Пространственная (3D) конечно-элементная модель судна, набранная преимущественно пластинчатыми элементами (типа Shell и Plate, применена раскраска по толщинам (типам) элементов)

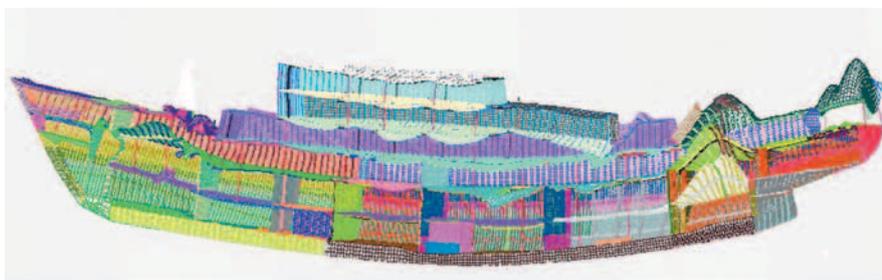


Рис. 3. Форма собственных колебаний модели корпуса судна, соответствующая частоте 1-го тона ($\omega_1 = 5,42$ Гц)

ределялась на основании приведенных в [2] среднестатистических скоростей изнашивания u_c следующим образом:

$$S_{cp}^T = S_{cp}^o - u_c T, \quad (3)$$

где S_{cp}^o – проектная толщина элемента.

В расчетах анализировались сроки эксплуатации T , равные соответственно 10, 20 и 30 годам.

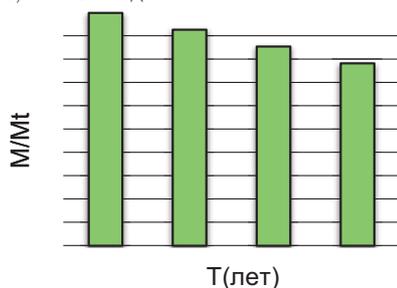


Рис. 4. Потеря массы конструкции корпуса (%) , возникающая вследствие коррозионного изнашивания (использованы среднестатистические износы связей)

На гистограмме рис. 4 приводятся прогнозные данные по процентному изменению массы металлического корпуса судна вследствие коррозионного изнашивания связей, принятого согласно [2]. При этом делается допущение об удалении продуктов коррозии. Соответствующее изменение частоты ω_1 1-тона корпуса судна, находящегося в эксплуатации 10, 20 и 30 лет, иллюстрируется гистограммой рис. 5. Результаты модального анализа конструкции демонстрируют возможную величину исчерпания проектной отстройки собственной частоты 1-го тона при приближении ее к точке резонанса за 30 лет эксплуатации.

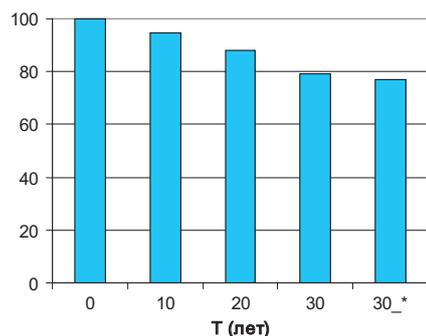


Рис. 5. Уменьшение собственной частоты 1-го тона конструкции корпуса судна после 10, 20 и 30 лет эксплуатации

На рис. 6 приведены результаты расчета частот собственных колебаний конструкции корпуса судна в диапазоне от 0 до 25 Гц на сроках эксплуатации 10, 20 и 30 лет без учета массы продуктов коррозии, а также спустя 30 лет эксплуатации с учетом всей коррозионной массы. При этом коррозионная масса

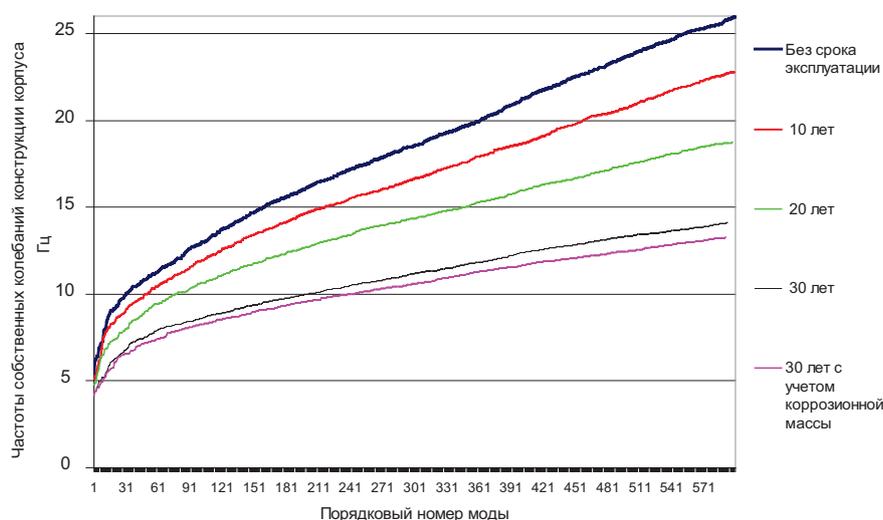


Рис. 6. Изменение собственных частот конструкции корпуса судна в процессе эксплуатации

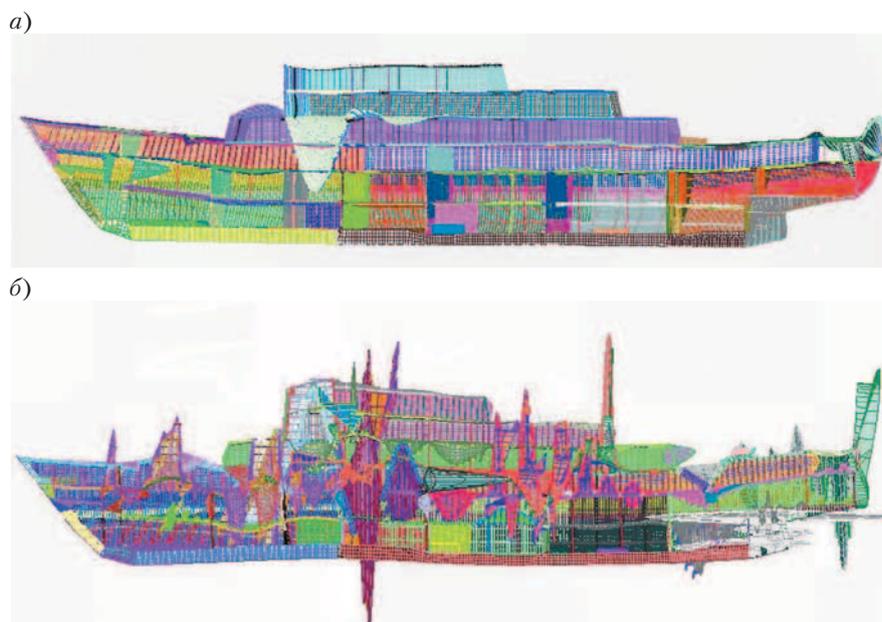


Рис. 7. Изменение формы собственных колебаний конструкции корпуса судна на фиксированной частоте после 30 лет эксплуатации а – мода 10, частота 7,8 Гц, без срока эксплуатации; б – мода 66, частота 7,8 Гц, 30 лет эксплуатации

вводилась в расчет путем соответствующего изменения удельного веса материала корпуса. Результаты расчетов показывают, что в процессе эксплуатации корпуса спектр его собственных частот смещается в сторону уменьшения. Полученный результат следует считать лишь первым приближением, поскольку реальный процесс потери коррозионной массы конструктивных элементов корпуса на этапах его эксплуатации требует дополнительных исследований.

ВЫВОДЫ

1. Расчетные исследования подтвердили значительное влияние коррозионного изнашивания на частоты собственных колебаний конструкции корпуса судна, находящегося в длительной эксплуатации.
2. Результаты модального анализа конструкции корпуса демонстрируют

исключительно плотные спектры собственных частот. В процессе эксплуатации наблюдается их значительный дрейф в сторону уменьшения, что приводит к существенному изменению всей вибрационной обстановки на судне. В качестве примера, подтверждающего сделанный вывод, на рис. 7 сопоставлены формы собственных колебаний корпуса судна на начальном этапе эксплуатации ($T = 0$), а также спустя 30 лет ($T = 30$ лет).

3. Модальный анализ пространственной модели судна с учетом среднестатистических скоростей изнашивания связей показал, что изменение частоты $\Delta\omega_1$ 1-го тона корпуса за период эксплу-

атации (30 лет) может достигать 20% от ее проектного значения.

4. При проектировании корпусных конструкций необходимо контролировать возможное появление изменяющихся собственных частот в непосредственной близости от смежных резонансных частот. В противном случае экипаж может столкнуться с проблемой нарастания резонансных явлений в процессе эксплуатации судна.

5. В расчетах не проявились в явном виде классические (балочные) формы собственных колебаний используемой модели корпуса 2-го, 3-го и т.д. тонов, в связи с чем нормативная отстройка от резонанса собственных частот ука-

занных тонов может оказаться весьма проблематичной.

6. Численный анализ собственной и вынужденной вибрации корпуса с учетом эксплуатационного изнашивания его связей должен стать важным элементом управления жизненным циклом судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиманский Ю.А. Динамические расчеты судовых конструкций. – Л.: Судпромгиз, 1948.
2. Правила классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства. – Ч.12: Корпус (НД № 2-020101-087), 2016. ■

Одна из наиболее важных задач при эксплуатации морских нефтегазовых сооружений – безопасная эвакуация персонала [1]. При авариях возможно нарушение подачи электропитания к спусковым устройствам. Для таких условий актуально создание понтонного спускового устройства (ПСУ), предназначенного для аварийного спуска спасательных шлюпок, способного обеспечить эвакуацию без удара о водную или ледовую поверхность.

В данной работе представлена математическая модель для опытного образца ПСУ с противовесом переменной массы. В начале спуска масса груза больше массы противовеса, следовательно, груз опускается с ускорением. За счет истечения воды по телескопической трубе из цистерны на платформе в бак противовеса в процессе спуска масса противовеса становится больше массы груза. Таким образом, груз опускается с отрицательным ускорением. В момент касания грузом поверхности скорость должна быть равна нулю. Задачей построения математической модели является обеспечение возможности определения основных параметров системы, изменяя начальные условия, а также нахождение оптимальных значений этих параметров. Упрощенная схема ПСУ представлена на рис. 1.

Изначально стопор 2 не позволяет системе прийти в движение. В момент начала спуска груз 1 и противовес 5 приходят в движение, открывается спускной клапан 4, и вода под действием напора H начинает вытекать из цистерны 3 в бак противовеса. Далее груз 1 спускается с ускорением до тех пор, пока масса противовеса не превысит массу груза. Дальнейший спуск происходит с замедлением, и при приближении к водной или ледяной поверхности скорость стремится к нулю, что соответствует безударному спуску. В момент

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОНОМНОГО ПОНТОННОГО СПУСКОВОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭВАКУАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

В.Ю. Макаров, зам. директора,
М.Ю. Хохлов, инженер-конструктор, ООО «Винета»,
контакт. тел. (812) 493 5048

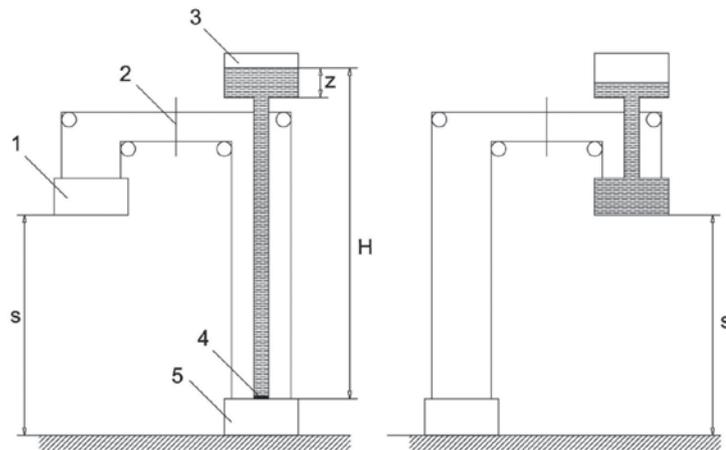


Рис. 1. Схема работы ПСУ

касания поверхности включается стопор 2, не позволяя подниматься грузу и опускаться противовесу. Для исключения раскачивания предполагается, что груз и противовес передвигаются по направляющим.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Используя основные законы механики и гидродинамики, можно составить математическую модель опытного образца ПСУ [2]. В рассматриваемом процессе движущей силой истечения

жидкости является давление столба жидкости. Скорость жидкости описывается формулой Торричелли:

$$v_0 = \sqrt{2gZ},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; Z – напор в системе.

Напор Z в процессе спуска будет зависеть от трех составляющих: начального напора H , зависящего от расположения цистерны с жидкостью, размеров цистерны и противовеса, высоты платформы; изменения высоты s расположения противовеса в процессе спуска;

уменьшения уровня жидкости z в процессе вытекания:

$$Z(t) = H - s(t) - z(t).$$

В процессе спуска противовес движется в направлении цистерны, поэтому скорость спуска w влияет на изменение расхода жидкости в бак противовеса.

Расход жидкости из бака

$$Q(t) = \pi r^2 v \rho = \pi r^2 \rho \left(\sqrt{2g(H - s(t) - z(t))} + w(t) \right),$$

где r – радиус входа в бак; ρ – плотность жидкости.

В представленной схеме действуют три силы:

$F_{\Gamma} = M_{\Gamma} g$ – сила притяжения груза, Н;

$F_{\Pi} = M_{\Pi} g = (M_{\Pi 0} + Q(t)t)g$ – сила притяжения противовеса, Н;

$F = M_{\Gamma} a = F_{\Gamma} - F_{\Pi}$ – результирующая сила, Н.

Здесь M_{Γ} – масса груза, кг; M_{Π} – масса противовеса с водой в определенный момент времени, кг; $M_{\Pi 0}$ – начальная масса противовеса, кг; Q – массовый расход воды в бак, кг/с; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; a – ускорение спуска груза, м/с^2 ; t – время спуска, с.

Тогда ускорение при спуске

$$a(t) = \frac{M_{\Gamma} - M_{\Pi 0} - Qt}{M_{\Gamma}} g = \left(1 - \frac{M_{\Pi 0}}{M_{\Gamma}} - \frac{Q}{M_{\Gamma}} t \right) g;$$

$$a(t) = \frac{dw}{dt} = \left(1 - \frac{M_{\Pi 0}}{M_{\Gamma}} - \frac{\pi r^2 \rho \left(\sqrt{2 \cdot g \cdot (H - s(t) - z(t))} + w(t) \right)}{M_{\Gamma}} \right) g.$$

Аналитическое решение данного дифференциального уравнения имеет множество сложностей и должно рассматриваться как отдельная математическая задача, поэтому решение найдем численным методом [3]. Для расчета параметров системы будем предполагать, что значение скорости, с которой жидкость поступает в бак противовеса, постоянна на некотором конечно малом промежутке времени Δt . Так как сечение трубы остается постоянным, то расход жидкости в бак противовеса постоянный на промежутке Δt . Чем меньше значение Δt , тем выше точность. Расчет проводился для $\Delta t = 1 \text{ мс}$, дальнейшее уменьшение значения временного промежутка не сказалось на точности расчета. Параметры системы определялись в цикле, написанном в MathCad и представленном ниже [4]. Так как время спуска не должно превышать 15 секунд, то исследование процесса проводится только в этом интервале.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ

Начальная масса груза и противовеса, радиус цистерны, начальный на-

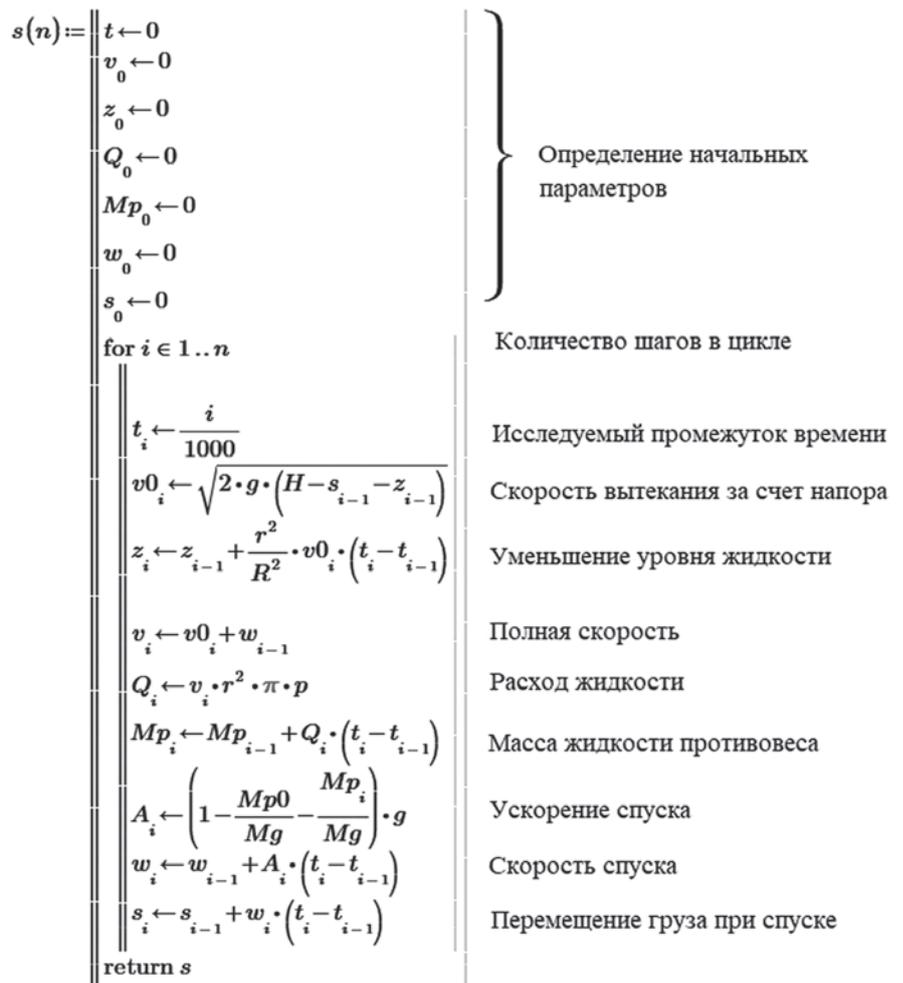


Рис. 2. Цикл расчета параметров спуска

пор жидкости и ее плотность, высота спуска определяются изначально и являются входными данными. Радиус телескопической трубы в месте контакта с баком противовеса – регулирующий параметр, определяющий неизвестные параметры системы. Входные данные приведены ниже:

Входные данные

Масса груза M_{Γ} , кг 9000
 Начальная масса противовеса $M_{\Pi 0}$, кг 7000
 Радиус цистерны R , м 1
 Плотность жидкости ρ , кг/м^3 . 1000
 Высота спуска s , м 19

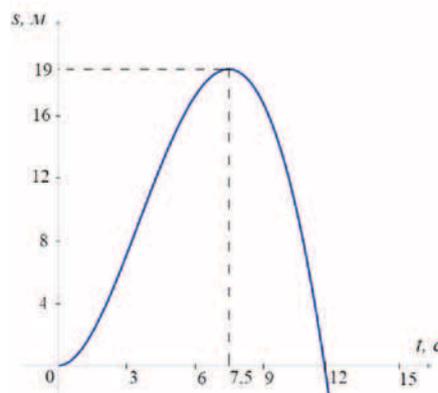


Рис. 3. Зависимость расстояния спуска от времени

Значение радиуса телескопической трубы r , при котором на расстоянии спуска 19 м скорость спуска w будет равна нулю составляет 87 мм. Рассчитанные параметры системы приведены ниже в виде графической зависимости от времени спуска (рис. 3–9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчета были определены параметры системы, при которых обеспечивается безударный спуск. Изменяя начальную массу противовеса, можно регулировать время спуска. Ниже приведены результаты модели-

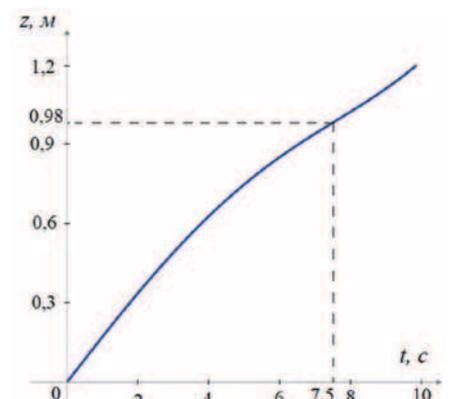


Рис. 4. Зависимость падения уровня в цистерне от времени

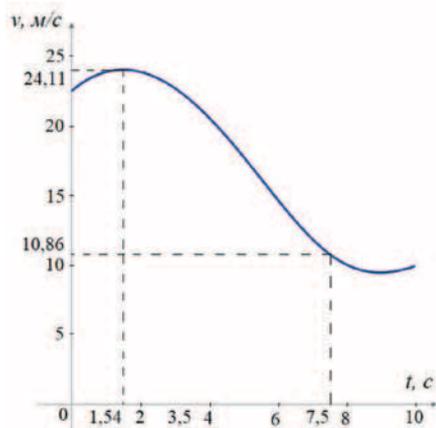


Рис. 5. Зависимость скорости жидкости от времени

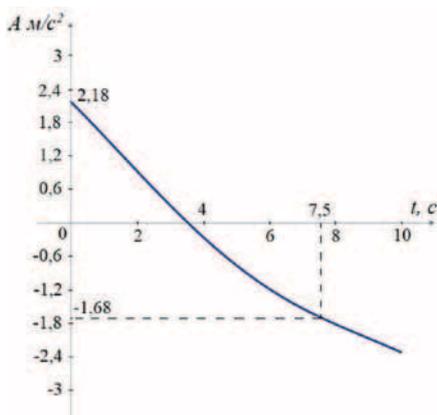


Рис. 8. Зависимость ускорения спуска от времени

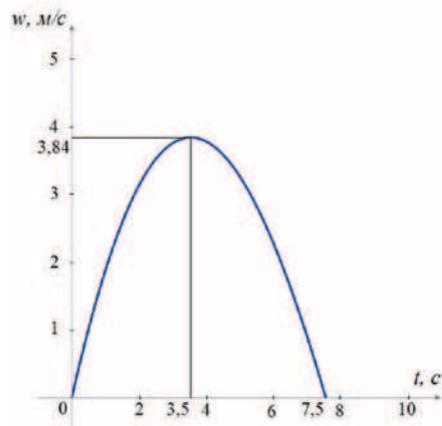


Рис. 9. Зависимость скорости спуска от времени

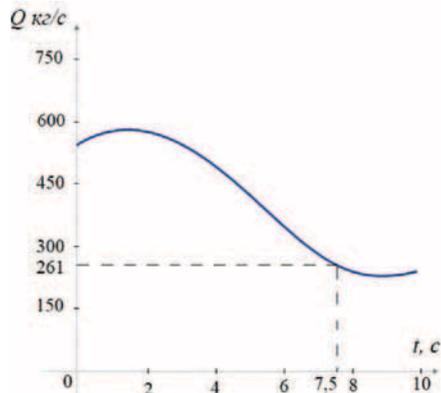


Рис. 6. Зависимость расхода жидкости от времени

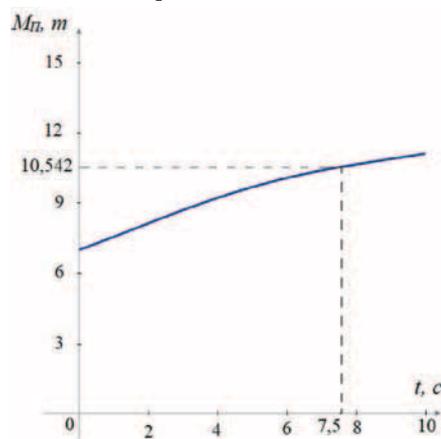


Рис. 7. Зависимость массы жидкости противовеса от времени

Результаты моделирования

Масса груза $M_Г$, кг	9000
Начальная масса противовеса $M_{П0}$, кг	7000/8000
Высота спуска	19/19
Радиус входа в бак противовеса r , мм	87/53
Время спуска t , с	7,5/10,7
Падение уровня в цистерне z , м	0,98/0,68
Скорость жидкости v , м/с	24,11/23,46
Масса противовеса в конце спуска $M_{П}$, кг	10542/9786
Максимальное ускорение A_{max} , м/с ²	2,18/1,09
Минимальное ускорение A_{min} , м/с ²	-1,68/-0,85
Максимальная скорость спуска w , м/с	3,84/2,69

рования для начальной массы противовеса 7000 и 8000 кг.

Представленная математическая модель позволяет определить основные параметры представленной схемы. Данную модель можно дополнить такими условиями, как максимальный и минимальный вес спускаемого груза, допустимые перегрузки, трение в механизмах, высоту спуска в качестве математических параметров. Результаты расчета позволяют заключить, что с помощью предложенной схемы возможно создание спускового устройства, способного работать в арктических условиях и обеспечивать безопасную эвакуацию персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов В.А., Абросимов Н.В., Богоявленский В.И. и др. Безопасность России. Основы безопасности при освоении континентальных шельфов – М.: МГФ Знание, 2013. – 640 с.
2. Неймарк Ю.И. Математические модели в естествознании и технике – Н. Новгород: Изд-во НГУ им. Н.И. Лобачевского, 2004. – 401 с.
3. Теоретическая механика. Вывод и анализ уравнений движения на ЭВМ: Учеб. пособие для вузов. – В 2 ч. – Ч. 1 / В.Г. Веретенников, И.И. Карпов, А. П. Марксов, С.В. Медведев, В.И. Пеньков, В.А. Синицын, Т.Н. Чеховская. – М.: Высшая школа, 1990. – 174 с.
4. Поршнев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием пакета MathCad – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 319 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим этапом подготовки надводного корабля (НК) к выполнению поставленной боевой задачи (ВПБЗ) является принятие решения. Для автоматизации данного процесса в БИУС реализована функциональная задача «Информационная поддержка работы командира корабля (КК) и других должностных лиц корабля (ДЛК) при принятии решения (ИППР) на ВПБЗ».

Основные цели разработки данной задачи:

- обеспечение принятия рационального, обоснованного тактическими расчетами (ТР) решения на ВПБЗ;
- значительное сокращение сроков работы КК и ДЛК при принятии решения;
- оформление графической части замысла и решения на электронной морской навигационной карте (ЭМНК), электронной топографической карты (ЭТК) и пояснительной записки к ним в электронном виде;
- обеспечение цветной печати на плоттере графической части замысла и решения на бумажных листах формата А0 и на принтере – пояснительной записки на бумажных листах формата А4.

Функциональная задача ИППР решается по этапам формализованной методики принятия решения, разработанной в соответствии с общепринятой методикой принятия решения и детализированной до уровня НК.

В статье рассматривается вариант построения программной системы информационной поддержки принятия решения (СИППР), реализующей данную функциональную задачу.

КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ ИППР

Система поддержки принятия решения на ВПБЗ состоит из следующих компонентов:

- объектная модель решения – объекты предметной области, составляющие в совокупности решение на ВПБЗ;
- история действий – объект, запоминающий действия оператора для их сохранения, отмены или повтора;
- функции сетевого обмена – набор функций, передающих по сети уведомления об изменениях в базе данных;
- медиатор (посредник) – объект, связывающий модули с объектной моделью решения на ВПБЗ;
- модули интерфейса оператора, отображающие экранную форму;
- модули отображения карт – модули отображения картографической информации;
- модули ТР – модули тактических расчетов (расчетных задач);
- система управления базой данных (СУБД) – SQL-совместимая реляционная СУБД (Линтер или PostgreSQL);
- база решений – база данных (БД) решений;
- база условно-постоянных данных, но корректируемых из отдельного интерфейса, данных, например, о противнике, своих силах, районах действий;
- функции взаимодействия с БД – функции интерфейса между СУБД и остальными частями системы.

Структурная схема системы поддержки принятия решения представлена на рис. 1.

ПЛАТФОРМА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ПОСТАВЛЕННЫХ БОЕВЫХ ЗАДАЧ

С.А. Кондратьев, инженер-программист 1-й категории,
АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. +7(981)836 4714

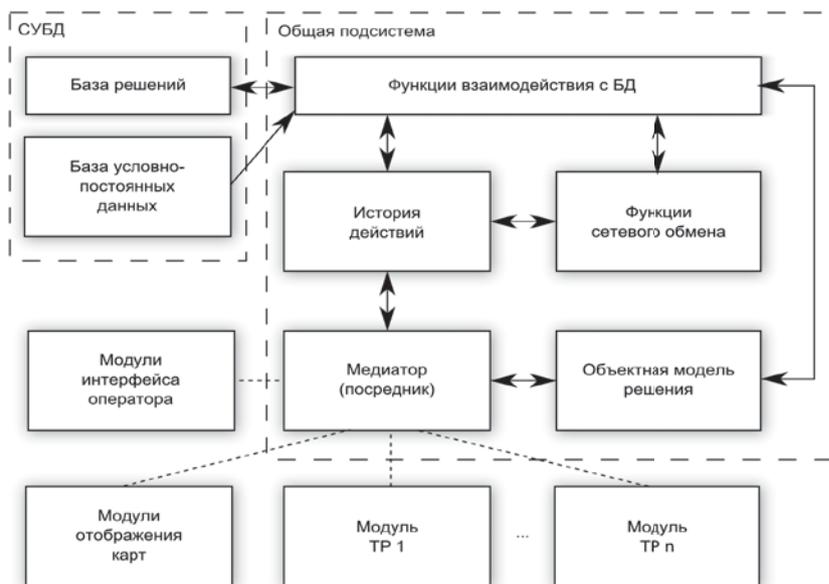


Рис. 1. Структурная схема системы поддержки принятия решения
— — постоянные части, - - - - связи между модулями и общей подсистемой

Рассмотрим реализацию объектной модели решения и способ работы медиатора (посредника) как наиболее важные части общей подсистемы.

ОБЪКТНАЯ МОДЕЛЬ РЕШЕНИЯ

Объектная модель решения – совокупность объектов, составляющих в совокупности решение на ВПБЗ, и связей (отношений) между ними. Она является виртуальной объектной базой данных, обеспечивающей обработку данных решения в объектно-ориентированном виде и их сохранение в реляционной форме.

Данная модель решения сопряжена с базой условно-постоянных данных, таких как данные о противнике, своих силах, районах действий. Использование реляционной СУБД для интегрированного хранения данных решения и условно-постоянных данных обеспечивает их взаимную непротиворечивость, логическую и ссылочную целостность данных. Кроме того, хранение данных в СУБД упрощает сопровождение системы и обеспечивает гибкость ее модернизации.

Объектную модель решения можно представить графом, вершинами которого являются объекты, черные дуги означают отношения «потомок-родитель», а синие дуги – отношения через объекты-ссылки. Граф решения является связным и ориентированным. Вариант графа решения приведен на рис. 2.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕДИАТОРА (ПОСРЕДНИКА)

Рассмотрим способ реализации взаимодействия модулей тактических расчетов с общей подсистемой. Остальные модули сопрягаются аналогично.

Первым вариантом реализации ТР был ежесекундный опрос признака наличия изменений в объектах решения. Если

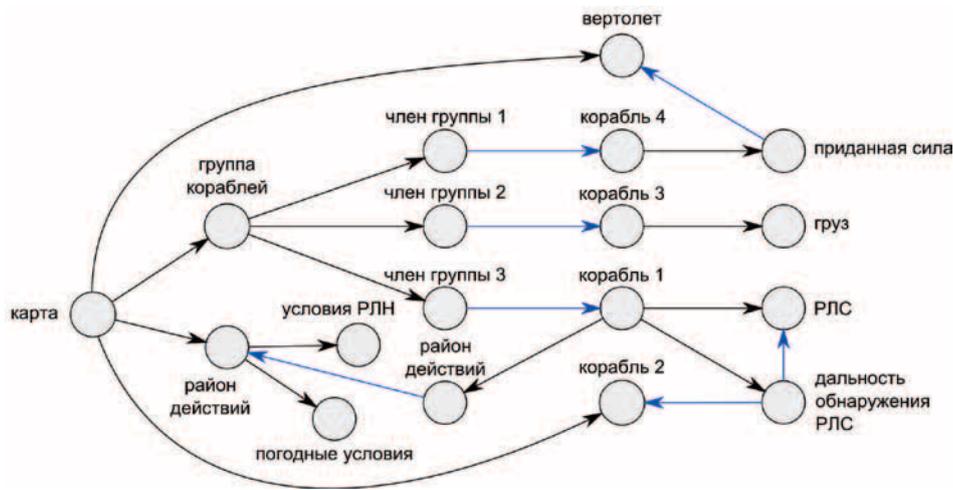


Рис. 2. Вариант графа решения

данный признак был установлен, массив текущих входных данных сравнивался с входными данными предыдущего расчета. Если данные различались, то выполнялся перерасчет. Преимуществом такого варианта была простота реализации.

К выявленным недостаткам относятся:

- замедление работы программы при увеличении количества задач в связи с ростом объема собираемой информации;
- необходимость использования статических структур с заранее заданными размерами элементов;
- задержка перерасчетов длительностью до 1 секунды;
- невозможность автоматически определить зависимости между выполненными ТР, когда результаты одного расчета являются входными данными для другого.

По мере развития СИПР выяснилось, что данные проблемы существенны требуют своего решения.

В связи с тем, что задачи ИПР по ВПБЗ характеризуются относительно редким изменением входных данных, наиболее целесообразно в данном случае применить модель «издатель-подписчик». Эта модель реализуется специальным объектом – посредником (шаблон «медиатор»), который осуществляет взаимодействие множества объектов, избавляя их от необходимости явным образом ссылаться друг на друга.

Класс-медиатор выполняет следующие функции:

- обеспечивает доступ к элементам решения на ВПБЗ из подключаемых модулей;
- отслеживает историю изменений;
- уведомляет подписчиков об изменениях объектов.

Основная функция медиатора – реализация подписки на изменения. Для этого медиатор подключается ко всем объектам решения на ВПБЗ и отслеживает их изменения.

При любой модификации решения на ВПБЗ выполняется поиск и вызов модулей, которые подписались на уведомления об этом изменении. Модули выполняют обновление данных, за которые они отвечают, а именно: модули карты формируют соответствующие области ЭМНК или ЭТК, модули интерфейса обновляют поля форм, а модули ТР запускают перерасчет.

Алгоритм поиска уведомляемых объектов приведен на рис. 3.

Таким образом, ТР выполняются в режиме on-line, и задержка от изменения входных данных до обновления результата расчета определяется только длительностью выполнения расчета.

ВАРИАНТ ОПИСАНИЯ ТАКТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Рассмотрим вариант описания ТР на примере расчета дальности обнаружения надводных целей (нц) в использовании радиолокационной станции (РЛС) надводного корабля 1 (НК 1).

Задача формулируется следующим образом: рассчитать дальность обнаружения «НЦ 1» с использованием РЛС «НК

1» в «Районе действий». Вариант графа решения для данной задачи приведен на рис. 1.

Результат расчета задачи зависит от следующих исходных данных:

- типа и режима работы РЛС;
- погодных условий в районе действий;
- радиолокационной наблюдаемости (РЛН) в районе действий;
- помеховой обстановки в районе действий;
- эффективной поверхности рассеивания (ЭПР) искомого корабля минимальной и максимальной;
- высоты искомого корабля.

Объекты, связанные с входными данными задачи, описаны в таблице.

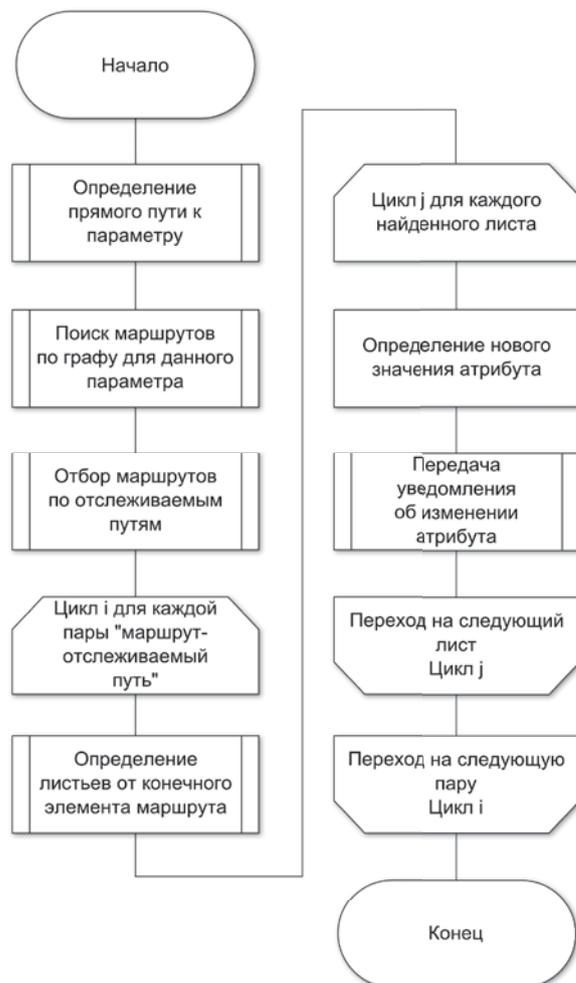


Рис. 3. Алгоритм поиска подписчиков

Таблица
Описание входных данных задачи «Поиск корабля РЛС»

Родительский объект	Объект	Ссылки
НК 1	Оборудование	
	Дальность обнаружения РЛС	РЛС НК1 (НЦ 2)
	Район действий	Район действий
НК 2	Тактико-технические элементы (ТТЭ)	
Район действий	Погодные условия	
	Условия РЛН	

Исходя из входных данных, построим следующие пути:

НК 1 → Дальность обнаружения РЛС → РЛС → Тип РЛС
 НК 1 → Дальность обнаружения РЛС → РЛС → Режим РЛС
 НК 1 → Район действий → Район действий → Погодные условия → Осадки
 НК 1 → Район действий → Район действий → Условия РЛН → РЛН
 НК 1 → Район действий → Район действий → Условия РЛН → Помеховая обстановка
 НК 1 → Дальность обнаружения РЛС → нц 1 (нк 2) → ТТЭ → Минимальная ЭПР
 НК 1 → Дальность обнаружения РЛС → нц 1 (нк 2) → ТТЭ → Максимальная ЭПР
 НК 1 → Дальность обнаружения РЛС → нц 1 (нк 2) → ТТЭ → Высота корабля

Приведенные выше пути передаются при инициализации расчетного модуля медиатору в качестве входных данных

ВВЕДЕНИЕ

Цепочка поставок грузов представляет собой динамичную систему, на стабильность и устойчивость которой влияют множество факторов [1, 2]. В связи с постоянно развивающимся рынком морских перевозок и практически непредсказуемыми условиями современной рыночной ситуации проблемы отрасли становятся острее, а заинтересованность в их решении как исследователей, так и представителей бизнеса растет [3].

Существуют внешние и внутренние факторы, действующие на процесс перевозки грузов, влияние которых невозможно предотвратить с помощью инновационных технологий, в их числе – деструктивные экономические решения различных стран, ввод санкций и различные кризисные явления.

Ярким примером проблемы, которую можно устранить благодаря развитию технологий, стал вирус «Ретуа». Поразив серверы крупнейшего оператора морских перевозок – компании Maersk – в июне 2017 г. он полностью остановил работу компьютерной системы подразделения АРМ Terminals и создал хаос в цепях поставок по всему миру. Частичное восстановление системы заняло месяц, но многие данные были утеряны.

Целью исследования является выявление факторов, негативно влияющих на процесс морской перевозки, анализ

задачи. При изменении любого элемента входных данных медиатор передает его новое значение в модуль ТР, который запускает процесс расчета и сохраняет его результаты в решении на ВПБЗ. Аналогично описываются выходные данные. Это позволяет путем поиска общих участков распознавать зависимости между задачами и определять на их основе оптимальный порядок выполнения ТР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Специалистами АО «НПФ «Меридиан» разработана программная платформа для построения систем информационной поддержки принятия решений на ВПБЗ. Применение в представлении решения на ВПБЗ аппарата графов позволяет ускорить процесс разработки, упростить архитектуру и повысить надежность конечного продукта. Функциональные задачи ИППР в составе БИУС, реализованные на основе данной платформы, успешно прошли государственные испытания на сторожевых кораблях пр. 11356 ВМФ РФ и подтвердили свою эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамма Э, Хелм Р., Джонсон Р., Влссидес Д. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Пер. с англ А. Слинкин, науч. ред. Н.Шалаев]. – СПб.: Питер, 2014. – 366 с.
2. Соловьев И.В., Геков В.В., Доценко С.М. и др. Современные проблемы управления силами ВМФ. Теория и практика. Состояние и перспективы / Под ред. В.И.Куроедова. – СПб.: Политехника, 2015. – 432 с. ■

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, НЕГАТИВНО ВЛИЯЮЩИХ НА МОРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ, И АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, СПОСОБНЫХ ИХ УСТРАНИТЬ

А.В. Андреева, магистрант,
 А.Д. Сулова, магистрант, ФГАУ ВО «НИУ ИТМО»,
 aleksandra.andreeva4@bk.ru, suslovas@inbox.ru
 контакт. тел. +7(911) 211 6612

их влияния и поиск возможностей устранения с помощью инновационных технологий.

В соответствии с целью были сформулированы следующие задачи:

1. Выявить и проанализировать проблемы процесса морских перевозок.
2. Провести исследование инновационных технологий и разработок, способных устранить существующие проблемы.
3. Определить универсальность технологий для выявленных проблем и их пересечения друг с другом.

В соответствии с этим были определены методы исследования, обеспечивающие надежность и обоснованность полученных результатов:

- анализ литературных источников;
- знаковое моделирование упрощенной цепи поставок с целью визуа-

лизации проблем на ее отдельных участках;

- логический и сравнительный анализ инновационных технологий, необходимых для дальнейшего прогнозирования результатов внедрения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель поставок в морских перевозках представляет собой сложную многоуровневую систему, которая объединяет организации, ресурсы, процессы, материальные и информационные потоки. Их взаимодействие направлено на планирование, поиск, производство, распределение и доставку продуктов или услуг от производителя к потребителю [4].

Транспортный процесс также представляет систему, элементами которой

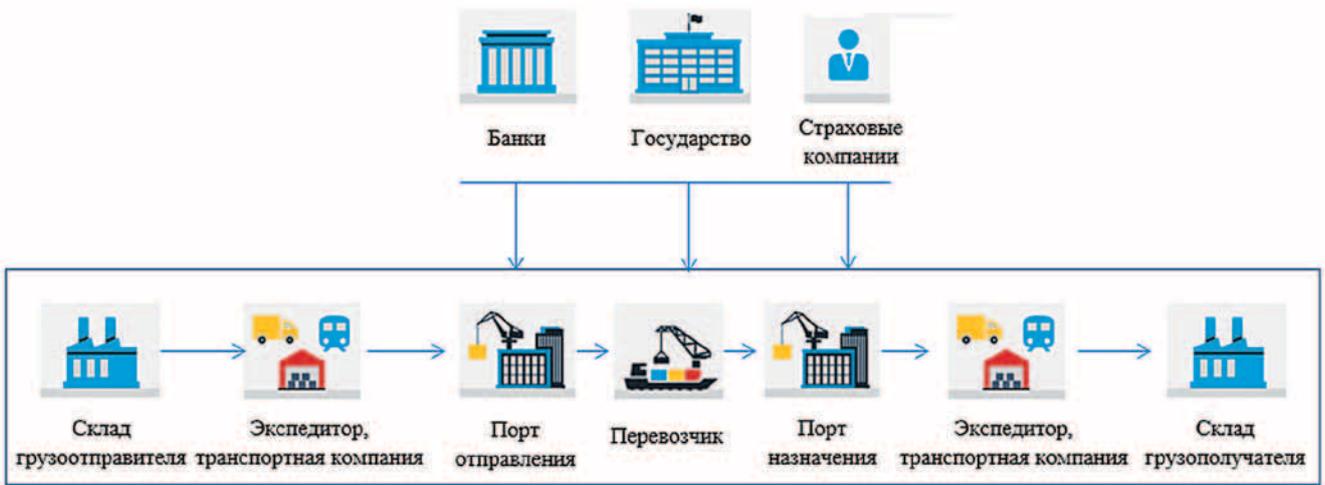


Рис. 1. Упрощенная схема процесса перемещения тарно-штучных грузов при экспортной перевозке морем

выступают участники перевозки, договорные отношения между ними, а также сопутствующие материальные, финансовые, ресурсные и информационные потоки [5]. Для выявления проблем в процессе транспортировки груза морем была разработана схема основного процесса и трех вспомогательных, которые отражают договорные и финансовые отношения между участниками морских перевозок, документооборот, сопровождающий процесс транспортировки (рис. 1).

В этой схеме задействованы грузоотправитель, грузополучатель и посредники между ними, которых в условиях реального рынка может быть значительно больше. В схеме также присутствуют экспедитор и транспортная компания, ответственные за доставку груза до/от порта и организацию перевозки в целом; порт отправления и назначения; морской перевозчик; банки, страховые компании и государство (таможенные, налоговые службы, фитосанитарный и ветеринарный контроль).

Процесс морской перевозки был разделен на три составляющие, отражающие характер взаимодействия участников:

- договорные отношения и взаимодействие между участниками;

- информационный поток (документооборот);
- финансовый поток.

При описании этих составляющих цифры отражают связи между участниками перевозки. Договорные отношения показаны на рис. 2.

Отношения между грузоотправителем и грузополучателем регулируются договором международной купли-продажи 1. Грузоотправитель нанимает экспедитора 2, обращается в транспортную компанию по перевозке партии груза 3. Доставка оператору терминала осуществляется экспедитором в соответствии с условиями договора между ними 6, 12. Транспортная компания взаимодействует с перевозчиком в порту отправления через линейного агента 4 – компанию, с которой перевозчик заключает агентское соглашение 8 и которая представляет его интересы, занимается поиском грузовладельцев для формирования крупных партий [7, 8]. Также агент линии обслуживает специализированное транспортное оборудование 5 и нанимает компании для осуществления погрузочно-разгрузочных работ и снабжения судов 7.

На момент прихода судна в порт назначения агент, получивший информацию от коллег из порта отправления 9,

извещает получателя, указанного в коносаменте, о прибытии груза 10. Экспедитор, назначенный грузополучателем 11, осуществляет забор и доставку товара.

Количество участников перевозки обусловлено многообразием услуг и широким спектром функций, которые необходимо выполнять для успешной доставки груза. В случае увеличения числа взаимодействующих компаний цепочка поставок теряет прозрачность. Таким образом, в сфере договорных отношений можно выделить проблемы:

- непрозрачность процесса перевозки;
- отсутствие стандартизации транспортных процессов;
- частичная цифровизация информационных потоков;
- отсутствие доверия между участниками перевозки;
- низкий уровень автоматизации бизнес-процессов.

Помимо договорных отношений в данном исследовании рассматривались проблемы, связанные с документооборотом, сопровождающим процесс перевозки (рис. 3).

Грузоотправитель подготавливает документы и присылает необходимую информацию транспортной 1 и экспедиторской компаниям 2. На основе полу-



Рис. 2. Договорные отношения и взаимодействие между участниками морской перевозки

- - договорные отношения;
- - - - - взаимодействие

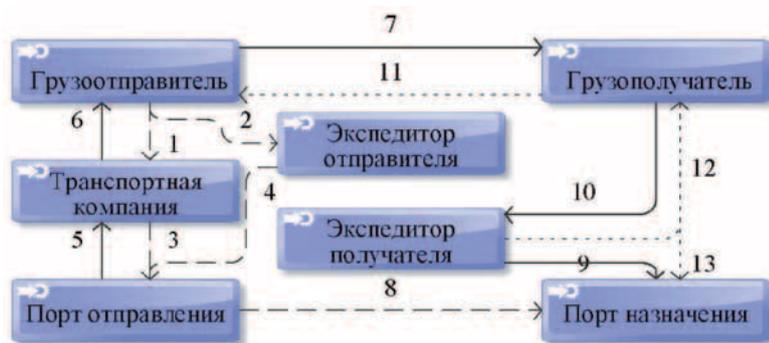


Рис. 3. Документооборот между участниками морской перевозки

—> — движение коносамента;
 - -> - движение сопроводительных документов

ченных данных транспортная компания через внутреннюю систему перевозчика оформляет коносамент 3, а экспедитор — поручение на отгрузку экспортных грузов 4. Основным документом, удостоверяющим право собственности на груз, является коносамент, который выдает перевозчик грузовладельцу через линейных агентов 5, 6. Все необходимые сопроводительные документы хранятся во внутренней системе перевозчика 8. Отправитель передает коносамент получателю после выполнения всех условий договора, предоставления подтверждения об оплате 7, 11. Груз выдается в порту назначения получателю при предъявлении оригиналов коносамента и доставляется экспедитором на склад 9, 10. Линии 11, 12, 13 на рис. 3 отражают движение документов, не влияющих напрямую на процесс перевозки, но необходимых для обеспечения информационного взаимодействия между участниками цепи.

За последние десятилетия развитие экономики и отрасли морских перевозок позволило привести большое количество учетных сопроводительных документов, актов, счетов-фактур к электронному виду. Некоторые документы, например товарно-транспортная накладная, до сих пор издается в бумажном виде, в нескольких экземплярах, подписывается вручную и подтверждает факт отгрузки товара с предприятия и перехода ответственности за груз. В Республике Беларусь уже введен в эксплуатацию сервис EDI, позволяющий осуществлять обмен электронными накладными и заверять электронными подписями.

Еще одним документом, который необходимо предоставлять в оригинале является поручение на отгрузку экспортных грузов, которое после выпуска служит подтверждением готовности товара к отгрузке. В связи с большим количеством участников и доставкой оригиналов в четырех экземплярах экспедитор может не успеть оформить документы, вследствие чего возникают дополнительные расходы из-за переноса погрузки и простоя груза.

В сфере документооборота можно выделить следующие проблемы:

- частичная цифровизация транспортных документов;
- повышенный риск утери оригиналов документов;
- низкая скорость документооборота, влияющая на физическое перемещение груза;
- повышенный риск недостоверных данных в документах, вызванный человеческим фактором.

Рассмотрим теперь финансовый поток (рис. 4).

В соответствии с условиями договора международной купли-продажи покупатель выплачивает продавцу согласованную сумму 1. Грузоотправитель нанимает экспедитора за фиксированное вознаграждение 3, обращается в транспортную компанию для организации перевозки и согласования ставки по условиям ИНКОТЕРМС 2. Транспортная компания формирует крупные партии груза для морского перевозчика через его агента в порту отправления 4, за счет этого получает более низкую ставку. Агенты линии в порту отправления и назначения оплачивают услуги компаний, дополнительно привлеченных для обработки судна 5, 6. После прибытия груза в порт назначения грузоотправитель оплачивает локальные сборы агенту 7, нанимает экспедитора за отдельное вознаграждение 8.

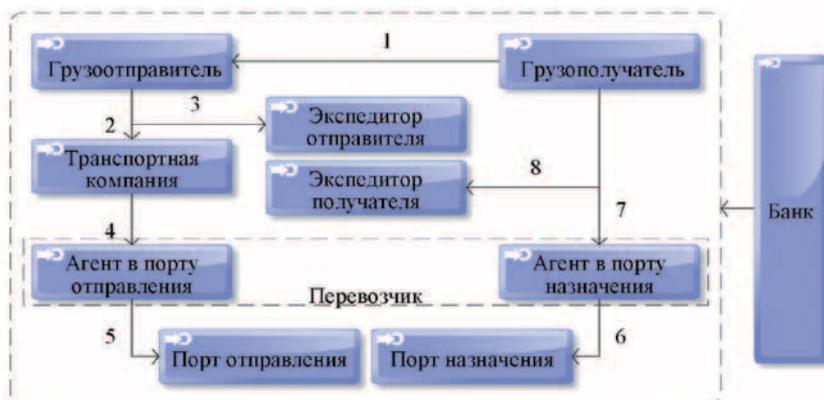


Рис. 4. Финансовый поток между участниками морской перевозки

Объем денежных операций и переводов, наличие сложной сети финансовых взаимоотношений являются причинами задержки денежных средств, вследствие чего в порту назначения не выдают груз и возникают дополнительные расходы на хранение. Данная проблема связана с тем, что финансовые операции осуществляются через банк, который запрашивает пакет документов, и их проверка может занимать до недели. Также зачисление платежа на счет компании, оказывающей услугу, в среднем происходит от одного до четырех дней, что не способствует сокращению общего времени перевозки.

Таким образом, при финансовом взаимодействии участников цепи поставок можно выделить следующие проблемы:

- прозрачность и конфиденциальность финансовых потоков;
- задержки финансовых операций;
- человеческий фактор в проведении финансовых операций, как внутри компании, так и в банковской системе;
- дополнительные издержки, связанные с обслуживанием.

В таблице перечислены основные проблемы морских перевозок и инновационные технологии, обеспечивающие их решение.

Решение перечисленных проблем возможно благодаря развитию инновационных технологий. В связи с растущим спросом на интеллектуальные транспортные системы, направленные на эффективное использование имеющихся ресурсов и инфраструктуры, особое внимание уделяется технологиям, перечисленным в таблице (см. далее).

Технология блокчейн представляет собой систему реестра всех транзакций, с помощью которой можно вести мониторинг операций со всеми активами, решить проблемы доверия между участниками перевозки, достоверности данных и финансовых операций [9], зависимости физического движения груза от документооборота [8, 10, 11]. К ограничениям технологии относятся: необходимость в больших мощностях и ско-

**Проблемы морских перевозок и инновационные технологии,
обеспечивающие их решение**

Проблема	Договорные отношения							
	Блокчейн	Большие данные	Искусственный интеллект	Интернет вещей	5g сеть	Информационная безопасность	Роботизированная автоматизация процессов	Облачные технологии
Непрозрачность процесса перевозки	Да	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Да
Отсутствие стандартизации	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да
Частичная цифровизация информационных потоков	Да	Нет	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Отсутствие доверия между участниками	Да	Нет	Да	Да	Нет	Да	Да	Нет
Низкий уровень автоматизации	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Да	Нет
Документооборот: частичная цифровизация транспортных документов	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Да	Нет
Низкая скорость документооборота	Да	Нет	Да	Да	Да	Нет	Да	Да
Риск утери и порчи документов	Да	Нет	Нет	Да	Нет	Да	Да	Да
Недостовверные данные, вызванные человеческим фактором	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	Да	Да
Финансовый поток, прозрачность и конфиденциальность финансовых потоков	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет
Задержки финансовых операций	Да	Нет	Да	Да	Да	Да	Да	Нет
Человеческий фактор в проведении финансовых операций	Да	Нет	Да	Да	Нет	Да	Да	Да
Издержки, связанные с банковским обслуживанием	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет

ростях передачи информации, отсутствие международной законодательной базы, а также недостаток специалистов и высокие затраты на внедрение этой технологии [12].

Большие данные – это разнородная масса цифровых данных, имеющих у компаний и частных лиц. Эти данные требуют специальных и сложных компьютерных средств хранения и анализа, они содержат информацию о местонахождении пользователей устройств, их поездках, интересах, привычках потребления и об использовании инфраструктуры и оборудования [6].

В больших данных систематизирована информация для последующего анализа и разработки стратегий компаний, собраны технические показатели транспорта и перегрузочной техники для дальнейшей оптимизации процесса перевозок и обеспечения безопасности. Существующая технология не решает напрямую проблемы, указанные в таблице, но способствует этому, она необходима для развития блокчейн-технологии, искусственного интеллекта и интернета вещей. Работа с большими данными нужна в крупных логистических центрах, портах, морских линиях и судоводных компаниях, поскольку может помочь сократить расходы и повысить доступность услуг для клиентов [13–15].

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой моделирование человеческого интеллекта в машинах, которые запрограммированы думать, как люди, имитировать их действия [16, 17]. Главной характеристикой искусственного интеллекта является его способность рационализировать и предпринимать действия, которые имеют наилучшие шансы для достижения конкретной цели. Данная технология позволяет решать проблемы, связанные с неразвитой аналитикой, скоростью принятия решений, автоматизацией и цифровизацией процессов и взаимодействий. Благодаря тому, что технология способна самообучаться и совершенствоваться, вероятность ошибок в ее работе будет снижаться. К недостаткам искусственного интеллекта можно отнести то, что для его работы требуются большие вычислительные мощности и скорости, а значит и увеличение добавочной стоимости услуг.

Интернет вещей – система взаимосвязанных вычислительных устройств, машин, объектов или людей, которые снабжены уникальными идентификаторами и способностью передавать данные по сети, не требуя взаимодействия с компьютером. Существует четыре основные характеристики, определяющие эту технологию [18]: взаимосвязанность

всех устройств в глобальной коммуникационной инфраструктуре; неоднородность вычислительных устройств, динамичность режима их работы; масштабность, обусловленная тем, что количество умных устройств с каждым годом будет расти, по прогнозам IHS Markit, на 12%.

Как следует из табл. 1, данная технология позволяет решать проблемы, связанные с мониторингом состояния объектов, их управлением и передачей данных. Датчики на контейнере передают информацию о состоянии груза и его местоположении, так решаются проблемы прозрачности цепи поставок и доверия, способствуя их оцифровке. В финансовой сфере данные о грузе могут быть использованы для автоматизации процесса проведения платежей. Также устраняется проблема недоверности данных, поскольку состояние датчика можно отследить. Недостатками являются необходимость в больших мощностях и скоростях для передачи и обработки данных, а также дороговизна оснащения датчиками и чипами умных устройств.

Роботизированная автоматизация процессов представляет собой технологию автоматизации бизнес-процессов на базе искусственного интеллекта [29], особенность которого заключается

в том, что программный робот (приложение) взаимодействует с другим приложением через существующий пользовательский интерфейс [20]. Однако при этом остаются две проблемы: недостаточные прозрачность и конфиденциальность финансовых потоков, а также издержки, связанные с банковским обслуживанием, так как их нельзя решить посредством запрограммированного робота (приложения). К недостаткам технологии можно отнести и то, что роботизированное приложение не является самообучающимся и не способно анализировать возникающие сбои и адаптироваться под новые задачи самостоятельно.

Облачные технологии представляют собой вычислительные компоненты, состоящие из аппаратных средств, программного обеспечения и инфраструктуры, которые позволяют предоставлять услуги облачных вычислений через интернет. В сочетании с подходящим аппаратным обеспечением они могут использоваться для отслеживания продуктов. Это повышает эффективность цепочки поставок и означает, что можно собрать больше данных о проблемах, задержках. Использование облачных технологий позволяет решать проблемы, связанные с рисками порчи документов, зависимости движения груза от документооборота и стандартизацией.

Информационная безопасность при совершенствовании программного обеспечения в сфере защиты и надежности информации способствует решению проблем доверия, прозрачности цепей поставок, достоверности данных в электронных системах и документах.

Технология 5G решает три проблемы, связанные с мощностью обработки и скоростью передачи данных. Это, скорее, вспомогательная технология для других, требующих больших мощностей работ. В настоящее время эта технология применяется в Германии (порту Гамбурга), в Южной Корее и Китае и не распространена повсеместно [18, 21].

Существует ряд инновационных технологий, способных в будущем значительно облегчить взаимодействие участников отрасли. В их числе: роботизированная автоматизация, интернет вещей и блокчейн, поскольку они способны оптимизировать процесс перевозки и решить большинство существующих проблем. Также важно учитывать, что для оперирования любыми данными необходимо обеспечить их конфиденциальность и достоверность. Перед внедрением любой из этих технологий важно создать базу стандартизированных достоверных данных, обеспечить их ана-

лиз, хранение, безопасность и контроль, наладить механизмы оцифровки поступающей информации, одновременно взаимодействуя с другими участниками цепи поставок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многообразие существующих сложностей в цепи поставок значительно тормозят развитие международной транспортно-логистической отрасли. В ходе исследования был рассмотрен процесс морской перевозки, разделенный на несколько составляющих, и выявлены основные проблемы в каждом секторе. Несомненно, перед использованием технологических решений, представленных выше, требуется выполнить большой объем работы по их исследованию и доработке. Участникам рынка необходимо стимулировать создание нормативно-правовой базы, что позволит привлечь к инвестиционной деятельности частные компании, которые заинтересованы в увеличении грузопотоков и прибыли в долгосрочной перспективе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ткач В. В.* Общие условия устойчивости цепей поставок // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та: Сер. «Экономика и менеджмент». – 2011. – Вып. 17. – № 8 (225). – С. 173–177.
2. *Brandon-Jones E., Squire B., Autry C., Petersen K.* A Contingent Resource-based Perspective of Supply Chain Resilience and Robustness // J. of Supply Chain Management. – 2014. – № 50 (3). – P. 55–73.
3. *Tukamuhabwa B. R., Stevenson M., Busby, J., Zorzini M.* Supply chain resilience: Definition, review and theoretical foundations for further study // International J. of Production Research. – 2015. – № 53 (18). – P. 592–5623
4. *Будрина Е. В.* Определение устойчивости рынка транспортных услуг: модели и примеры // Вестник ИНЖЭКОНА: Сер. «Экономика». – 2014. – Вып. 1 (68). – С. 140–144.
5. *Иванова М. Б.* Логистический подход к организации системы «Транспортный процесс» // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. – 2015. – № 1 (29). – С. 152–161.
6. *Riahi Y., Riahi S.* Big Data and Big Data Analytics: Concepts, Types and Technologies // International J. of Research and Engineering. – 2018. – P. 524–528.
7. *Шутенко В. В.* Коммерческая работа на морском транспорте: учебник. – Ч. 1. – СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2011. – 216 с.
8. *Delmolino K., Arnett M., Kosba A., Miller A., Shi E.* Step by step towards creating a safe smart contract: Lessons and insights from a cryptocurrency lab. – In: International Conference on Financial Cryptography and Data Security, 2016, p. 79–94.
9. *Куприяновский В. П., Синягов С. А. и др.*

Цифровые цепи поставок и технологии на базе блокчейн в совместной экономике // International J. of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – № 8.

10. *Garay J., Kiyayas A., Leonardos N.* The Bitcoin Backbone Protocol: Analysis and Applications. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2015, p. 281–310.
11. *Nakamoto S.* Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fermatslibrary.com/s/bitcoin>, свободный.
12. *Tapscott D., Tapscott A.* Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World // Portfolio/Penguin. – 2016. – P. 368.
13. *Fosso Wamba S., Gunasekaran A., Papadopoulos T., Ngai E.* Big data analytics in logistics and supply chain management // The International J. of Logistics Management. – 2018. – № 29 (2). – P. 478–484.
14. *Wang G., Gunasekaran A., Ngai E. W., Papadopoulos T.* Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications // International J. of Production Economics. – 2016. – P. 98–110.
15. *Gunasekaran A., Papadopoulos T., Dubey R., Wamba S. F., Childe S. J., Hazen B., Akter S.* Big data and predictive analytics for supply chain and organizational performance // Journal of Business Research. – 2017. – P. 308–317.
16. WIPO Technology Trends 2019. Artificial Intelligence. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4386>, свободный.
17. European Group on Ethics in Science and New Technologies. Statement on Artificial Intelligence, Robotics and «Autonomous» Systems – [Электронный ресурс] Режим доступа: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/strategy/support-policy-making/scientific-support-eu-policies/european-group-ethics-science-and-new-technologies-eg_e_n, свободный.
18. *Evans D.* The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cisco.com/c/dam/global/ru_ua/assets/pdf/iot-ibsg-0411final.pdf, свободный.
19. *Kumar S.* Robotic Process Automation Across Industries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.digitalistmag.com/digitaleconomy/2018/03/08/robotic-process-automation-acrossindustries-05955888>, свободный.
20. Простым языком о Robotic Process Automation, RPA (ч. 1) – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dmsolutions.co/ru/blog-ru/about-rpa-in-simple-words-part1/>, свободный.
21. 5 Challenges Logistics Managers Face Every Day – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.plslogistics.com/blog/5-challenges-that-logistics-managers-face-every-day/>, свободный. ■

За последние годы заметную роль в техническом развитии судостроения и судоходства играют решения Комитета по защите морской среды (Marine Environment Protection Committee, или МЕРС) Международной морской организации (ИМО), который предпринимает большие усилия, формулируя и внедряя в международное судоходство меры, направленные на снижение вредных воздействий на эту среду, исходящих, в частности, от транспортных судов.

Основными проблемами, которыми занимается ИМО, являются очистка балластных вод в целях предотвращения перевозки живых организмов из одних регионов в другие, снижение выбросов окисей азота и серы в окружающую среду, а также выбросов парникового газа (CO₂) при движении судов и новая задача – борьба с пластиковым мусором в море.

В 2018 г. после двухлетнего обсуждения был поставлен на повестку дня вопрос, который существенно затрагивает интересы России в Арктике. Ряд стран предлагает ввести запрет на использование и перевозку на судах в пределах Арктики тяжелого дизельного топлива (ТДТ).

В настоящей статье обсуждаются некоторые аргументы за и против такого решения в свете интересов Российской Федерации.

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ МЕРС ПО ЗАЩИТЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ И МЕХАНИЗМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Для инициации и обоснования необходимости предлагаемых мер, как правило, на заседаниях МЕРС распространяются результаты специальных исследований, выполняемых для «зеленых» организаций, аккредитованных при этой организации, различными, как правило, небольшими частными исследовательскими предприятиями. В то же время масштаб необходимых мероприятий для исполнения решений ИМО таков, что для их реализации судостроители и моряки зачастую вынуждены привлекать все имеющиеся научные и производственные ресурсы наиболее развитых стран.

Например, введение ИМО регулирования выбросов CO₂ через нормирование индекса энергетической эффективности (физический смысл этого индекса – количество выбросов CO₂ на перевозку единицы веса груза) заставило моряков и судостроителей провести ревизию режимов работы судов со снижением скорости перевозки, особенно для новых контейнеровозов, эксплуатационные скорости которых были снижены с 24–25 до 18 уз; самым тщательным обра-

ПРОРАБОТКИ МЕЖДУНАРОДНОЙ МОРСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАПРЕТА ТЯЖЕЛОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В АРКТИКЕ

А.В.Пустошный, д-р техн. наук, проф, член-корр. РАН, гл. науч. сотрудник – консультант ФГУП «Крыловский государственный научный центр», контакт. тел. (812) 415 4941

зом обрабатывать обводы новых судов; внедрять всевозможные энергосберегающие устройства, повышающие пропульсивный КПД судов; пересматривать подходы к проектированию дизельных двигателей; на проектном уровне рассматривать и уже начинать внедрять альтернативные низкоуглеродные виды топлива (например, газ). Понятно, что в масштабе всего мира это – огромные затраты и большие изменения в технической части судов, при том что доля выбросов CO₂ от судоходства составляет не более 3% (по данным ИМО), и все мероприятия приведут в итоге к снижению выбросов к 2030 г. на 30%. Соизмеримых усилий и затрат требует реализация и других решений МЕРС.

Ряд решений, принимаемых ИМО, воспринимается неоднозначно даже странами, участвующими в комитете. Например, для снижения выбросов серы при работе двигателей принято решение об использовании с 2020 г. бункерного топлива с содержанием серы менее 0,5% вместо существовавшей раньше нормы 3,5%. При обсуждении вопроса представители целого ряда стран и организаций, связанных с поставками бункерного топлива, приводили обоснованные расчетами данные о грядущей нехватке топлива в мире или, по крайней мере, в отдельных регионах, так как невозможно в короткий срок перестроить нефтеперерабатывающую промышленность под столь жесткие требования. Однако эти доводы не были приняты во внимание, и за базу для принятия решения были использованы оптимистичные отчеты «зеленых» организаций, которые предоставили свои результаты исследований, демонстрирующие в перспективе вполне удовлетворительное обеспечение мирового судостроения топливом с предлагаемым содержанием серы.

В последние годы МЕРС пристальное внимание уделяет вопросам защиты морской среды в Арктике, что напрямую касается интересов России. В частности, совершенствуется система правил регулирования выбросов CO₂ для судов «балтийских» ледовых классов до 1ASuper включительно, где по предложению Финляндии разработана уточненная система поправочных коэффициентов для расчета коэффициента

энергетической эффективности, позволяющая более точно учитывать ухудшающие энергетическую эффективность конструктивные отличия судов ледовых классов от транспортных судов без ледовых усилений.

Российская делегация активно отстаивает интересы страны. Представив ноту и информационный материал с результатами проведенных исследований, российская делегация после двухлетних дискуссий сумела доказать, что регулирование эмиссии парниковых газов через нормирование коэффициента энергетической эффективности нецелесообразно для судов полярных классов согласно классификации Polar Code (что, с некоторыми нюансами, примерно соответствует классам выше Arc5 в классификации РМРС или выше 1ASuper в классификации DNV-LR). Соответствующее решение было принято на 74-й сессии МЕРС в апреле 2019 г. Одним из аргументов в этой дискуссии являлось наличие существенных «ледовых запасов» мощности на борту судов ледовых классов, которые предназначены для безопасной работы во льдах и, как правило, не используются при плавании в открытой воде [1–2]. Эти запасы нормируются классификационными обществами в форме «минимальной мощности на борту», но нормативы минимальной мощности для высоких ледовых классов, приведенные в правилах различных классификационных обществ, существенно (иногда до 2 раз) отличаются между собой.

Приведенный пример показывает, что обоснованные аргументы, подкрепленные результатами должным образом поставленных и проведенных исследований, воспринимаются в МЕРС и могут быть важным инструментом защиты интересов нашей страны. Особенностью таких исследований является то, что они должны проводиться в режиме «быстрого реагирования», так как в МЕРС срок от момента, когда после инициации и предварительного обсуждения вопрос ставится на проработку (во время этой проработки заинтересованные стороны вносят ноты со своими предложениями и замечаниями, а обсуждение этих нот включается в повестку сессий комитета), до момента

принятия резолюции составляет, как правило, два-три года.

К сожалению, принятый в России механизм финансирования науки через конкурсные процедуры не позволяет оперативно (даже за один-два года) развертывать и финансировать такие исследования, что в существенной степени сказывается на эффективности защиты и интересов морского бизнеса России. По-видимому, здесь можно было бы с некоторой ностальгией вспомнить существовавшую еще в советское время систему организации исследований в целях обеспечения интересов страны в международных отношениях, которая предусматривала создание под каждую проблему временной рабочей группы из специалистов разных направлений, осуществлявшей мониторинг и аналитическое сопровождение, например, развития международного конфликта и способствовавшей выработке правильных управленческих решений.

ПРОБЛЕМА ЗАПРЕТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРЕВОЗКИ ТДТ В АРКТИКЕ

Приведем цитату из документа PPR-6 INF21 от 14.12.2018 г., представленного в ИМО Данией на 6-й сессии Подкомитета по предотвращению загрязнения и реагированию (PPR) и освещающем вопросы последствий такого запрета для Гренландии [3]:

«Конвенция MARPOL Annex 1 Regulation 43 запрещает всю транспортировку и использование тяжелого топлива в антарктическом регионе (ИМО 2011). В новом Полярном Кодексе, который вступил в силу 1 января 2017 г., в части II-B был представлен призыв добровольно следовать антарктическим правилам в Арктике. Эта добровольная инициатива, скорее всего, будет преобразована в запрещение тяжелого топлива в Арктике. Однако в отличие от Антарктики этот запрет не будет касаться перевозки ТДТ, за исключением используемого для движения судов».

В настоящее время ИМО разрешает использование и перевозку в танках только судового топлива. По-видимому, ИМО учитывает, что принятие решения о запрещении не только использования, но и перевозки ТДТ в пределах Арктики, по аналогии с Антарктикой, означал бы сильнейший удар по судоходству и по арктическим поселкам, отопление которых традиционно основывается на сжигании мазута. При этом переход на газовое топливо, которое рассматривается отдельными российскими фирмами как решение проблемы, в настоящее время не подкреплено инфраструктурой, предназначенной для перевозки, заправки и хранения природного сжиженного газа. Ниже вопрос о запрещении и перевозке

ТДТ рассматривается в указанной постановке ИМО.

Согласно рабочему определению, предложенному на 6-й сессии Подкомитета по предотвращению загрязнения и реагированию (PPR) и принятому в отчете 74-й сессии МЕРС, под тяжелым дизельным топливом понимается «топливо, имеющее при температуре 15 градусов Цельсия плотность выше, чем 900 кг/м³, или кинематическую вязкость при 50 градусах Цельсия выше 180 мм²/с».

Учитывая важность вопроса для России, необходимо проанализировать материалы, поданные в МЕРС.

Первые документы, затрагивающие вопросы запрещения использования и перевозки ТДТ в Арктике, МЕРС и Подкомитет по предотвращению загрязнения и реагированию (PPR) начали рассматривать с 2015 г. Постановка вопроса «зелеными» организациями и рядом стран, включая США, была весьма жесткой – полное запрещение ТДТ для снижения воздействия на окружающую среду в Арктике.

Сторонники полного запрета использования ТДТ приводят два аргумента: выбросы из труб судов сажи (blackcarbon), оседая на льду, ускоряют его таяние, что, как и возможные аварийные разливы тяжелого топлива, оказывают негативное воздействие на экологию.

Было разработано и принято на 68-й сессии МЕРС 68/21 определение «blackcarbon»:

«Черный карбон» (сажа) – особый тип углеродистого материала, формирующегося только в пламени при сгорании углеродного топлива. Он отличается от других форм углерода и соединений углерода, содержащихся в атмосферных аэрозолях, поскольку имеет уникальную комбинацию следующих физических свойств:

- 1) интенсивно поглощает видимый свет с массовой абсорбцией (поглощением) поперечным сечением по меньшей мере 5 м²/г при длине волны 550 нанометров;
- 2) огнеупорен, это означает, что он сохраняет базовую форму при очень высоких температурах с температурой испарения примерно 4000 °К;
- 3) нерастворимый в воде, в органических растворителях, включая метанол и ацетон и в других компонентах воздушных аэрозолей;
- 4) существует в агрегатном состоянии в виде маленьких углеродных «сферул.»

После принятия определения blackcarbon 5-я сессия PPR отобрала три эффективных способа контроля выбросов сажи, что позволяет в дальнейшем разработать меры по снижению этих выбросов во всем мире.

Российская сторона неоднократно обращала внимание на то, что, по имеющимся данным, при ходе в свободной воде в Арктике основная масса сажи оседает в воду в коридоре шириной около 50 м от судна в каждую сторону и, таким образом, почти не оседает на лед. Количество судов, работающих непосредственно во льдах, относительно невелико (по информации, прозвучавшей на конференции РАО по Арктике в октябре 2019 г., было выдано 730 разрешений на проход по Северному морскому пути), и сажа из таких судов не может привести к сколько-нибудь серьезному потемнению льда. Скорее всего, вопрос о влиянии выбросов сажи на таяние льдов в Арктике должен быть дополнительно исследован, однако необходимо учитывать, что значительное увеличение числа судов, работающих в Арктике, возможно только в летний период, когда большие участки акватории свободны ото льда, и возможна эксплуатация судов более легких ледовых классов. По-настоящему длительно работают под ледовой проводкой суда высоких ледовых классов, число которых крайне незначительно и измеряется десятками. Поэтому вопрос выбросов сажи при использовании тяжелого топлива вряд ли можно назвать настолько критическим, чтобы заменять топливо на всех судах.

В качестве самой существенной опасности противники применения ТДТ в Арктике рассматривают аварийный разлив топлива в воду. При этом отмечается, что ТДТ более тяжелое и вязкое и значительно труднее убирается существующими системами борьбы с разливами – скиммерами и помпами. В случае, если погодные условия не позволяют начать уборку разлива, его продукты начинают дрейфовать и оседать на дно, загрязняя окружающую среду.

Большинство оборудования для борьбы с разливами в настоящее время ориентировано на разлив сырой нефти. Но ни ТДТ, ни легкое дизельное топливо не ведут себя так, как сырая нефть. Легкое топливо имеет тенденцию быстро распространяться по объему воды, но затем быстро (в считанные дни) испаряться и рассеиваться.

Тяжелое топливо, наоборот, начинает наплавлять больше парафин, чем нефть. Его трудно убрать с помощью скиммеров, и его масса постепенно набирает воду, увеличивается в объеме, что делает его уборку еще более затруднительной. Эмульсифицированное топливо, как правило, распадается на смолистые пластинки или шарики. В зависимости от солености и наличия примесей в воде эти частицы могут или иметь нулевую плавучесть, или погрузиться на дно.

В качестве основной опасности разлива ТДТ в отличие от легкого топлива

указывается значительно более сложный процесс ликвидации последствий. Например, Канада представила документ PPR.INF4, содержащий анализ, проведенный фирмой Nuka Research and Planning Group, LLC, в котором приводятся следующие данные:

«В настоящее время разрабатываются новые бренды дизельного топлива, использование которых привело бы к снижению выбросов углекислого газа до уровня легкого топлива, но ликвидация последствий разлива будет на уровне ликвидации тяжелого топлива. Гибридные виды топлива имеют плотность, как ТДТ, и некоторые из них имеют ту же вязкость. При разливе они эмульсифицируются, как ТДТ, что делает их уборку более сложной».

О ТДТ после разлива говорят проведенные в Норвегии исследования новых марок топлива ExxonHDME50 и ShellULFSO, подразумевавшие сравнение поведения их в холодном климате. Гибридное топливо имеет более высокую температуру кипения и испаряется много медленнее, чем дистиллированное топливо. Так, после пяти дней в зимних условиях испарилось только 2% HDME50 и 18% ULFSO (для сравнения – испарилось 95% газового топлива – gasoil). Оба топлива эмульсифицировались, формируя мусс, как и тяжелое дизельное топливо. В эмульсии с HDME50 содержалось 40% воды, а с USFO – 58%. В летних условиях эмульсия содержала 60 и 78% воды соответственно. Зимняя эмульсия очень вязкая, летняя – средней вязкости. После одного дня в холодной воде ULFSO увеличилось в объеме вдвое за счет образования эмульсии [4].

Исследователи обращают внимание, что при принятом ИМО ограничении содержания серы в бункерном топливе 0,5%, малосернистое топливо будет по свойствам близко к легкому топливу.

В отличие от ТДТ легкое дизельное топливо (дистиллят) легко испаряется в атмосферу (очевидно, скорость процесса зависит от температуры), и поэтому усилий по ликвидации последствий разлива требуется существенно меньше (соотношение стоимостей ликвидации разлива, по данным различных оценок, для тяжелого и легкого дизельного топлива, колеблется в пределах от 3 до 7 раз (ликвидация разлива сырой нефти занимает промежуточное положение).

В то же время оценки вреда от разливов основаны на том предположении, что выливается все топливо, имеющееся на борту (см., например, документ PPR6/12, представленный группой «зеленых» организаций).

Однако из незначительных работ, анализирующих аварийность судов в

Арктике (см. например, [5-9]), можно выделить следующее:

- в 1983 г. на трассе Севморпути отмечено 113 случаев повреждений судов, одно судно затонуло, 9% составили повреждения винтов, остальные повреждения приходились на корпус, причем сквозные повреждения составили 68,4% (трещины и отверстия) [5];
- корпус танкеров типа «Самотлор» длиной 160 м, дедвейтом 16 770 т, ледовый класс УЛ, за 1975–1995 гг. получал 50% повреждений при буксировке ледоколом, около 20% повреждений зафиксировано в канале, проделанном во льду ледоколом, или при постановке на якорь. Скорость в 50% случаев была 6–10 уз. В 65% повреждения произошли в восточных арктических морях в августе-сентябре (40%), 57% повреждений – в крупнобитом льду, 25% – в мелкобитом, 14% – в ледяных полях. Чаще всего повреждения происходили во льду толщиной 1,5–3 м при сплоченности 80–100% [6];
- повреждение корпуса судна ледового класса, вплоть до выливания нефтепродуктов из танков, стала реальной в 1978 г., когда был пробит танк с топливом на ледоколе «John A. Macdonalds» [7]. Авария произошла осенью в море Бофорта, когда судно обеспечивало безопасность буровых работ на передвижной буровой платформе.

В целом анализ имеющихся работ показывает, что преобладают мелкие повреждения корпуса, которые в подавляющем числе случаев не связаны с пробоинами в танках и истечением нефти.

В документе PPR6/12/5 указывается, что с 1970 г. произошел только один инцидент с разливом ТДТ в пределах полярного круга, причем летом.

При этом необходимо обратить внимание на следующую техническую подробность, которая не зафиксирована ни в одном документе по рассматриваемой теме.

ТДТ в топливных танках и при его перевозке в танкерах рекомендовано греть до температуры минимум на 20 градусов выше точки застывания (т. е. примерно до 40 °С, а для расходных цистерн – еще выше, до 60 °С). Таким образом, во время аварии при попадании топлива в двойное дно даже из подогреваемых танков и при взаимодействии там с холодной водой топливо будет парафинизироваться (применяют разные термины для обозначения этого процесса застывания ТДТ, но здесь используем такой термин, чтобы подчеркнуть, что топливо будет приобретать вид воскообразной массы), и объемы разлива ТДТ будут существенно меньше, чем легкого

топлива, которое неминуемо вытечет из танка полностью. То есть используемое «зелеными» при оценках ущерба от разлива топлива предположение о соизмеримых количествах ТДТ и легкого топлива, попадающих в воду при аварии, некорректно.

К сожалению, исследования механизма разлива тяжелого топлива из аварийных танков с учетом парафинизации до настоящего времени не проводились, а этот фактор неминуемо должен быть введен в расчеты стоимости ликвидации разливов. Ликвидация разлива легкого топлива существенно легче (оно испаряется само в атмосферу), но практически одновременно в воду попадет большая его масса, и экологические последствия могут быть даже более неблагоприятными, чем при ограниченной массе разлива ТДТ.

ПОЗИЦИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ПРИАРКТИЧЕСКИХ СТРАН

Практически все страны, включая сторонников запрета ТДТ, вынуждены согласиться с необходимостью всестороннего экономического исследования всех аспектов и последствий такого запрета.

В ряде арктических стран проведены оценки того, во сколько обойдется им запрет на использование и перевозку ТДТ транспортными судами. Так, в документе PPR 6/INF21, представленном Данией, социально-экономических потери оцениваются в 8,1 млн. датских крон ежегодно, с учетом увеличения цен на топливо для жителей и бизнес-сообщества, влияния на окружающую среду и затраты правительства Гренландии. При этом говорится, что нет данных, что аварий с разливом топлива после запрещения ТДТ будет меньше, хотя объемы разливов могут измениться, по оценкам, на ±3–5%. Тем не менее, сделан вывод о том, что запрет на ТДТ снизит стоимость разливов нефти, так что все расходы финансово приемлемы.

В документах PPR6/12/4 и PPR6/INF.24, представленных Канадой, указано, что запрет тяжелого топлива коснется около 50 северных поселков со 120 тыс. жителей, у которых нет альтернативы водному транспорту или более затратному и менее экологичному авиационному транспорту. Кроме того, арктическое судоходство поддерживает процесс добычи минеральных ресурсов в Арктике и таким образом вносит вклад в мировую экономику. При локальном запрете на ТДТ в Арктике суда вынуждены будут перебункеровываться на входе в регион, теряя время, которое и так крайне ограничено для доставки необходимых товаров в арктические поселки. Необходимое увеличение вре-

мени канадского варианта «северного завода» ставит под угрозу снабжение этих поселков. Поэтому нужно оценивать последствия запрета комплексно. Важно отметить, что в документах Канады (например, PPR 6/12/4) так же, как в документах, представленных Россией, практически не употребляется слово ban – запрет на использование и перевозку ТДТ, вопрос ставится о снижении рисков его использования.

В экономических расчетах обращается внимание на то, что стоимость дистиллированного дизельного топлива примерно в полтора раза выше, чем ТДТ, однако при введении низкосернистого бункерного топлива эта стоимость будет подравниваться.

Российская делегация последовательно занимает позицию, говорящую не о запрете, а о «снижении рисков от использования тяжелого топлива в Арктике», предлагая для этого целый ряд мер (документ PPR6/12/1):

- навигационные меры (разделение схем движения, рекомендованные маршруты, зоны особой предосторожности, запретные зоны, система контроля за движением судов); в качестве наиболее неотложных выделены ограничения движения и ограничения скорости судов; целями навигационных мер является снижение риска столкновений и обеспечение максимального движения судов вне льда и вдали от навигационных опасностей;
- меры по обеспечению судовых операций, т.е. дальнейшее развитие проводимого ИМО контроля качества топлива в Арктике, чтобы предотвратить связанные с этим выходы из строя двигателей с риском обусловленных этим аварий;
- инфраструктурные и коммуникационные меры, предусматривающие максимально точное обеспечение судов ледовыми прогнозами и постоянное обеспечение связи с береговыми службами;
- меры по готовности к аварийным ситуациям с разливом топлива и к раннему выявлению разливов, например, при передаче грузов с судна на судна или на береговые объекты; для снижения рисков должны полная готовность оборудования по ликвидации разливов, наличие

соответствующих руководящих документов;

- меры по обеспечению тренированности персонала.
- проведение тщательного экономического анализа всех аспектов отказа от использования ТДТ в Арктике.

В документе PPR6/12/2 РФ указывается на необходимости проведения всеми приарктическими странами тщательного социально-экономического анализа последствий возможного запрета ТДТ.

Российская делегация подчеркивала, что реальным и неизбежным социально-экономическим потерям, связанными с запретом использования ТДТ, его сторонники противопоставляют предполагаемые затраты на ликвидацию разливов, которых при принятии мер по снижению рисков использования ТДТ может и не быть.

При катастрофических авариях, связанных с повреждением нескольких танков и гибелью судна, выбросы неизбежны, но таких случаев в Российской Арктике не было благодаря созданной системе обслуживания судов на Севморпути. *Даже в этом случае разлив ТДТ в холодной воде будет существовать в более локализованной форме, чем легкого дизельного топлива и сырой нефти, которые могут вытечь полностью даже при небольших повреждениях танков (здесь следует заметить, что большинство выводов «зеленых» основано именно на опыте разлива сырой нефти).*

ВЫВОДЫ

1. Постановка вопроса в Комитете по защите окружающей среды ИМО о запрете использования и перевозки в Арктике ТДТ, используемого для движения судов, может иметь серьезные экономические и социальные последствия для приарктических стран.

2. Главной причиной запрещения ТДТ в Арктике «зеленые движения» выдвигают опасность разлива ТДТ в аварийных ситуациях, основываясь, как правило, на мировом опыте разливов прежде всего сырой нефти. В оценках опасности разлива, проводимых сторонами запрета ТДТ, принимается предположение о равных количествах вытекшего ТДТ и легкого топлива, что не совсем корректно, так как температура парафинизации первого существенно

выше температуры арктических вод, и истечение ТДТ даже из подогреваемых расходных цистерн с учетом парафинизации будет существенно затруднено. Таким образом, речь может идти о разливе ТДТ, объем которого будет заведомо ниже объема разлива легкого топлива и сырой нефти.

3. Необходимы дополнительные исследования поведения ТДТ при истечении из поврежденного корпуса и взаимодействия с холодной арктической водой, а также разработка технических мер для снижения риска разливов ТДТ в аварийных ситуациях.

4. Предлагаемый Россией комплекс разнообразных мер по снижению рисков работы с ТДТ в Арктике согласно практике арктического судоходства в этом регионе позволяет избежать аварий с разливом ТДТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пустошный А.В., Сазонов К.Е. Проблемы, связанные с увеличением скорости круглогодичной работы крупнотоннажных транспортных судов в Арктике // Арктика: экология и экономика. – 2017. – №3(27). – С. 103–110.
2. Экологическая защита морской среды и развитие морской техники // Транспорт РФ. – 2017. – №2(69). – С.47–51
3. Impact assessment on a ban of heavy fuel oil use in Greenland. – Document PPR 6INF21, 14.12.2018, представлен Данией.
4. Helstrem K. Weathering Properties and Toxicity of Marine Fuel Oils Environmental Technology. – SINTEF. OC2017-A-124.
5. Бабаев В.А., Башич Ю.М., Тряскин В.Н. Повреждения ледоколов и транспортных судов в российской Арктике. – Матлы 13-й Международ. конфер. РОАС'95, Мурманск, 1995, с.3–20.
6. Kulesh V.A., Vorontsov I.A., Popova N.Y., Mostovoy V.V. Operational experience and expertise of hulls reliability of Samotlor type polar tankers. – Additional paper submitted for the Joint POAC/OMAE Arctic/Polar Symposium, Yokohama, 1997, p. 1–14.
7. Мансуров М.Н., Сурков Г.А., Журавель В.И., Маричев А.В. Ликвидация аварийных разливов нефти в ледовых морях. – М.: Изд. Информационно-рекламного центра газовой промышленности «Газпром», 2004.
8. Lewis E.L. Some possible effect of Arctic industrial Development on the Marine environment. – Proc. Of Int. Conf. Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC'79). – 1979. – Vol.1. – P.369–391
9. ITOPF Past Spill Statistics. ■

Конструкторское бюро по проектированию судов «Вымпел», первоначально специализировавшееся на разработке речных транспортных судов, просуществовало чуть более 10 лет к тому моменту, когда началась Великая Отечественная война. Ожесточенные бои на реках основных бассейнов европейской части Советского Союза, огромные потери флота, необходимость обеспечения перевозки продовольствия, топлива, раненых поставили перед молодым бюро сложнейшие задачи по проектированию новых кораблей и судов.

БОЛЬШИЕ ОХОТНИКИ ЗА ПОДВОДНЫМИ ЛОДКАМИ

Одной из первых задач военного времени стала доработка документации на проектирование больших охотников за подводными лодками пр. 122. Их основной задачей было несение дозорной и охранной службы в ближней зоне военно-морских баз и на путях развертывания сил флота. Корабли имели стальной корпус, водоизмещение ок. 220 т, три двигателя мощностью по 1100 л. с., развивали скорость до 22,5 уз. Вооружение состояло из одной артиллерийской установки калибра 76 мм, одноствольных 12,7-мм пулеметов ближнего боя ДШК (3 шт.), бомбосбрасывателей больших (16 шт.) и малых (40 шт.) бомб. В соответствии с требованиями ВМФ под руководством главного конструктора К. Д. Корнилова, а в дальнейшем Н. Г. Лощинского проект был переработан с целью установки гидроакустической станции и получил номер 122А. В 1941 г. Зеленодольским заводом были сданы первые корабли «Артиллерист» и «Минер», вошедшие в состав Каспийской флотилии. С началом Великой Отечественной войны еще несколько заводов в г. Молотовск и г. Комсомольск-на-Амуре приступили к крупносерийному строительству больших охотников за подводными лодками.

Позднее проект большого охотника претерпел ряд изменений: усилено вооружение, заменены двигатели, увеличена ширины корпуса, повышена мореходность. Новые охотники пр. 122бис водоизмещением ок. 330 т несли достаточно мощное вооружение – 85-мм универсальную артиллерийскую установку, два 37-мм зенитных автомата, две спаренные установки крупнокалиберных пулеметов, бомбометы и бомбосбрасыватели. Корабли комплектовались современными радиолокационными и гидроакустическими станциями. Впоследствии проектные работы продолжались под руководством главных конструкторов Н. Х. Желяскова, а после 1948 г. – А. В. Кунаховича.

Организация постройки больших охотников пр. 122бис на заводе им. Горького в г. Зеленодольск осуществлялась точно-позиционным методом. Это позволяло сдавать флоту



Большой охотник за подводными лодками пр. 122А

КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ВЫМПЕЛ» В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

*В.В. Шаталов, ген. директор АО «КБ «Вымпел»,
контакт. тел. (831) 433 4149*

ежегодно по 25–30 кораблей. Такая поточная линия по постройке кораблей стала первой в нашей стране. В 1949 г. группа специалистов завода и конструкторского бюро «Вымпел», участвовавших в разработке новой технологии постройки кораблей, была удостоена Государственной премии.

Всего в период с 1939 по 1955 г. было построено и сдано флоту более 200 больших охотников за подводными лодками пр. 122 различных модификаций. Корабли несли службу на всех флотах СССР – Балтийском, Черном и Каспийском морях, на Севере и Дальнем Востоке, они входили как в состав ВМФ, так и в состав морских частей пограничных войск. Значительное количество кораблей пр. 122бис было передано союзникам СССР. Корабли этого проекта стали родоначальниками нового класса морских противолодочных кораблей, важной составной частью отечественного флота последующих десятилетий.

МОРСКИЕ И РЕЧНЫЕ ТРАЛЬЩИКИ

Проект морского тральщика 253 был разработан КБ под руководством Н. Г. Лощинского по заданию ВМФ в двух вариантах – стальном и деревянном корпусах – и по основным характеристикам полностью отвечал насущным потребностям Балтийского флота. Управлением кораблестроения проект был рекомендован к реализации в стальном варианте в Ленинграде. Однако изучение материалов пр. 253 ленинградскими конструкторами показало, что построить по нему корабль в условиях блокады невозможно из-за технологической сложности. По доработанной заводом п/я 189 (в настоящее время Балтийский завод) документации и технологии на четырех заводах Ленинграда начиная с 1943 г. по пр. 253Л была построена серия из 32 тральщиков типа МТ-1. Корабли второй серии типа МТ-2 пр. 253ЛП начали строить в 1944 г. и закончили уже после войны, построив всего 56 ед.

Начиная с 1943 г. на Ярославском судостроительном заводе по проекту КБ «Вымпел» была построена серия из 8 тральщиков пр. 238. Главный конструктор – Н. Г. Лощинский.

В разминировании магнитных мин на реках оккупированной части страны, прежде всего на Волге, на подступах к Сталинграду, сыграли большую роль построенные сотнями единиц специальные речные траловые баржи, уничтожающие неконтактные мины. В исключительно короткий срок был выполнен фронтальный заказ по разработке документации специальной траловой баржи пр. 417, главный конструктор – П. М. Кожевников. В течение 24 часов непрерывной работы конструкторами были разработаны и выпущены все необходимые для строительства баржи чертежи и переданы для срочной постройки на нескольких заводах.

ДЕСАНТНЫЕ МОТОБОТЫ

В начале войны обозначился острый недостаток специальных десантно-высадочных средств, приведший к большим потерям десантников при форсировании больших рек. Для речных и озерных переправ в КБ разработан к началу 1942 г. десантный катер повышенной живучести пр. 165, главный конструктор – П. М. Кожевников. При водоизмещении 15,5 т и осадке 0,6 м такой катер мог перевозить и высаживать на берег до 60 десантников с личным вооружением. Его экипаж – 3 человека, мореходность – 4–5 бал-



Десантный мотобот пр. 165

лов и радиус действия – около 150 миль. Такой десантный катер мог удаляться от берега на расстояние до 20 миль. Спаренные мотоботы предназначались для перевозки автомашин и артиллерии.

В 1942 г. на Гороховецком судостроительном заводе проект был доработан под руководством П. А. Балуева, на базе того же корпуса разработан катер ПВО, вооруженный 37-мм зенитным автоматом 70-К и пулеметом ДШК. Началось строительство крупной серии мотоботов для Волжской флотилии. В период с 1942 по 1945 г. на этом заводе и верфи в Дзержинске было изготовлено более 150 десантных мотоботов, 50 из которых были потеряны в результате боевых действий.

Осенью 1943 г. десантные мотоботы вошли в состав Черноморской флотилии, приняли активное участие в операции по созданию плацдарма «Малая Земля», Керченско-Эльтигенской десантной операции, осуществляли перевозку людей, техники, танков, орудий, инженерного и санитарного имущества; проводили высадку десанта в г. Новороссийск, участвовали в освобождении Тамани. В годы войны по пр. 165 было построено более 100 мотоботов, один из них сохранился до наших дней в качестве памятника Эльтигенскому десанту.

БУКСИРНО-МОТОРНЫЕ КАТЕРА

Для обслуживания тяжелых понтонных парков и в качестве буксировочного средства, а также для выполнения различных вспомогательных работ на переправах был разработан проект речного буксирно-моторного катера БМК-90 с двигателем мощностью 72 л. с.

Строительство серии речных буксирно-моторных катеров началось в 1945 г. в г. Рыбинск. Максимальная скорость катера на воде достигала 20,5 км/ч, а тяговое усилие на швартовах – 1100 кгс. С помощью этого катера обеспечивалась буксировка 50-тонного парома парка ТПП со скоростью 8 км/ч. По суше катер перевозился на специальном прицепе за автомобилем. Время спуска катера с прицепа на воду расчетом из четырех человек составляло 6–8 минут. Катер БМК-90 был простым



Буксирно-моторный катер БМК-90

по конструкции, в управлении и обслуживании, что было немаловажным при обучении экипажей.

При проведении работ по проекту БМК-90 КБ по инициативе главного конструктора А. В. Кунаховича выступало не только в роли проектанта судна, но и в качестве головного исполнителя опытных образцов, доведя их до состояния, позволившего осуществить запуск в серийное производство. Общее количество буксирно-моторных катеров, построенных в период с 1945 по 1970 г., составило около 1000 ед.

ДЛЯ ФРОНТА И ТЫЛА

По проектам КБ в годы войны серийно строились плавучие базы ПВО, речные самоходные минные и торпедные баржи грузоподъемностью 50–100 т, санитарно-дезинфекционные транспорты, гидрографические, санитарные катера, артшты, плавбатарей, речные плавучие самоходные пушки калибра 152 мм, портово-рейдовые паровые буксиры, рейдовые наливные танкеры.

Для ВМФ разработан проект и осуществлено строительство на Сретенском судостроительном заводе более 60 морских дизельных одновинтовых буксиров мощностью 170 л. с.

В ноябре 1943 г. под личным руководством главного инженера Д. Д. Жуковского в исключительно короткий срок, в течение 20 суток, разработан проект самоходной десантной баржи пр. 423 для действующего военно-морского флота.

Одним из направлений проектно-конструкторских исследований, которые с началом войны не только не были сокращены, а напротив, получили дальнейшее развитие, были работы по созданию судов безобмоточного размагничивания.

В военные годы в КБ разработано большое число проектов переоборудования речных судов в суда для траления мин, несения противовоздушной обороны, десантных операций, перевозки боевой техники. Вооруженные артиллерией и пулеметами буксиры превращали в тральщики и канонерские лодки. Пассажирские теплоходы переоборудовали под госпитальные суда и войсковые транспорты. Сухогрузные и наливные баржи с подкрепленными палубами использовались как десантные суда и паромы.

Наряду с военными заказами продолжалось проектирование судов для народного хозяйства: морских, речных буксиров; грунтоотвозных шаланд грузоподъемностью до 250 т. На судостроительных заводах блокадного Ленинграда была построена серия судоподъемных понтонов грузоподъемностью от 40 до 200 т.

В связи с постройкой железнодорожной линии Хабаровск–Комсомольск–Советская Гавань по проекту КБ были созданы уникальные для того времени железнодорожные паромы для паромной переправы через р. Амур пр. 723, пр. 23У, главный конструктор – В. М. Керичев, с 1947 г. – А. С. Рачков.

Под руководством главных конструкторов В. А. Евстифеева и В. И. Антрютина разработаны проекты морских сухогрузных барж грузоподъемностью от 50 до 500 т, более 1000 барж построены за первые годы войны. Гороховецким, Навашинским и Рыбинским судостроительными заводами построены крупные серии сухогрузных и наливных барж грузоподъемностью от 100 до 400 т. Сретенским судостроительным заводом построены серии речных судоподъемных барж грузоподъемностью более 200, речных толкаемых барж понтонного типа, речных наливных барж грузоподъемностью 100–500 т, речных пассажирских винтовых катеров автобусного типа на 120 и 250 мест.

Транспортные речные суда, построенные по проектам КБ, выполнили большую работу по форсированному обеспечению перевозок топлива, продовольствия, раненых, оказали огромную помощь в битве за Волгу. В расположение Сталинградского и Донского фронтов под вражеским огнем через Волгу было переброшено более 1 млн. человек, сотни тысяч автомашин, более 200 тысяч тонн грузов.

КОНСТРУКТОРЫ ПОБЕДЫ

Коллектив бюро в годы войны был небольшим – около 250 человек, многие уходили на фронт. В 1942 г. ЦКБ пополнилось квалифицированными работниками, эвакуированными из Ленинграда, однако основной костяк состоял из горьковчан. В этот период руководил бюро П. А. Сергеев, главным инженером был Н. Ф. Мокеев (по 1942 г.), Д. Д. Жуковский (с 1943 г.).

Ежегодно ЦКБ «Вымпел» разрабатывало по 13–14 проектов, большое внимание уделяло повышению качества технической документации, а также ускорению процесса постройки судов. По отдельным проектам разработка рабочих чертежей выполнялась конструкторами непосредственно на заводостроителе, изучался опыт эксплуатации построенных судов для более квалифицированной разработки новых проектов и рабочих чертежей.

Переход в годы войны к крупносерийной постройке вспомогательных судов ВМФ потребовалось совершенствование технологических процессов подготовки производства. В проектах самих судов, а также в проектах подготовки производства предусматривались все возможные по тем временам технические решения, позволявшие экономить дефицитные материальные и трудовые ресурсы, в их числе – переход на полностью сварные конструкции, конвейерная сборка судов небольшого водоизмещения, упрощенные обводы корпусов и т. п.

Работать приходилось в условиях недоедания и недосыпания, в неотапливаемых помещениях, часто без выходных дней и отпусков. Тем не менее все задачи выполнялись в срок, а порой и досрочно. «Все для фронта, все для победы» – девиз того времени. В. А. Весницкий, работавший главным бухгалтером во время войны, отмечает в своих воспоминаниях: «Программа и план выдавались ЦКБ в двойном объеме, а сверх него в дальнейшем включались срочные и сверхсрочные работы. Сколько времени и сил было необходимо на их выполнение, являлось вопросом второстепенным. Война требовала всей энергии и возможностей, и они безоговорочно отдавались. Сотрудники всех рангов и специальностей проводили за работой по 14–16 часов, а иногда и круглые сутки напролет... И невыполнимые, казалось бы, задачи осуществлялись в срок. ЦКБ многократно за это присуждалось «Красное Знамя», которое в послевоенное время было передано ему на вечное хранение».

В тяжелый 1942 г., когда шла Сталинградская битва, ЦКБ «Вымпел» приступило к подбору материалов и документации о ранее построенных речных судах для своевременной подготовки к переходу на строительство гражданских судов после окончания войны. В 1943 г. был выпущен многотомный обзор зарубежного судостроения за последние 10 лет, собраны и систематизированы данные о речных довоенных судах и разработаны стандарты для их перспективного проектирования, а также их механизации. Эти работы говорили о вере нашего народа в победу.

За самоотверженный труд в годы Великой Отечественной войны ряд работников бюро был награжден боевыми орденами и медалями. Медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» награжден весь основной состав сотрудников ЦКБ, работавших в дни войны – всего более 200 человек.

Многие сотрудники не только разрабатывали чертежи, но и участвовали в постройке оборонительных сооружений на подступах к г. Горький, проходили боевую подготовку в отряде народного ополчения, в истребительном батальоне, в ПВО. Из воспоминаний В. А. Весницкого: «... Выполняя конструкторские задачи, коллектив должен был осуществлять и самооборону организации. Были созданы команды из сотрудников бюро, часть которых размещалась в здании ЦКБ и без



Коллектив КБ «Вымпел» – победитель соцсоревнования, 1942 г.

отрыва от производства несла круглосуточные обязанности по обороне здания. Выделялись люди и в отряды городских оборонных организаций. Многие сотрудники бюро сражались в рядах Красной Армии, многие сложили голову во славу Родины...»

Не о личных достижениях вспоминают современники тех страшных лет, но о воинском и трудовом подвиге народа как единого целого, чьи невосполнимые потери и общие нечеловеческие усилия стали ценой Великой Победы. «Холодные, голодные, зачастую очень плохо одетые, в страшные морозы, вопреки здравому смыслу и любой логике люди добивались таких побед и свершений, в которые ... едва ли можно было бы поверить даже в сновидениях... Русские «Иваны» рушили всякие устои о нормах времени, технических и человеческих возможностях. На жесткие планы сверху выдвигались встречные, сверхжесткие, снизу, от которых даже у людей бывалых темнело в глазах. Но, как молвится, «глаза боятся, а руки делают», и они делали все быстро, любовно и честно. А каким – коротким или длинным – будет рубль их заработка, молодежь думала не прежде всего, а меньше всего.

Все это вместе взятое создало ту основу индустриализации страны, которая впоследствии дала возможность не только отразить тотальную угрозу немецкого фашизма, подмявшего под себя к 1941 году половину Европы, разбить его на голову в 1945 году в его же доме, но и в невиданно короткие сроки восстановить разрушенную войной и создать новую промышленность и новые города Советского Союза».

Около 90 человек из состава сотрудников бюро приняли участие в боевых действиях против немецко-фашистских захватчиков. Но не все вернулись с фронта домой. Смертью храбрых пали в боях за Родину Ф. Ф. Бочкарев, И. М. Бушуев, А. И. Вязовов, А. Ф. Егоров, Д. Д. Ефимов, В. М. Жиделев, П. Ф. Кузьмичев, А. Я. Малышев, А. Я. Мельников, И. М. Назимов, О. А. Олесов, А. И. Панков, М. И. Пыжов, И. Я. Семенов, Л. Я. Скрипицын. Вечная им память и слава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадякин А. Н., Вишневцев Е. А. Десантные мотоботы Советского ВМФ//Судостроение. – 1988. – № 7.
2. Бадякин А. Н. От Саратова до Керчи. Боевой путь 1-го и 4-го отрядов катеров ПВО Керченской военно-морской базы Черноморского флота//Очерки военно-морской истории. – 1996. – № 7.
3. Бадякин А. Н. От Новороссийска до Керчи. Боевой путь дивизиона десантных плавсредств Керченской ВМБ//Очерки военно-морской истории. – 1996. – № 7.
4. Костин С. В., Субботина Т. С., Никитина А. В. Боевые корабли мира. Большие морские охотники проекта 122. Корабли и сражения. – СПб., 2001.
5. Кабанова Н. Д. Конструкторское бюро «Вымпел». Время. Люди. Корабли.: Исторический обзор. 1927–2007 гг. – Нижний Новгород: РИ Бегемот, 2007.
6. Качур П. И. Большие охотники проекта 122 А/122 бис//Морская коллекция: Спец. выпуск № 1. – М.: Моделист-конструктор, 2004.
7. ЛитМир – Электронная Библиотека/Техника и вооружение: 2001, 09, с. 31. – <https://www.litmir.me/br/?b=315004&p=31>. ■

В период восстановления разрушенной Гражданской войной и интервенцией экономики огромное значение приобрели новаторство, изобретательство и рационализаторство. Это движение было неразрывно связано с повышением всеобщей грамотности советского народа, развитием образовательной и научной базы. К началу 30-х гг. XX в. многие проблемы в этой сфере были решены. Энтузиазм трудящихся, подкрепленный базовой образовательной подготовкой, приносил весомые плоды – создавалась мощная индустрия, включая оборонную промышленность.

Важное значение для развития изобретательской и рационализаторской деятельности сыграли руководящие документы правительства, прежде всего «Положение об изобретениях и технических усовершенствованиях», утвержденное Постановлением Центрального исполнительного комитета СССР (ЦИК) и Совета Народных Комиссаров СССР (СНК) от 9 апреля 1931 г. № 3/256. Был создан Комитет по изобретательству при Совете Труда и Обороне (СТО).

С целью создания и успешного функционирования системы вознаграждений и льгот 13.08.1931 г. было принято совместное Постановление № 13 ЦИК СССР и № 642 СНК «О введении в действие положения о фондах премирования за достижения по выполнению и перевыполнению промфинплана, а также за изобретения, технические усовершенствования и рационализаторские предложения».

Необходимо отметить, что руководство страны в зависимости от складывающихся экономических, социально-политических условий постоянно совершенствовало организацию и стимулирование массовой изобретательской и рационализаторской работы. Так, 5.03.1941 г. вышло Постановление СНК СССР № 448 «Об утверждении положения об изобретениях и технических усовершенствованиях и о порядке финансирования затрат по изобретательству, техническим усовершенствованиям и рационализаторским предложениям». Этим же постановлением было утверждено «Положение об изобретениях и технических усовершенствованиях и о порядке финансирования затрат по изобретательству, техническим усовершенствованиям и рационализаторским предложениям» [1].

В 1938 г. ВМФ был выделен в отдельный наркомат – НК ВМФ. 14 апреля 1941 г. на основании Постановления СНК от 5.03.1941 г. № 448 нарком ВМФ Н. Г. Кузнецов издал приказ № 265 «О принятии к руководству положений «О массовой изобретательской и рационализаторской работе в Военно-морском флоте» и «Об Отделе изобретений Народного комиссариата Военно-морского

ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В КОНСТРУКТОРСКОМ БЮРО НК ВМФ (ВМС) В БЕРЛИНЕ (1945-1947)

Б.А. Барбанель, академик РАЕН, канд. техн. наук, вице-президент РосНТО им. акад. А.Н. Крылова,

С.В. Федулов, д-р истор. наук, доцент,

Н.Н. Мизиркина, преподаватель,

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, контакт. тел. (812) 315 5027



Адмирал Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецов

флота» [2]. Первое положение определяло цели, организационную структуру, права и обязанности должностных лиц и другие вопросы массового изобретательского и рационализаторского движения в ВМФ. Так, целью его была мобилизация творческой инициативы и активности личного состава ВМФ, направленной на усовершенствование существующих и создание новых видов вооружения, боевой техники, приборов, средств материального обеспечения, наглядных учебных пособий, чтобы укреплять обороноспособность и могущество СССР.

Отдел изобретений (ОИ) НК ВМФ стал центральным органом ВМФ, начальник которого подчинялся заместителю наркома ВМФ по кораблестроению и вооружению [3].

С началом Великой Отечественной войны система массовой изобретательской и рационализаторской работы начала адаптироваться к реалиям военного времени и показала свою результативность. 26 февраля 1943 г. нарком ВМФ Адмирал Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецов издал приказ № 72 «Об изобретательской и рационализаторской

работе» [4], в котором отмечалось, что 20–25 января 1943 г. в Москве был проведен сбор инспекторов по изобретательству и рационализации флотов, флотилий и центральных органов НК ВМФ.

На флотах и флотилиях за время войны изобретательская и рационализаторская работа получила широкий размах, заняла заметное место в обеспечении их боевой и повседневной деятельности.

Выросло число командиров и краснофлотцев, активно участвовавших в рационализаторской работе, качество авторских предложений по военно-морской тематике повышалось, руководство изобретательской работой на флотах и флотилиях (со стороны инспекторов, комиссий, организаторов) стало несколько оперативнее и ближе к фактической потребности в условиях боевой обстановки. Созданные решениями Военных советов Тихоокеанского и Черноморского флотов для разработки изобретательских и рационализаторских предложений экспериментальные лаборатории и мастерские, а также опытно-конструкторские группы оказывали помощь командованию при разрешении технических проблем.

Помимо приказа № 72 от 26.02.1943 г. нарком ВМФ утвердил ряд документов, адаптирующих систему изобретательской и рационализаторской работы к условиям военного времени и давших импульс ее дальнейшему развитию. К ним относились «Положение об организации изобретательской и рационализаторской работе на Военно-морском флоте СССР» и «Положение об Отделе изобретений НК ВМФ». Все вышеперечисленные документы способствовали серьезной активизации изобретательской деятельности на флоте. При этом важным фактором являлось премирование изобретателей и рационализаторов даже в годы суровых испытаний [5].

В мае 1945 г. после Великой Победы советского народа в войне отечественные специалисты получили уникальную возможность ознакомиться с проектированием, созданием германских новинок военно-морской техники, вооружения, изучить и использовать научно-технические работы, разработки новых об-

разцов, материалов, технологических процессов. Многие из них требовали расчетных, экспериментальных работ, а также консультаций германских специалистов.

23 июня 1945 г. решением наркома ВМФ Н. Г. Кузнецова было создано Конструкторское бюро (КБ) НК ВМФ (ВМС) в Берлине для использования высококвалифицированных немецких конструкторов и передачи их опыта советским специалистам. Начальником КБ НК ВМФ был назначен инженер-капитан 1 ранга Л. А. Коршунов [6].

Бюро вошло в систему ВМС Министерства Вооруженных сил как научная структура.

21 мая 1946 г. начальник ОИ ВМС инженер-капитан 1 ранга Серебряков направил Л. А. Коршунову указание: «Для повышения полезной отдачи в работе германских специалистов как работающих во вверенном Вам Бюро, так и обращающихся к Вам с предложением услуг, я рекомендую организовать среди них оформление изобретательских предложений, которые они пожелают зафиксировать в предусмотренном в СССР порядке».

Это может оказаться существенным стимулом для прогрессивного совершенствования разрабатываемых немцами военно-морских объектов и внести в их работу элемент творческого соревнования.

Это более чем своевременно именно на данном этапе, когда в большинстве своем эти специалисты (немцы) уже заканчивают подведение итогов пройденного этапа в развитии германской техники и переключаются на разработку новых объектов и исследований уже по непосредственно по нашим заданиям» [7].



Вице-адмирал Л. А. Коршунов

С целью организации изобретательской работы среди германских специалистов начальник ОИ ВМС рекомендовал начальнику КБ ВМС руководствоваться следующими принципиальными положениями:

«1. Оформление изобретательских прав в СССР для советских граждан и для иностранцев (на началах взаимности) предусматривает выдачу либо патентов, либо авторских свидетельств по усмотрению изобретателя.

2. Патент сохраняет за изобретателем исключительное право использования своего изобретения путем продажи, выдачи лицензий или при личном воспроизводстве изобретенных объектов.

3. Авторское свидетельство – это государственный акт о признании автора действительным изобретателем, который добровольно передает право на использование своего изобретения государственным и общественным организациям СССР.

4. Право на вознаграждение за сделанное изобретение, оформленное выдачей авторского свидетельства, возникает лишь при использовании этого изобретения государством, органы которого определяют размер этого вознаграждения в зависимости от полученного экономического или делового эффекта.

Таким образом, патент предназначен фиксировать и защищать права частного собственника во взаимоотношениях с заинтересованными потребителями сделанного им изобретения. (Естественно, что лица, претендующие в СССР на получение патента, исчислялись единицами и в большинстве своем оказывались иностранцами).

Выдача патента в СССР сопровождается уплатой заявочной пошлины (260 руб. валютой) и в последующем патентной пошлины в течение 15 лет, по истечении которых патент прекращает силу своего действия.

Если изобретение, на которое выдан патент, имеет особо существенное значение для СССР и при этом заинтересованному государственному органу (министерству) не удастся достигнуть с патентодержателем согласия об уступке прав на него, Совет Министров СССР может вынести постановление о принудительном отчуждении патента (или о выдаче лицензии) с установлением размера вознаграждения автора.

Согласно ст. 5 «Положения об изобретениях» № 488 патент не может быть выдан, но выдается авторское свидетельство в следующих случаях:

- если изобретение сделано в связи с работой изобретателя в научно-исследовательских институтах, конструкторских бюро, опытных цехах, лабораториях, других учреждениях и предприятиях;

- если изобретение сделано по заданию государственного органа или общественной организации;
- если изобретатель получил денежную или материальную помощь от государства, кооперативной или общественной организации для разработки изобретения» [8].

Порядок оформления авторских свидетельств должен был осуществляться следующим образом: заявление на выдачу авторского свидетельства или патента должно было подаваться или пересылаться самим изобретателем, его наследниками или по поручению изобретателя предприятием или учреждением в соответствующее министерство СССР (по специальной принадлежности).

На секретные и на имеющие отношение к военным и оборонным объектам изобретения заявки простой почтой пересылать строго воспрещалось. Этого рода секретные материалы либо передавались лично в органы по изобретательству при Министерстве Вооруженных сил СССР, либо вручались начальникам военных учреждений СССР для пересылки этих материалов фельдьегерской связью в органы по изобретательству министерства.

При передаче заявок на секретные изобретения автор не должен был оставлять у себя копий материалов, дубликатов или черновых материалов. Хранилась эта документация лишь в военном учреждении, куда сдана заявка для ее пересылки в министерство. Автор был предупрежден, что обязан не разглашать сведений о сделанном им секретном изобретении никому, кроме руководящих лиц военного учреждения, в которое подана заявка, и которые предоставляют автору возможность вести дальнейшую переписку по поводу своего изобретения, пользуясь для этой цели лишь служебными и соответствующим образом охраняемыми помещениями. Это обязательство также оформлялось подпиской автора о неразглашении секретных сведений, связанных со сделанным им изобретением.

Материалы заявки должны включать:

- «а) заявление, которое направляется в орган по изобретательству в двух экземплярах, из коих один составляется на русском, а второй на родном языке заявителя;
- б) описание изобретения на русском и родном языке автора в трех экземплярах. В конце описания автор приводит формулу новизны, составляемую аналогично существовавшим ранее правилам подачи заявок в Германии;
- в) чертежи, эскизы и схемы, согласованные с текстом описания и формулой новизны предполагаемого изобретения, необходимые для уяснения сущности предмета и его отличительных особенностей.

В примечании указывается, что, если по местным обстоятельствам заявитель не располагает возможностью воспроизвести

экземпляры заявления на русском языке, начальник военного учреждения СССР, принимавший заявку, может (в порядке исключения) принять заявку, составленную лишь на родном языке заявителя. Преимущественно такое исключение может быть допущено для заявок на выдачу авторских свидетельств и лишь в самом крайнем случае по заявкам на патенты.

Заявки, поступившие в органы по изобретательству, оформляются согласно действующему в СССР положению об изобретениях.

Иностранные специалисты, которые передавали заявки на изобретения, должны сообщить содержание этого письма лишь в той части, которая приводилась в прилагаемой переведенной на германский язык выписке» [9].

В заключение начальник ОИ ВМС инженер-капитан 1 ранга Серебряков общал начальнику КБ ВМС Л. А. Коршунову: «Направленные Вами заявки германских специалистов прошу сопровождать Вашими замечаниями и отзывами о их предполагаемой прогрессивности и практической ценности.

В тех случаях, когда (по Вашим сведениям) германский специалист, подавший нам заявку на изобретение, имеет контакт с представителями какой-либо третьей страны, например, работая в нашем КБ, проживает в зоне Берлина, оккупированной союзниками, прошу в своих препроводительных письмах делать соответствующую оговорку» [10].

Еще одним документом, конкретизирующим изобретательскую деятельность, было распоряжение заместителя Главкомандующего ВМС по кораблестроению и вооружению адмирала Л. М. Галлера, направленное 27 мая 1946 г. Военным советам флотов и флотилий, начальникам ЦУ ВМС, начальникам научно-исследовательских и испытательных институтов и полигонов ВМС, начальникам военно-морских академий и ВВМУЗ, инспекторам по изобретательству при Военных советах флотов и флотилий: «Мне стало известно, что среди некоторой части офицеров и специалистов, работающих в научно-исследовательских и испытательных органах ВМС, существует мнение о том, что заявки на предполагаемые изобретения следует подавать только *после окончательной проверки* предложения и лишь после того, как оно осуществлено в виде уже апробированных опытовых образцов.

Разъясняю, что подобный взгляд *не отвечает интересам защиты приоритета наших советских отечественных изобретений*.

Согласно закону, оформление авторских прав на изобретения производится исключительно *на новые*, никому и нигде ранее известные изобретательские предложения. Новизна предложений определяется в зависимости от первенства



Адмирал Л.М. Галлер

подачи заявки на выдачу свидетельства или патента.

Первенство, или так называемый *приоритет*, заявок на изобретения определяется согласно дате, *когда заявка поступила в центральный изобретательский орган* (в системе ВМС – Отдел изобретений).

Таким образом, имея изобретение, можно легко *утратить* первенство (приоритет) и лишиться права защиты авторства только лишь *из-за несвоевременного* оформления заявки.

К сожалению, еще имеют место случаи, когда *по формальным приоритетным обстоятельствам мы теряем право на то или иное отечественное изобретение, которое становится достоянием иностранцев, успевающих раньше нас зафиксировать первенство своей заявки на патент*.

Вот почему следует считать недопустимой ошибкой и беспечностью, когда автор изобретения скромничает, ожидая приглашения подать заявку, или откладывает оформление заявки на тот период, когда предмет его изобретения выдержит все испытания и получит широкую известность и общее признание.

Следует разъяснить и рекомендовать всем творчески работающим научным сотрудникам, инженерам и конструкторам *смелее и без промедления* подавать заявки на свои предполагаемые изобретения.

Необходимо учитывать, что на первоначальном этапе появления нового изобретения бывает трудно в полной мере определить его будущие реальные перспективы. Еще менее основательно требовать от изобретателя объективного суждения о новизне своего предложения, так как это является предметом специального изучения экспертизы Госплана Совета Министров СССР, куда наши заявки поступают через Отдел изобретений ВМС.

Нет ничего зазорного, если экспертиза отклонит некоторую часть посту-

пивших заявок по мотивам отсутствия полезности или новизны. *Хуже, когда хотя бы отдельные действительно ценные изобретения окажутся неизвестными и неоформленными*.

Предлагаю провести соответствующую разъяснительную работу и всемерно способствовать своевременному оформлению и представлению в Отдел изобретений ВМС заявок на выдачу авторских свидетельств» [11].

В ходе анализа документов филиала Центрального архива Министерства обороны РФ (архив ВМФ, г. Гатчина) фонда Конструкторского бюро ВМС в Берлине авторами было обнаружено пять заявок на изобретения, представленные германскими специалистами, сотрудниками КБ ВМС в 1946–1947 гг. Это свидетельствовало о том, что германские изобретатели пользовались такими же правами на открытия, что и советские. Они имели право на получение авторских свидетельств или патентов, денежных вознаграждений за свои изобретения. При этом сотрудники КБ ВМС в Берлине имели приоритет на прохождение изобретений через все инстанции.

Таким образом, целью изобретательской и рационализаторской работы была мобилизация творческой инициативы и активности личного состава ВМС и германских специалистов на усовершенствование существующих и создание новых видов вооружения, боевой техники, приборов, средств материального обеспечения, наглядных учебных пособий и тем самым еще большее укрепление оборонных способностей и могущества СССР [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Федулов С. В., Половинкин В. Н., Барбанель Б. А., Соловьев Д. Н. Изобретательская работа на флоте в годы Великой Отечественной войны. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2020. – С. 4–8.
2. Филиал Центрального архива Министерства обороны Российской Федерации (архив ВМФ, г. Гатчина) (далее – филиал ЦА МО РФ (архив ВМФ, г. Гатчина)). Ф. 14. Оп. 47. Д. 186. Л. 246.
3. Там же. Л. 260–264.
4. Там же. Д. 234. Л. 14–17.
5. Федулов С. В., Половинкин В. Н., Барбанель Б. А., Соловьев Д. Н. Изобретательская работа на флоте в годы Великой Отечественной войны. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2020, с. 103.
6. Барбанель Б. А., Половинкин В. Н., Федулов С. В., Фомичев А. Б. Германский опыт на службе ВМФ СССР (1945–1949). – СПб.: КГНЦ, 2019, с. 373.
7. Филиал ЦА МО РФ. Ф. 905. Оп. 4264. Д. 32. Л. 58.
8. Там же. Д. 32. Л. 59.
9. Там же. Д. 32. Л. 60–61.
10. Там же. Л. 61.
11. Там же. Д. 32. Л. 85.
12. Федулов С. В., Барбанель Б. А. Отдельные виды обеспечения деятельности ВМФ СССР в годы Великой Отечественной войны: стимулирование и финансирование. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2017, с. 75. ■

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.551.001 **Ключевые слова:** АО «ОСК», Группа «ОСК», стратегия развития, мероприятия, показатели, планы

А.Л. Рахманов. Стратегические цели АО «ОСК»//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 1

Во всей полноте рассмотрена стратегия развития АО «ОСК» во взаимодействии с другими партнерами, планы, мероприятия, стратегические цели и задачи. Т. 2. Ил. 1.

УДК 65.011.12 **Ключевые слова:** АО «ОСК», судостроительная промышленность, корпоративная стратегия, методологический инструментарий, проблематизация стратегического развития

С.Е. Абдыкер, А.Н. Бельскова. Методологические подходы к управлению стратегическим развитием корпорации//Морской вестник. 2020. №2 (74). С.7

Корпорации составляют свой методологический набор стратегического управления исходя из собственных проблемных вопросов. В статье выделяется несколько типов корпоративных стратегий, а также приводится пример этапов разработки верхнеуровневой корпоративной стратегии в АО «ОСК». Одной из критичных проблем реализации стратегических документов корпораций указывается избыточность директивных решений. Т. 1. Ил. 1. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** круизное пассажирское судно, судно смешанного плавания нового поколения, обводы, ходовые качества, пропульсивный комплекс, модельные и натурные испытания

А.Г. Егоров. Обеспечение ходовых качеств круизных пассажирских судов смешанного плавания нового поколения//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 11

Приведены основные проекты круизных пассажирских судов смешанного плавания (ПС) нового поколения, подчеркнуты особенности их обводов по сравнению с классическими судами советского периода. Показаны результаты исследований ходовых качеств ПС нового поколения, выполненных с помощью методов вычислительной гидродинамики. Приведены и проанализированы также данные натурных мореходных испытаний 2019 года ПС нового поколения «ББК макс» класса концепта PV09. Показана удовлетворительная сходимость результатов модельных и натурных испытаний. Т. 7. Ил. 9. Библиогр. 18 назв.

УДК [624.042.43:629.5.023]:004.42 **Ключевые слова:** ледовая нагрузка, корпус судна, прямой расчёт, Правила РМРС, программное обеспечение

В.В. Якимов, Г.Е. Егизаров, Т.И. Летова. Дальнейшее развитие программного обеспечения прямого расчета нагрузок от воздействия льда на корпус судна//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 21

Представлены два основных подхода к определению нагрузок от воздействия льда на корпус судна – расчет согласно требованиям нормативной документации и прямой расчет, предполагающий использование физических моделей механического взаимодействия корпуса судна и ледяного покрова. Выполнен краткий обзор специализированного программного обеспечения, предназначенного для реализации прямого расчета и нашего применения в отечественной практике. Дано общее описание актуальных на сегодняшний день программ для ЭВМ, разработанных при непосредственном участии авторов, при этом особое внимание

уделено сравнительному анализу их функциональных возможностей, результаты которого приведены в систематизированном виде. Т. 1. Ил. 1. Библиогр. 11 назв.

УДК 629.12:532.0419075.8 **Ключевые слова:** поврежденное судно, динамическая непотопляемость, бортовая качка, параметры, оценка

О.В. Третьяков, П.А. Шауб, С.В. Москвина. Основы динамической непотопляемости судна//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 27

Посвящена исследованию параметров бортовой качки поврежденного корабля, судна в сложных современных штормовых условиях. Выведена система дифференциальных уравнений качки с учетом нелинейности диаграммы статической остойчивости, наличия затопленных отсеков всех категорий (1–3), качки, нелинейности, угла крена с использованием методов гармонической линеаризации при любой диаграмме остойчивости, которая рекомендуется при оценке опрокидывания судна, с учетом взаимовлияния угла качки и крена дрейфа. Библиогр. 11 назв.

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** корабль, коэффициент Нормана, коэффициент обратной связи, структурные взаимодействия

А.И. Гайкович. Проблема коэффициента Нормана в теории проектирования корабля//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 29

Рассматривается коэффициент Нормана как коэффициент обратной связи в теории проектирования корабля. Показывается его зависимость от принятой структуры сложной технической системы «Корабль». Идея коэффициента Нормана как коэффициента обратной связи помимо нагрузки может быть распространена на другие свойства корабля. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 626 **Ключевые слова:** ВМФ, ЦМКБ «Алмаз», спасательные суда, водолазный колокол, характеристики, постройка, особенности, перспективы

А.А. Форст, А.А. Шамалов. Спасательные суда ВМФ//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 31

Подробно обозначены вехи работы ЦМКБ «Алмаз» над проектированием спасательных судов для для советского и российского ВМФ, начиная с 50-х гг. XX в. Ил. 26

УДК 621.039.53 **Ключевые слова:** универсальный десантный корабль, задачи, особенности, иностранные государства, стратегические планы, ВМС

В.Н. Половинкин, А.Б. Фомичев. Современное состояние и перспективы развития универсальных десантных кораблей. Часть 1//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 42

Проанализированы тенденции реализации стратегии «проекции сил» в США, Великобритании, Нидерландах, основным элементом которых являются универсальные десантные корабли. Особое внимание уделено их особенностям и вооружению. Т. 2. Ил. 10

УДК 627 (26) (075) **Ключевые слова:** мегаблочное формирование, платформостроение, опорные основания, верхние строения, интеграция, алгоритм, монтаж

Р.Н. Караев. Мегаблочное формирование нефтяных стационарных платформ в условиях Каспийского моря. Часть 2//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 46

Проанализирован опыт внедрения инновационных технологий по формированию нефтяных морских ста-

ционных платформ из мегаблочных конструкций весом по 14000–15000 т на шельфе Каспия. Рассмотрены технические требования, обеспечивающие возможность постройки, транспортировки и интеграции мегаблочных конструкций опорных оснований и верхних строений платформ в рамках надвижного и наплавного способов проведения грузовых и монтажных операций. Изложены алгоритмы строительства опорных оснований и верхних строений на стапеле и последующей их интеграции в море. Ил. 12. Библиогр. 4 назв.

УДК 551.046.077:529.584 **Ключевые слова:** суперкавитация, теория малых возмущений, модели и схемы замыкания каверны

К.В. Рождественский. Линеаризованное решение задачи обтекания суперкавитирующего тонкого профиля при использовании различных схем замыкания каверны//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 55

Приведены решения линеаризованной задачи о суперкавитирующем тонком профиле при использовании различных схем замыкания каверны – аналогов соответствующих нелинейных моделей замыкания Рябушинского, Эфроса–Гилбарга, Тулина и Ву–Фабублы. Приведены результаты сравнения теории и экспериментальных данных по коэффициенту подъемной силы, отнесенному к углу атаки в функции от отношения числа кавитации к углу атаки. Ил. 5. Библиогр. 3 назв.

УДК 681.786:621.751:629.5 **Ключевые слова:** размоточный комплекс, лазерный проектор, система баз, опорные точки, привязка к объекту, призмный отражатель, проектируемый контур

К.В. Цветков, Е.В. Кипреев, О.В. Сыркова, В.А. Синицкий, С.Ф. Мылов. Использование лазерного проектора в составе измерительно-проеекционного размоточного комплекса в судостроительном производстве//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 60

Показано, что наилучшие результаты применения лазерного проектора могут быть достигнуты при использовании его одновременно с дискретными и сканирующими СИ в составе измерительно-проеекционного размоточного комплекса. Дискретные СИ, такие как лазерные трекары и оптоэлектронные тахеометры, позволяют создать высокоточную систему баз, организовать локальную опорную сеть вокруг и/или внутри объекта, предназначенную для определения собственного положения проектора относительно системы координат объекта. Сканирующие измерительные системы типа лазерных сканеров за счет высокой плотности измерения объектных точек позволяют создать или уточнить существующую модель поверхности, на которую должна наноситься разметка. Ил. 11. Библиогр. 1 назв.

УДК 621.51 **Ключевые слова:** АО «Компрессор», азотная компрессорная станция, методы генерации азота, мембранные газоразделительная установка, материал, характеристики

Л.Г. Кузнецов, А.В. Бураков, А.С. Перминов, С.Н. Семенов, О.К. Котов. Азотные компрессорные станции для кораблей ВМФ, СПГ-танкеров и ледокольного флота на СПГ//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 67

Подробно знакомит с продукцией АО «Компрессор», прежде всего с производством азотных установок для ВМФ и гражданского судостроения, их характеристиками, способами генерации азота, используемыми материалами, а также мембранными установками Т. 2. Ил. 8. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.646.616 **Ключевые слова:** судовая трубопроводная арматура, краны шаровые, способ настройки

М.И. Иванов. Способ настройки кранов шаровых с резьбовыми втулками//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 73

Разработан способ настройки кранов шаровых с резьбовыми втулками. Способ успешно применяется при изготовлении серийных образцов изделий кранов шаровых на предприятии АО «Армалит». Ил. 2. Библиогр. 2 назв.

УДК 629.5.035.58 **Ключевые слова:** гребной винт (ГВ), саблевидная лопасть, традиционная лопасть, сравнительные характеристики, торможение, расчет, перспективы использования

Л.И. Вишневикий, А.Р. Тогуниц, Дык Чинь Лук. Особенности реверсирования судов, оснащенных гребными винтами с разным контуром лопасти//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 74

Выполнены численные исследования сравнительных характеристик судна, оснащенного поочередно традиционным и саблевидным ГВ. Показано, что придание лопастям движителя саблевидной формы целесообразно не только для снижения виброактивности при работе движителя в неравномерном потоке, но и благоприятно сказывается на реверсивных характеристиках судна. Это открывает перспективу создания достаточно гибких саблевидных лопастей, способных скручиваться в сторону большого шага на режимах реверса без нарушения их целостности. Т. 3. Ил. 9. Библиогр. 5 назв.

УДК 621.396.67 **Ключевые слова:** излучающая морская цель, корабельный радиопеленгатор, внешний источник информации, изменяемый сектор сканирования, оптимальная стратегия поиска, метод динамического программирования

Г.А. Коржавин, Ю.Ф. Подоплёкин, О.Г. Мальцев. Оптимизация поиска излучающей морской цели корабельным радиопеленгатором по данным от внешнего источника информации//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 81

Исследована стратегия поиска излучающей морской цели корабельным радиопеленгатором с изменяемым сектором сканирования, обеспечивающая оптимальное (по критерию максимума вероятности обнаружения цели к заданному сроку) распределение поисковых усилий в области возможного положения цели (ОВПЦ). Для ОВПЦ, задаваемой в виде эллипса ошибок, приведены числовые примеры оценки эффективности поиска цели с использованием разработанной (оптимальной) стратегии. Ил. 2. Библиогр. 8 назв.

УДК 661.5.015–26 **Ключевые слова:** электрогидравлический привод, объект управления, математическая модель, полунатурное моделирование, высокоманевренные объекты

А.В. Анисимов, А.Г. Юрескул, А.Н. Попадзин, Т.А. Спасова. Методика синтеза математической модели электрогидравлического рулевого привода автономных подводных объектов//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 85

Рассмотрены проект гидравлического привода как органа управления высокоманевренным объектом, а также способы повышения точности и быстродействия за счет введения дополнительных конструктивных элементов. Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

УДК 623.9:002 **Ключевые слова:** подводная лодка, автоматизированная система управления, интеграция, проблемы

И.И. Зайцев, Д.В. Шамановский, Е.В. Бутер. Проблематика интеграции комплексов автоматизированных систем управления при создании ПЛ малого водоизмещения//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 89

Рассмотрен актуальный вопрос интеграции автоматизированных комплексов и систем при создании ПЛ малого водоизмещения. Т. 2. Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.584 **Ключевые слова:** гидроакустика, робототехника, группа роботов, навигация

Д.С. Бабкин, И.В. Капустин, А.В. Кирьянов, К.А. Смирнов, П.Г. Федоров, Р.Е. Хан. Система навигационного обеспечения и управления группой подводных роб-

тов//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 93

Рассмотрено современное состояние перспектив создания системы управления группой подводных роботов. Показано, что с появлением таких групп требуется новый подход к принципам позиционирования подводных объектов и связи с ними. Приведен метод решения задачи навигационного обеспечения и управления группой подводных роботов. Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.5.05 **Ключевые слова:** морской подвижный объект (МПО), скорость движения, система управления, закон управления, передаточная функция, характеристический полином

С.К. Воловдов, А.В. Смольников, Ю.В. Ясинская. Инвариантная к изменению скорости система стабилизации движения МПО//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 99

Предложен метод, позволяющий при изменении скорости хода МПО обеспечивать постоянный вид характеристического полинома замкнутой системы стабилизации и переходной характеристики за счет изменения параметров закона управления. Метод включает в себя синтез характеристического полинома с использованием стандартных коэффициентов и определения среднегеометрического корня из условия заданного времени переходных процессов. Стандартные коэффициенты определяют для каждого скоростного режима, затем по ним находят параметры законов управления, обеспечивающих тождество переходных характеристик для различных скоростей МПО. Особую проблему при этом составляет определение стандартных коэффициентов для передаточных функций систем, имеющих несколько нулей. Ил. 2. Библиогр. 3 назв.

УДК 624.042:629.5.024 **Ключевые слова:** вибрация, конструкция корпуса судна, моделирование, метод конечных элементов, модальный анализ, коррозионный износ

Г.Н. Муру, В.И. Сутырин. Прогнозная оценка изменения частот собственных колебаний конструкции корпуса судна, находящегося в эксплуатации//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 103

Рассмотрен метод борьбы с судовой вибрацией, основанный на предупреждении резонансных явлений еще на этапе проектирования судна. С указанной целью определены собственные частоты колебаний конструкции корпуса, которые сопоставляются с частотами возмущающих внешних сил. Изменяя в процессе проектирования судна распределение жесткостей и масс его конструктивных элементов, можно обеспечить относительное смещение указанных частот и тем самым предупредить повышенную вибрацию. Однако назначение величины указанного смещения требует прогнозирования возможного изменения собственных частот в процессе эксплуатации корпуса судна. Задача решается путем моделирования корпуса судна с применением программных комплексов ANSYS и FEMAP With Nastran. Остаточные толшины конструктивных элементов модели корпуса определяются путем вычитания из проектных толщин величин среднестатистических скоростей изнашивания, умноженных на период эксплуатации, принимаемый в интервале от 0 до 30 лет. Ил. 7. Библиогр. 2 назв.

УДК 627:629.523 **Ключевые слова:** спусковое устройство, эвакуация, морские нефтегазовые сооружения

В.Ю. Макаров, М.Ю. Хохлов. Математическая модель автономного понтоного спускового устройства для эвакуационных систем морских нефтегазовых сооружений//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 105

Проанализированы проблемы, возникающие при эвакуации персонала с морских нефтегазовых сооружений, приведены аналитические зависимости, по которым можно составить математическую модель спускового устройства, определены основные параметры, влияющие на процесс спуска. Ил. 9. Библиогр. 4 назв.

УДК 004.416.6 **Ключевые слова:** программная платформа, программный каркас, система поддержки принятия решений, граф, база данных, архитектура программного обеспечения

С.А. Кондратьев. Платформа для разработки системы информационной поддержки принятия решений

на выполнение поставленных боевых задач//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 109

Рассмотрен вариант построения программной платформы (каркаса) для решения функциональной задачи «Информационная поддержка работы командира корабля и других должностных лиц корабля при принятии решения на выполнение поставленной боевой задачи», при этом проанализированы два варианта интеграции расчетных модулей: по таймеру или через подписку. В объектном представлении решения на ВПБЗ применены элементы теории графов. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 2 назв.

УДК 656.078 **Ключевые слова:** морские перевозки, блокчейн, интернет вещей, искусственный интеллект, большие данные, 5G сети, роботизированная автоматизация процессов

А.В. Андреева, А.Д. Суслова. Исследование факторов, негативно влияющих на морские перевозки, и анализ инновационных технологий, способных их устранить//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 112

Посвящена изучению влияния проблем, негативно влияющих на морские перевозки груза. Выполнен сравнительный анализ современных инновационных решений, которые при внедрении позволяют оптимизировать процесс перевозок и улучшить взаимодействие его участников, а также недостатков и преимуществ технологий. Особое внимание уделено исследованию и обобщению зарубежного опыта применения таких решений. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 21 назв.

УДК 623.98 **Ключевые слова:** экология, Арктика, тяжелое дизельное топливо, IMO

А.В. Пустошный. Проработки Международной морской организации запрета тяжелого дизельного топлива в Арктике//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 117

Проанализированы направления деятельности Комитета по защите морской среды Международной морской организации (ИМО) по ограничению влияния судов на морскую экологию в Арктике. Особое внимание уделено находящемуся в обсуждении вопросу о запрете использования на судах и перевозках тяжелого дизельного топлива в этом регионе. Такое решение напрямую касается интересов арктического судоходства России. Рассмотрены различные аспекты двух главных негативных факторов при использовании тяжелого дизельного топлива – большого количества выбросов сажи, по мнению экологов способствующей таянию льда, и осложнения борьбы с аварийными разливами. Показано, что в обоих случаях приводимые аргументы не бесспорны и, по крайней мере, нуждаются в дополнительных исследованиях. В целом решению вопроса должна предшествовать взвешенная оценка всех аспектов, включая технические, социальные и экономические. Библиогр. 9 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** ЦКБ «Вымпел», Великая Отечественная война, большой охотник, десантный катер, мотобот, баржа, наливная баржа, конструкции

В.В. Шаталов. Конструкторское бюро «Вымпел» в годы Великой Отечественной войны//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 123

Знакомит с проектами судов ЦКБ «Вымпел» в годы Великой Отечественной войны, именами их конструкторов, вклада трудящихся – инженеров и конструкторов – в Великую Победу. Ил. 4. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** изобретательская работа, Отдел изобретений, НК ВМФ, ВМС, Конструкторское бюро, патент, заявки, немецкие специалисты

Б.А. Барбанель, С.В. Федулов, Н.Н. Мизирикина. Организация изобретательской работы в Конструкторском бюро НК ВМФ (ВМС) в Берлине (1945–1947)//Морской вестник. 2020. № 2 (74). С. 126

Посвящена организации массовой изобретательской и рационализаторской работы на флоте и конкретно в Конструкторском бюро НКВМФ (ВМС) в Берлине как одном из структурных подразделений ВМФ. Особенность данной структуры заключалась в том, что в ней работали и включались в массовую изобретательскую работу немецкие специалисты. При этом они пользовались такими же правами на получение патентов и денежных вознаграждений, как и советские специалисты. Ил. 3.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 629.551.001 **Keywords:** USC JSC, USC Group, development strategy, events, indicators, plans

A.L. Rakhmanov. Strategic goals of USC JSC // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.6

In its entirety, the development strategy of USC JSC in cooperation with other partners, plans, events, strategic goals and objectives is considered. T.2. Fig.1.

UDC 65.011.12 **Keywords:** USC JSC, shipbuilding industry, corporate strategy, methodological tools, strategic development problems

S.E. Abdykerov, A.N. Bel'skova. Methodological approaches to managing the strategic development of a corporation // Morskoy Vestnik. 2020. №2 (74). P.7

Corporations compose their methodological set of strategic management based on their own problematic issues. The article identifies several types of corporate strategies, as well as an example of the stages of development of a high-level corporate strategy at USC. One of the critical problems in the implementation of corporate strategic documents is the redundancy of policy decisions. T.1. Fig.1. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.01 **Keywords:** cruise passenger ship, new generation mixed navigation vessel, contours, driving performance, propulsion system, model and full-scale tests

A. G. Egorov. Ensuring the driving performance of a new generation of mixed navigation cruise passenger ships // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.11

The main projects of the new generation of mixed-use cruise passenger ships (PS) are presented, the features of their contours are emphasized in comparison with the classical ships of the Soviet period. Shown are the results of studies on the driving performance of a new-generation PS using the methods of computational fluid dynamics. The data of full-scale sea-going tests in 2019 of the new generation SS «BBK max» of concept class PV09 are also presented and analyzed. Satisfactory convergence of the results of model and field tests is shown. T.7. Fig.9. Bibliography 18 titles.

UDC [624.042.43: 629.5.023]: 004.42 **Keywords:** ice load, ship hull, direct calculation, RMRS rules, software

V.V. Yakimov, G.E. Egiazarov, T.I. Letova. Further development of software for the direct calculation of loads from the effects of ice on the hull // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.21

Two basic approaches to determining the loads from the impact of ice on the ship's hull are presented – calculation according to the requirements of regulatory documentation and direct calculation, involving the use of physical models of the mechanical interaction of the ship's hull and ice cover. A brief review of specialized software designed for the implementation of direct calculation and found application in domestic practice. A general description of the current computer programs developed with the direct participation of the authors is given, with particular attention paid to a comparative analysis of their functionality, the results of which are presented in a systematic way. T.1. Fig.1. Bibliography 11 titles.

UDC 629.12: 532.0419075.8 **Keywords:** da-

maged ship, dynamic unsinkability, rolling, parameters, estimation

O.V. Tret'yakov, P.A. Schaub, S.V. Moskovkina. Fundamentals of the dynamic unsinkability of a ship // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.27

Dedicated to the study of the rolling of the damaged ship, the ship in complex modern stormy conditions. A system of differential pitching equations is derived taking into account the non-linearity of the static stability diagram, the presence of flooded compartments of all categories (1–3), pitching, non-linearity, and roll angle using harmonic linearization methods for any stability diagram that is recommended when assessing a ship capsizing, taking into account the mutual influence of the angle pitching and roll drift. Bibliography 11 titles.

UDC 629.5.01 **Keywords:** ship, Norman coefficient, feedback coefficient, structural interactions

A.I. Gajkovich. The Norman coefficient problem in ship design theory // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.29

The Norman coefficient is considered as a feedback coefficient in the theory of ship design. Its dependence on the adopted structure of the complex technical system «Ship» is shown. The idea of the Norman coefficient as a feedback coefficient, in addition to the load, can be extended to other properties of the ship. Fig.3. Bibliography 5 titles.

UDC 656 **Keywords:** Navy, Almaz CMDB, rescue ships, diving bell, characteristics, construction, features, prospects

A.A. Forst, A.A. Shamalov. Rescue ships of the Navy // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.31

Milestones of the work of Almaz CMDB on the design of rescue vessels for the Soviet and Russian Navy since the 50s. of the 20th century are indicated in detail. Fig.26.

UDC 621.039.53 **Keywords:** universal landing ship, tasks, features, foreign states, strategic plans, Navy

V.N. Polovinkin, A.B. Fomichev. Current status and development prospects of universal landing ships. Part 1 // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.42

The trends in the implementation of the «projection of forces» strategy in the USA, Great Britain, and the Netherlands are analyzed, the main element of which are universal landing ships. Particular attention is paid to their features and weapons. T.2. Fig.10.

UDC 627 (26) (075) **Keywords:** megablock formation, platform building, support bases, upper structures, integration, algorithm, installation

R.N. Karaev. Megablock formation of stationary oil platforms in the Caspian Sea. Part 2 // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.46

The experience of introducing innovative technologies for the formation of oil offshore stationary platforms from megablock structures weighing 14,000–15,000 tons on the Caspian shelf is analyzed. Technical requirements are considered that provide the possibility of building, transporting and integrating megablock structures of support bases and upper structures of platforms within the framework of the sliding and inland methods of carrying out cargo and installation operations. Algorithms for the construction of supporting foundations and upper structures on the slipway and their subsequent integration into the

sea are described. Fig. 12. Bibliography 4 titles.

UDC 551.046.077: 529.584 **Keywords:** supercavitation, small perturbations theory, models and schemes of cavity closure

K.V. Rozhdestvensky. Linearized solution of a supercavitating thin foil problem with use of different cavity closure schemes // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.55

The solutions of the linearized problem on a supercavitating thin profile are presented using various cavity closure schemes – analogues of the corresponding non-linear closure models of Ryabushinsky, Efros-Gilbarg, Tulin and Vu-Fabula. The results of comparing the theory and experimental data on the coefficient of lift related to the angle of attack as a function of the ratio of the cavitation number to the angle of attack are presented. Fig.5. Bibliography 3 titles.

UDC 681.786: 621.751: 629.5 **Keywords:** marking system, laser projector, base system, reference points, object reference, prism reflector, projected contour

K.V. Tsvetkov, E.V. Kipreev, O.V. Syrskova, V.A. Sinitsky, S.F. Milyuev. The use of a laser projector as part of a measuring and projection marking complex in shipbuilding // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.60

It is shown that the best results of using a laser projector can be achieved by using it simultaneously with discrete and scanning SRs as part of a measuring and projection marking complex. Discrete SIs, such as laser trackers and optoelectronic tacheometers, allow you to create a high-precision base system, organize a local reference network around and/or inside the object, designed to determine the proper position of the projector relative to the coordinate system of the object. Scanning measuring systems such as laser scanners due to the high density of measurement of object points allow you to create or refine the existing model of the surface on which the marking should be applied. Fig.11. Bibliography 1 title.

UDC 621.51 **Keywords:** Compressor JSC, nitrogen compressor station, nitrogen generation methods, membrane gas separation unit, material, characteristics

L.G. Kuznetsov, A.V. Burakov, A.S. Perminov, S.N. Se-rebrennikov, O.K. Kotov. Nitrogen compressor stations for Navy ships, LNG tankers and the LNG icebreaker fleet // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.67

Introduces in detail the products of Compressor JSC, primarily with the production of nitrogen plants for the Navy and civil shipbuilding, their characteristics, nitrogen generation methods, materials used, and membrane systems. T.2. Fig.8. Bibliography 7 titles.

UDC 629.5.035.58 **Keywords:** ship pipeline valves, ball valves, setting method

M.I. Ivanov. The method of setting ball valves with threaded bushings // Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.73

A method has been developed for adjusting ball valves with threaded bushings. The method is successfully used in the manufacture of serial samples of ball valves at the enterprise Armalit JSC. Fig. 2. Bibliography 2 titles.

UDC 621.436 **Keywords:** propeller (GV), saber-shaped blade, traditional blade, comparative char-

acteristics, braking, calculation, prospects of use

L.I. Vishnevsky, A.R. Togunjac, Duc Chin Luk. Features of reversing ships equipped with propellers with different blade contours//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.74

Numerical studies of the comparative characteristics of a vessel equipped with alternately traditional and saber-shaped warheads have been performed. It is shown that giving the blades of the mover a saber shape is advisable not only to reduce vibration activity when the mover is operating in an uneven flow, but also favorably affects the reverse characteristics of the vessel. This opens up the prospect of creating sufficiently flexible saber-shaped blades capable of twisting towards a large step in reverse modes without violating their integrity. T.3. Fig.9. Bibliography 5 titles.

UDC 621.396.67 **Keywords:** radiating sea target, ship radio direction finder, external information source, variable scanning sector, optimal search strategy, dynamic programming method

G.A. Korzhavin, Yu. F. Podoplyokin, O.G. Mal'tsev. Search optimization of a radiating marine target by a ship direction finder according to data from an external information source//Morskoy Vestnik. 2020. No2 (74).P.81

A search strategy of a sea emission target by shipboard direction finder with changed sector of scanning, providing optimal (as per the maximum criteria of target detection probability to the given term) distribution of search forces in target probable area (TPA) is investigated. For TPA, assigned as the errors ellipse, the numerical examples of estimation of the efficiency of target with the use of developed (optimal) strategy are provided. Fig. 2. Bibliography 8 titles.

UDC 661.5.015–26 **Keywords:** electro-hydraulic drive, control object, mathematical model, semi-natural modeling, highly maneuverable objects

A.V. Anisimov, A.G. Yureskul, A.N. Popad'in, T.A. Spasova. The synthesis technique of the mathematical model of the electro-hydraulic steering gear of autonomous moving objects//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.85

The article discusses the question of constructing a mathematical model of an electrohydraulic drive as a control body for a highly maneuverable object, as well as ways to increase accuracy and speed by introducing additional structural elements. Fig. 4. Bibliography 3 titles.

UDC 623.9: 002 **Keywords:** submarine, automated control system, integration, problems

I.I. Zaitsev, D.V. Shamanovsky, E.V. Buter. Problems of integration of complexes of automated control systems when creating submarines of small displacement//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.89

The current issue of integration of automated systems and systems when creating submarines of small displacement is considered. T. 2. Fig. 3. Bibliography 3 titles.

UDC. 629.584 **Keywords:** hydroacoustics, robotics, group of robots, navigation

D.S. Babkin, I.V. Kapustin, A.V. Kir'yanov, K.A. Smirnov, P.G. Fedorov, R.E. Khan. Navigation support and control system for a group of underwater robots//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.93

The current state of the prospects of creating a control system for a group of underwater robots is considered. It is shown that with the advent of such groups, a new approach to the principles of positioning of underwater objects and their connection with them is required. A method for solving the problem of navigation support and control of a group of underwater robots is given. Fig. 5. Bibliography 4 titles.

UDC 629.5.05 **Keywords:** marine moving object (MPO),

speed, control system, control law, transfer function, characteristic polynomial

S.K. Volodovod, A.V. Smol'nikov, Yu.V. Yasinskaya. A velocity-invariant system for stabilizing the motion of MPO //Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.99

A method is proposed that allows providing a change in the MPO speed. constant type of the characteristic polynomial of a closed stabilization system and a transition characteristic by changing the parameters of the control law The method includes the synthesis of a characteristic polynomial using standard coefficients and determining the geometric mean root from the condition of a given transient time. Standard coefficients are determined for each speed mode, then they are used to find the parameters of the control laws that ensure the identity of the transition characteristics for different MPO speeds. A particular problem in this case is the determination of standard coefficients for the transfer functions of systems having several zeros. Fig.2. Bibliography 3 titles.

UDC 624.042: 629.5.024 **Keywords:** design of ship hull, simulation, finite element method, modal analysis, corrosion

G.N. Muru, V.I. Sutyryn. Forecast of changes in the frequency of free oscillations of the hull structure of the vessel in operation//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.103

When considering the vibration of the ship, researchers are faced with the problem of determining disturbing forces, reactions of hull structures for dynamic effects, and also with the choice of acceptable values of vibration parameters. A serious aspect of consideration of the first two problems is the phenomenon of resonance. The article discusses a method of vibration control of vehicle based on the prevention of resonance phenomena at the design stage of the vessel. This is determined by the natural frequency of the body, which are mapped to the frequencies of the perturbing external forces. Changing in the process of the ship design process distribution of stiffness and mass of its constructive elements, it is possible to provide the relative offset of these frequencies, and thereby to prevent extreme vibration. However, the choice of values specified offset requires forecasting of possible changes of natural frequencies in the operation of the vessel. The problem is solved by modeling the ship's hull with the use of program complexes ANSYS and FEMAP With Nastran. The residual thickness of the structural elements of the model are determined by subtracting from the design thickness values of the average velocities of wear multiplied by the period of operation taken in the interval from 0 to 30 years. Fig.7. Bibliography 2 titles.

UDC 627: 629.523 **Keywords:** launching device, evacuation, offshore oil and gas facilities

V.Yu. Makarov, M.Yu. Khokhlov. A mathematical model of an autonomous pontoon launching device for evacuation systems of offshore oil and gas facilities//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.105

The problems arising during the evacuation of personnel from offshore oil and gas facilities are analyzed, analytical dependencies are given, according to which a mathematical model of the launching device can be compiled, the main parameters that affect the descent process are determined. Fig.9. Bibliography 4 titles.

UDC 004.416.6 **Keywords:** software platform, software framework, decision support system, graph, database, software architecture

S.A. Kondrat'yev. A platform for developing a system of information support for decision-making on the implementation of combat missions//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.109

The option of building a software platform (framework) for solving the functional task «Information support for the work of the ship's commander and other

ship's officers in deciding to carry out the assigned combat mission» is considered, while two options for integrating the calculation modules are analyzed: by timer or by subscription. In the object representation of the solution at VPBZ, elements of graph theory are applied. T.1. Fig.3. Bibliography 2 titles.

UDC 656.078 **Keywords:** shipping, blockchain, Internet of things, artificial intelligence, big data, 5G networks, robotic process automation

A.V. Andreeva, A.D. Suslova. Investigation of factors negatively affecting shipping, and analysis of innovative technologies that can eliminate them//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.112

The research is devoted to studying the impact of problems associated with shipping. The article also provides a comparative analysis of modern innovative solutions, which can optimize the process of sea transportation and improve the interaction of transportation participants. Coverage of the disadvantages and advantages of technologies, a description of foreign experience in application made it possible to assume future implementation results, as well as the effect of their joint use. T.1. Fig.4. Bibliography 21 titles.

UDC 623.98 **Keywords:** ecology, Arctic, heavy diesel fuel, IMO

A.V. Pustoshny. The study of the International Maritime Organization of the prohibition of heavy diesel fuel in the Arctic//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.117

The areas of activity of the Committee for the Protection of the Marine Environment of the International Maritime Organization (IMO) on the limitation of the impact of ships on the marine ecology in the Arctic are analyzed. Particular attention is paid to the discussion on the prohibition of the use on ships and the transport of heavy diesel fuel in this region. Such a decision directly concerns the interests of the Arctic shipping of Russia. Various aspects of two main negative factors when using heavy diesel fuel are considered – a greater amount of soot emissions, which, according to ecologists, contributes to the melting of ice, and the complications of dealing with accidental spills. It is shown that in both cases the arguments presented are not indisputable and, at least, need additional research. In general, a balanced assessment of all aspects, including technical, social and economic, should precede the solution of the issue. Bibliography 9 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** Design Office Vympel, World War II, submarine chaser, landing boat, motorboat, barge, loading barge, designers

V.V. Shatalov. Design Office Vympel during the Great Patriotic War//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.123

Introduces the designs of the ships of the Design Office Vympel during the Great Patriotic War, the names of their designers, the contribution of workers – engineers and designers – to the Great Victory. Fig.4. Bibliography 7 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** inventive and rationalization work, Department of inventions, NKVMF, Navy, Design Bureau, patent, applications, German specialists

B.A. Barbanel, S.V. Fedulov, N.N. Mizirkina. Organization of inventive work in the Design Bureau of the NKVMF (Navy) in Berlin (1945–1947)//Morskoy Vestnik. 2020. № 2 (74). P.126

It is dedicated to organizing mass inventive and rationalization work in the Navy, and specifically at the Design Bureau of the NKVMF (Navy) in Berlin as one of the structural units of the Navy. The peculiarity of this structure was that German specialists worked in it and got involved in mass inventive work. At the same time, they enjoyed the same rights to obtain patents and monetary rewards as Soviet specialists. Fig.3. Bibliography 12 titles.